

Nationaler Entwicklungsplan Version 2.1

zum

„Innovationsprogramm Wasserstoff- und
Brennstoffzellentechnologie“

vorgestellt vom

Strategierat  **Wasserstoff
Brennstoffzellen**

30.04.2007

Vorbemerkung

Der vorliegende Nationale Entwicklungsplan beschreibt das Arbeitsprogramm zum „Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie“ der Bundesregierung (NIP), das bis 2015 zusätzliche Fördermittel in Höhe von 500 Mio. € für die Forschung und Entwicklung (F&E) sowie Demonstration und Marktvorbereitung der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie vorsieht. Die Version 2.1 stellt eine Weiterentwicklung früherer Versionen von Juni/Juli 2006 und Februar 2007 dar und enthält insbesondere Angaben zu Förderthemen, themenspezifischen Planzahlen (Budgets), zu Förderkriterien sowie zur Definition von Demonstrations- und Leuchtturmprojekten. Sie zeigt darüber hinaus die Programmabwicklung über die Programmgesellschaft und die bestehenden Förderstrukturen sowie die Einordnung und Abstimmung des Programms mit weiteren Bundes-, Länder- und europäischen Aktivitäten auf.

Die erste Version des Entwicklungsplans wurde im Juni 2006 auf der zweiten Vollversammlung des „Strategierates Wasserstoff und Brennstoffzellen“ präsentiert und diskutiert. Die nationalen Akteure aus Bundes- und Länderministerien sowie Wirtschaft und Wissenschaft hatten seither Gelegenheit, Anmerkungen und Änderungswünsche an die Koordinierungsgruppe des Strategierates Wasserstoff und Brennstoffzellen bzw. dessen Sekretariat bei der Nationalen Koordinierungsstelle Jülich für Wasserstoff und Brennstoffzellen (NKJ) heranzutragen. Der Stand der Vorbereitungen des Innovationsprogramms bzw. des Entwicklungsplans wurde im September 2006 mit den Vertretern der Ministerien und Initiativen der Bundesländer (im Rahmen eines „Ländertreffens“) und im Oktober 2006 mit den Vorständen führender Unternehmen aus dem Bereich Wasserstoff und Brennstoffzellen (im Rahmen eines „Industrietreffens“) abgestimmt. In beiden Veranstaltungen wurde die Bereitschaft der Länder und der Wirtschaft zur Unterstützung und Mitwirkung am Innovationsprogramm deutlich zum Ausdruck gebracht. So haben stellvertretend für die nationale und europäische Wasserstoff- und Brennstoffzellenbranche 24 Unternehmen einer Protokollerklärung zur Bereitstellung von Eigenmitteln in Höhe von mindestens 50 % der gesamten Projektbudgets zugestimmt.

Das „Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie“ ist an den europäischen Implementation Plan, der in der European Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform (HFP) erarbeitet wurde, angelehnt. Dieser Implementation Plan wird mit der Joint Technology Initiative, deren Gründung sich in der Vorbereitung befindet, und dem 7. Forschungsrahmenprogramm der EU-Kommission umgesetzt.

Verantwortlich für den Inhalt des Entwicklungsplans zeichnet die Koordinierungsgruppe des Strategierats und hier im Einzelnen die jeweiligen Arbeitsgruppenleiter. Dies sind Herr Dr. Bonhoff (VES) für den Bereich „Verkehr“, Herr Ballhausen (IBZ) für den Bereich „Stationäre Anwendungen in der Hausenergieversorgung“, Herr Schiel (VDMA AG BZ) für den Bereich „Stationäre Industrieanwendungen“ sowie Herr Prof. Tillmetz (BZ-Bündnis) für den Bereich „Spezielle Märkte“. Zur Definition der Inhalte und Budgets wurden zum einen verschiedene Treffen der Arbeitsgruppen durchgeführt, zum anderen wurden auch thematische Beiträge durch die bestehenden Arbeitskreise des Strategierats, die auf technisch-wissenschaftlicher Ebene Einzelthemen behandeln, geleistet. Zudem haben sich Ministe-

rien, Landesregierungen, Initiativen, Industrieunternehmen, Wissenschaft und Forschungsinstitute eingebracht. Der Entwicklungsplan knüpft im Bereich der stationären Anwendungen an die Markteinführungsstrategie des Brennstoffzellen-Bündnisses Deutschland aus dem Jahr 2004 an und wird durch das von IZES gGmbH im Jahr 2006 fertig gestellte Gutachten „Analyse und Bewertung von Instrumenten zur Markteinführung stationärer Brennstoffzellen“ ergänzt.

Um flexibel auf zukünftige Entwicklungen reagieren zu können, werden im Laufe der Zeit bedarfsgerecht Anpassungen und Änderungen des Entwicklungsplans durch den Strategierat vorgenommen.

Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkung	<i>i</i>
1 Einleitung	1
2 Ziele	4
3 Entwicklungsplan „Verkehr“	6
3.1 Geltungsbereich	6
3.2 Entwicklungsplan	7
3.2.1 Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten	7
3.2.2 Demonstrationsvorhaben	8
3.2.3 Tabellarische Übersicht über die Themen und Budgets	10
4 Entwicklungsplan „Stationäre Anwendungen in der Hausenergieversorgung“	12
4.1 Geltungsbereich	12
4.2 Entwicklungsplan	13
4.2.1 Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten	13
4.2.2 Demonstrationsvorhaben	15
4.2.3 Tabellarische Übersicht über die Themen und Budgets	15
5 Entwicklungsplan „Stationäre Industrieanwendungen“	17
5.1 Geltungsbereich	17
5.2 Entwicklungsplan	18
5.2.1 Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten	18
5.2.2 Demonstrationsvorhaben	19
5.2.3 Tabellarische Übersicht über die Themen und Budgets	20
6 Entwicklungsplan „Spezielle Märkte für Brennstoffzellen“	22
6.1 Geltungsbereich	23
6.2 Entwicklungsplan	23
6.2.1 Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten	24
6.2.2 Demonstrationsvorhaben	25
6.2.3 Tabellarische Übersicht über die Themen und Budgets	25

7	<i>Generelle Kriterien zur Projektförderung und Leitlinien zur Bewertung von Leuchtturmprojekten</i>	27
7.1	Generelle Kriterien zur Projektförderung	27
7.2	Leitlinien zur Bewertung von Leuchtturmprojekten	29
8	<i>Programmgesellschaft</i>	32
9	<i>Anhang</i>	35

1 Einleitung

Deutschland steht heute vor der Herausforderung, den Übergang zu einer nachhaltigen Energieversorgung voranzutreiben. Derzeit wird im Rahmen des Energiegipfelprozesses das energiepolitische Gesamtkonzept bis zum Jahre 2020 entwickelt. Es soll im 2. Halbjahr 2007 vorgelegt werden. Die energiepolitischen Maßnahmen sollen langfristig eine sichere, wettbewerbsfähige und umweltfreundliche Energieversorgung gewährleisten. Untrennbare Bestandteile des Konzepts sind Innovationen und technologischer Fortschritt. Wasserstoff als klimaneutraler Sekundärenergieträger und Brennstoffzellen als Effizienztechnologien mit besonders hohen Wirkungsgraden wurden als wichtige Elemente einer zukunftsfähigen Energieversorgung identifiziert.

Die Bundesregierung unterstützt die Weiterentwicklung und Einführung dieser Technologien durch die gezielte Förderung im Rahmen des von den Bundesministerien für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Wirtschaft und Technologie (BMWi), Bildung und Forschung (BMBF) sowie Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gemeinsam formulierten „Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie“ (NIP). Es sieht für die kommenden zehn Jahre zusätzliche 500 Mio. € Förderung dieser Technologie vor. Bei Fortschreibung der seit Jahren erfolgreich laufenden F&E-Förderung des Bundes für Brennstoffzellen und Wasserstoff vor allem durch das BMWi stehen unter Berücksichtigung der komplementären Mittel der Industrie und Anwender im Zeitraum 2006 bis 2015 bis zu 1,4 Mrd. € zur Verfügung. Hinzu kommen noch Mittel des BMBF zur Grundlagenforschung und institutionellen Förderung der Großforschungseinrichtungen auf diesem Gebiet. Damit werden die bisherigen Aktivitäten von Bundesregierung, Industrie und Forschung konzentriert fortgeführt, deutlich ausgeweitet und neue Schwerpunkte gesetzt.

In der Europäischen Union hat Deutschland hier während der EU Ratspräsidentschaft im ersten Halbjahr 2007 eine besondere Vorreiterfunktion. Das gilt auch für die Präsidentschaft innerhalb der G8.

Das Nationale Innovationsprogramm wurde in Abstimmung mit der European Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform (HFP) entwickelt, die für das 7. Forschungsrahmenprogramm (FP 7) und die derzeit vorbereitete Joint Technology Initiative (JTI) thematische Empfehlungen ausspricht. Zudem fand bereits im Vorfeld eine deutliche Einbindung der Kompetenzen und Erfahrungen der Bundesländer in das NIP statt. Beides führt dazu, dass für die Durchführung von Projekten in den gemeinsam mit Europa und den Regionen identifizierten Themenfeldern weitere Mittel für Projekte in Deutschland verfügbar sein sollten.

Ziel des Programms ist es, durch die gezielte Unterstützung und Förderung der entstehenden Wasserstoff- und Brennstoffzellenbranche im mobilen, stationären und portablen Bereich die für den Standort Deutschland wichtige Marktentwicklung zu beschleunigen und insbesondere Wertschöpfungsketten und Wertschöpfungsanteile aufzubauen, um die Technologieführerschaft zu sichern (vgl. Kapitel 2). Im Rahmen des Programms werden kleine und mittlere Unternehmen (KMU) gezielt gefördert und auf den Mittelstand zugeschnittene Maßnahmen entworfen (z.B.

Kleingeräteprogramm¹), um Netzwerke technologieorientierter Unternehmen und die Voraussetzungen zur Nutzung der Forschungsvorleistungen deutscher und europäischer Institutionen in Deutschland und Europa zu schaffen.

Auf Grundlage des von der Bundesregierung vorgestellten Innovationsprogramms gilt es nun, die Entwicklung des vorliegenden detaillierten Arbeitsprogramms im ersten Quartal 2007 abzuschließen, so dass dessen Umsetzung ab Mitte 2007 durch konkrete F&E-, Demonstrations- und Leuchtturm-Projekte mit dem Ziel der Marktvorbereitung gestartet werden kann. Damit wird der Auftrag erfüllt, den die Politik anlässlich des Parlamentarischen Abends am 8. Mai 2006 an den Strategierat Wasserstoff und Brennstoffzellen gegeben hat. Die Bundesländer werden speziell bei der Weichenstellung zur Realisierung der Demonstrations- und Leuchtturmprojekte und Technologiecluster in Modellregionen frühzeitig eingebunden.

Für die Realisierung einiger dieser Leuchtturmprojekte vor allem im Bereich der Verkehrsanwendung ist insbesondere die Frage der Wasserstoffverfügbarkeit von Bedeutung. Bei der Produktion und Verteilung von Wasserstoff sind vor allem wirtschaftliche Aspekte, Effizienzsteigerungen, CO₂-Reduktion sowie die Verbreiterung des Primärenergieportfolios (insbesondere die vermehrte Nutzung erneuerbarer Energien und nachwachsender Rohstoffe sowie fossile Energieträger mit CO₂-Abtrennung und -Speicherung) zu berücksichtigen. Wasserstoff kann mittel- bis langfristig auch eine Rolle bei der Optimierung der Auslastung der Stromnetze spielen. Fragen der Wasserstoffbereitstellung für Deutschland in marktrelevanten Volumina sowie deren Implikationen auf die Versorgung der Demonstrationsaktivitäten vor Markteintritt bedürfen einer nationalen Koordination. Der aktuelle Diskussionsstand soll in einer kurzfristig durchzuführenden Metastudie „GermanHy“ zusammengefasst werden.

Das vorliegende Arbeitsprogramm ist in vier Entwicklungspläne gegliedert, die durch die verschiedenen Einsatzbereiche gekennzeichnet sind:

- Verkehr inklusive Wasserstoffinfrastruktur (Produktion, Distribution, Speicherung und Betankung; vgl. Kapitel 3)
- Hausenergieanwendung (vgl. Kapitel 4)
- Industrieanwendungen (vgl. Kapitel 5)
- Spezielle Märkte für Brennstoffzellen (vgl. Kapitel 6)

Bei den in den einzelnen Kapiteln aufgeführten Budgetzahlen handelt es sich nicht um Budgets des Nationalen Innovationsprogramms, sondern um Planzahlen, die von der beteiligten Industrie und von Instituten erarbeitet wurden. Diese Zahlen sind nicht fix (im Sinne eines Budgets), sondern dienen zur Orientierung über die beabsichtigten Aktivitäten.

¹ Im Rahmen des „Kleingeräteprogramms“, das Bestandteil des 5. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung unter der Federführung des BMWi ist, werden kleinere Projekte zur Peripherie der PEMFC-Hausenergieversorgung gefördert.

Die generellen Förderkriterien für alle im Rahmen des NIP durchzuführenden Projekte sowie die Leitlinien und Anforderungen für die Leuchtturmprojekte werden im Kapitel 7 erläutert.

Über die Programmgesellschaft NOW (**N**ationale **O**rganisation für **W**asserstoff und **B**rennstoffzellen), die Mitte 2007 gegründet wird und den Projektträger Jülich als bereits bestehende Förderorganisation wird die Abwicklung des NIP realisiert. Die Organisationsstruktur von NOW sowie die Aufteilung der Verantwortlichkeiten und die Schnittstellen zwischen den beiden genannten Institutionen werden in Kapitel 8 erläutert. Zudem werden hier die Schnittstellen und Abstimmungsprozesse mit den weiteren Programmen und den Aktivitäten auf Bundes-, Länder- und internationaler Ebene beleuchtet.

Der Technologieaustausch nicht nur innerhalb, sondern wo möglich auch zwischen den einzelnen Anwendungen hat einen hohen Stellenwert. Vor diesem Hintergrund sollen die im Kapitel 8 (und im Anhang) ebenfalls genannten Synergiepotenziale intensiv analysiert und ausgeschöpft werden.

2 Ziele

Die Spitzenstellung der deutschen Industrie und Wissenschaft bei Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologie, die unterstützt durch die Förderung von Forschung und Entwicklung in den vergangenen Jahrzehnten insbesondere bei den Komponenten und Systemen erreicht wurde, muss weiter ausgebaut werden. Flankierende Maßnahmen zur Vorbereitung der Markteinführung sind nötig, um in Europa und im Wettbewerb mit den USA und Japan den Weg zur kommerziellen Nutzung zu gehen und die entsprechenden Industriezweige aufzubauen. Dabei stehen Initiativen mit kalkulierbarem Risiko zu marktorientierten Produkten und eine hohe Entwicklungsdynamik im Vordergrund. Die Wertschöpfungskette soll evolutionär und dynamisch aufgebaut werden und den Weg von der Technologie zum Markt konsequent zu beschreiten.

Dies sichert Arbeitsplätze am Innovationsstandort Deutschland und leistet einen Beitrag, eine effiziente und emissionsarme Energieversorgung und Energienutzung zu schaffen. Die am Innovationsprogramm beteiligten Bundesministerien stimmen ihre Aktivitäten eng miteinander ab und unterstützen das Programm gemeinsam mit den Landesregierungen nachhaltig politisch. Die Verknüpfung mit den im Rahmen des 7. Forschungsrahmenprogramms der EU diskutierten Programmen gewährleistet darüber hinaus die Nutzung transnationaler Ressourcen. Verlässliche Rahmenbedingungen seitens der Politik sind für den Einsatz von Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien im Markt notwendig, damit alle Beteiligten – Anwender, Hersteller und Zulieferer – Chancen und Risiken der Technologie genau und fundiert bewerten können.

Dabei ist die Frage der Herstellung des Wasserstoffs insbesondere für die Transportanwendungen von Bedeutung. Wasserstoff kann aus unterschiedlichen Primärenergiequellen hergestellt werden und bietet damit vor allem für den Verkehrssektor bei regenerativer Erzeugung die langfristige Option, Kraftstoff unabhängig von Erdöl bereitzustellen. Auf dem Weg dorthin sind Erdgas, aber auch Kohle (mit CO₂-Abtrennung und -Speicherung) als Brücke und Chance für die Wasserstoffproduktion für die nähere Zukunft zu sehen. Eine wichtige Rolle wird vor allem zu Beginn der industriellen Wasserstoff spielen, der u.a. als Nebenprodukt der chemischen Industrie in für erste Anwendungen ausreichendem Umfang zur Verfügung steht. Für die stationäre Brennstoffzellennutzung werden über Reformierungsprozesse zunächst vor allem Erdgas und in zunehmendem Maße auch biogene Brennstoffe eingesetzt, während im Bereich der speziellen Märkte Methanol und weitere flüssige Kraftstoffe sowie Flüssiggas (LPG) neben Wasserstoff Anwendung finden.

Die Wasserstoff-Infrastruktur für den Verkehrsbereich muss abgestimmt mit dem Entwicklungsstand der Fahrzeuge mit Brennstoffzellen und Wasserstoff-Verbrennungsmotoren weiter ausgebaut werden. Im stationären Bereich können zunächst die bestehenden Infrastrukturen für Erdgas und teilweise auch Biogas, und andere Brennstoffe genutzt werden. Bei zentraler Produktion kann auch Wasserstoff zum Einsatz kommen. Im Bereich der speziellen Märkte sind anwendungsabhängig ebenfalls Tankstellen oder Kartuschensysteme mit entsprechender Infrastruktur und Logistik für die Distribution einzusetzen.

Bei allen Brennstoffzellenanwendungen ist bereits ein hoher technologischer Entwicklungsstand erreicht worden. Erste Pilot- und Felderprobungsanlagen sind in Betrieb. Eine besondere Marktnähe ist derzeit für Anwendungen aus den speziellen Märkten (z.B. Notstromversorgungen, Flurförderfahrzeuge) und für Industrieanwendungen zu verzeichnen. Für die meisten Anwendungen sind weitergehende finanzielle Flankierungen zur Markteinführung erforderlich, um gegen die etablierten Technologien eine realistische Marktchance zu haben (Henne-Ei-Dilemma). Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) beauftragte und vom Institut für ZukunftsEnergieSysteme (IZES) erstellte Gutachten „Analyse und Bewertung von Instrumenten zur Markteinführung stationärer Brennstoffzellen“² gibt einen guten Überblick des technologischen Standes der Brennstoffzellenindustrie in Deutschland sowie der Chancen und Potenziale der Markteinführung und bewertet Herausforderungen und Hemmnisse. Das Gutachten schlägt ein interessantes nach Leistungsklassen differenziertes Instrumentarium zur Markteinführung von stationären Brennstoffzellen vor. Ein ähnliches Gutachten ist im Bereich der speziellen Märkte geplant.

Trotz der bereits erzielten guten Ergebnisse in allen Anwendungsbereichen ist die Rückkopplung mit den F&E-Programmen weiterhin zwingend erforderlich, um die technischen und wirtschaftlichen Ziele und am Ende marktreife Produkte zu erhalten. Die Ausarbeitung von Synergien wird sowohl im 5. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung als auch in der detaillierten Ausarbeitung des Innovationsprogramms berücksichtigt. Möglichst viele Industrieunternehmen, mittelständische Betriebe, Anwender und Forschungseinrichtungen sind in den Gesamtentwicklungsprozess einzubeziehen, um auf dem weltweiten Markt konkurrenzfähige Spitzentechnologien mit einem hohen Anteil an Wertschöpfung aus Deutschland anbieten zu können. Aufgrund ihrer auch im internationalen Vergleich starken Position in F&E und Prototypenherstellung besitzt insbesondere die deutsche Zulieferindustrie für Brennstoffzellenstacks und -komponenten sehr gute Chancen, die Wertschöpfung in Deutschland nicht nur zu halten sondern weiter aufzubauen. Hierbei sollten sich die F&E-Aktivitäten generell am Gesamtsystem und den Anforderungen der Anwender orientieren. Hieraus sind Anforderungen an Subsysteme, Teilkomponenten und die Systemintegration zu definieren und Einzelthemen für Projekte abzuleiten, die unter Zusammenarbeit von Wissenschaft und Industrie, die kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) und auch die größeren Zulieferer eingeschlossen, bearbeitet werden können.

Weiter gehende Informationen zu wichtigen Themen der Forschung und Entwicklung enthält auch das Dokument des Strategierates „Zukünftiger F&E-Bedarf im Bereich Brennstoffzellen und Wasserstoff“³.

² Siehe unter: www.vdma.org/brennstoffzellen und www.initiative-brennstoffzelle.de

³ Siehe unter: www.nkj-ptj.de/Dokumente/

3 Entwicklungsplan „Verkehr“

Der Verkehrssektor (Automobilindustrie) zählt mit mehr als 700.000 Beschäftigten und einem Gesamtumsatz von über 200 Mrd. € zu den bedeutendsten Industriebranchen in Deutschland. Der Kraftfahrzeugsektor verfügt über den größten F&E-Etat und trägt damit wesentlich zur Innovationsfähigkeit in Deutschland bei. Das Verkehrsaufkommen in Deutschland steigt – insbesondere in den Ballungszentren – kontinuierlich an, was mit zunehmender Umweltbelastung verbunden ist. Hinzu kommt, dass der Verkehrssektor nahezu vollständig von erdölbasierten Kraftstoffen abhängt.

Wasserstoff als alternativer Kraftstoff und Brennstoffzellenfahrzeuge haben das größte Potenzial, gleichermaßen

- lokale Schadstoffemissionen sowie treibhausrelevante Gase drastisch zu reduzieren bzw. vollständig zu vermeiden,
- den Energieverbrauch für den Verkehrssektor deutlich zu senken und
- ein breites Portfolio an Primärenergiequellen für den Verkehrssektor nutzbar zu machen.

Im Rahmen des „Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie“ gilt es für den Verkehrsbereich notwendige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten mit marktvorbereitenden Demonstrationsvorhaben zu verknüpfen. Auf der Basis bestehender Aktivitäten in Deutschland wird vorgeschlagen, schrittweise größere Demonstrationsflotten verbunden mit dem notwendigen Wasserstoff-Infrastrukturaufbau zu betreiben. Dies bietet für Deutschland die Chance, weltweit federführend die Markteinführung von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien zu gestalten.

3.1 Geltungsbereich

Der „Entwicklungsplan Verkehr“ bezieht sich auf die Anwendungen von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien, die bei erfolgreicher Markteinführung einen signifikanten Beitrag zur Versorgungssicherheit (Wasserstoff als alternativer Kraftstoff auf Basis unterschiedlicher Primärenergiequellen), zur Effizienzsteigerung und zur CO₂-Reduktion leisten. Er umfasst F&E-Arbeiten sowie Demonstrationsaktivitäten für wasserstoffbetriebene Fahrzeuge für den Straßenverkehr (PKW und Flottenfahrzeuge, wie z.B. Busse) sowie die hierfür notwendige Wasserstoffbereitstellung (Produktion, Distribution und Abgabe/Betankung) sowie die Wasserstoffspeicherung als einen der zentralen Engpässe der Wasserstoffkette. Neben den Antriebssystemen sind Systeme für die Bordstromversorgung (Auxiliary Power Unit, APU) z.B. für Lastkraftwagen, Flugzeuge und Schiffe berücksichtigt. Andere Einsatzbereiche für die APU (Wohnmobile, kleine Boote) werden im Bereich der „Speziellen Märkte“ (vgl. Kap. 6) behandelt. Weitere relevante Transportsektoren sind Bahn- und maritime Anwendungen.

3.2 Entwicklungsplan

Unter maßgeblicher Beteiligung der deutschen Industrie wird heute weltweit im Rahmen von F&E- und Demonstrationsaktivitäten die Machbarkeit der Herstellung und Nutzung von Wasserstoff als alternativem Kraftstoff sowie des Betriebs von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen unter Beweis gestellt. Für APU-Anwendungen werden erste Prototypen getestet. Aus den bisherigen Erfahrungen sind technische Ziele abgeleitet, deren Erreichung für eine kommerzielle Anwendung notwendig ist (s. Anhang). Die kommerzielle Anwendung (Fahrzeuge und Kraftstoff) setzt die Validierung der technischen und vor allem wirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit und der Kundenakzeptanz im Vergleich zu konventionellen Technologien voraus (Meilenstein 2015). Der in Abbildung 3-1 dargestellte Entwicklungsplan beschreibt ein integriertes Programm, in dem die beiden Säulen F&E- und Demonstrationsaktivitäten eng aufeinander abgestimmt werden müssen. Das Programm ist gekennzeichnet durch zwei Phasen. In der ersten Phase steht die Weiterentwicklung vorhandener Konzepte und Technologien unter Berücksichtigung innovativer Ansätze im Vordergrund, während die Validierung und Demonstration von Systemlösungen Schwerpunkt der zweiten Phase ist. Als Meilenstein zwischen diesen beiden Phasen (2010) ist eine Überprüfung bzgl. der Technologieverfügbarkeit vorgesehen. Das Programm muss flexibel gestaltet sein, um den Ergebnissen dieser Überprüfung Rechnung tragen zu können. D.h. auch, dass die Darstellungen für die zweite Phase entsprechende Unsicherheiten beinhalten.

3.2.1 Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten

Die F&E-Aktivitäten sind auf die kritischen Komponenten und Prozesse sowohl bei den Fahrzeugsystemen als auch bei der Infrastruktur ausgerichtet. Je nach themenspezifischen Zeitplänen und Meilensteinen sind hierbei die anwendungsorientierten Arbeiten von grundlagenorientierten Arbeiten zu unterscheiden. Während erstere unmittelbare Auswirkungen auf Demonstrationsaktivitäten bis 2015 haben (z.B. Optimierung 700-bar- und Flüssigwasserstoff-Speicherung), sind letztere (z.B. alternative Wasserstoffspeicherverfahren oder Hochtemperaturmembranen) erst längerfristig für die kommerzielle Anwendung relevant. Beides ist notwendig und muss auf die Bedürfnisse der spezifischen Anwendungen ausgerichtet sein. Die F&E-Arbeiten beinhalten auf der Fahrzeugseite Aktivitäten zu Brennstoffzellenantrieben, Antriebskonzepten mit Wasserstoffverbrennungsmotor, Wasserstoffspeicherung und Bordstromversorgung für verschiedene Verkehrsanwendungen und auf der Seite der Wasserstoffbereitstellung die Wasserstoffproduktion, -verteilung sowie die Tankstellentechnologie. Fragen zur Wasserstoffsicherheit sind als Querschnittsthemen aufgeführt. Inhaltliche Details hierzu sind dem Anhang zu entnehmen.

Aufgrund der Vielfalt unterschiedlicher F&E-Themen sind im Einzelfall projektspezifische Meilensteine zu definieren, die gewährleisten, dass inhaltlich die richtigen Prioritäten gesetzt werden, um die technischen Ziele zu erreichen, und die eine Kontrolle über den Projektfortschritt sicherstellen.

Gerade im F&E-Bereich spielen die Zulieferer (in der Regel aus der mittelständischen Industrie) sowie wissenschaftliche Einrichtungen / Institute eine wichtige

Rolle. Sie gilt es im Rahmen der Entwicklungsprozesse der Systemverantwortlichen, zum Beispiel über marktorientierte Systemspezifikationen, einzubinden.

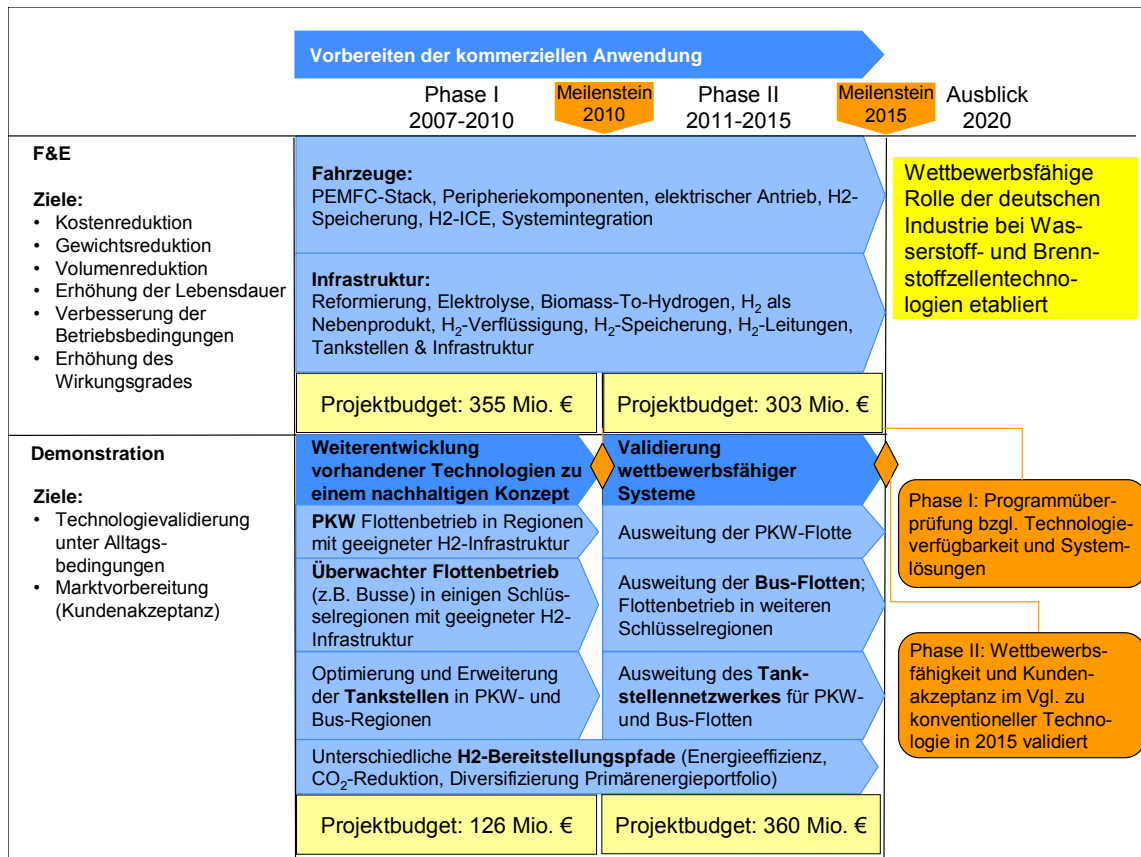


Abbildung 3-1: Entwicklungsplan Verkehr

3.2.2 Demonstrationsvorhaben

Ziele der Demonstrationsprojekte sind zum einen die Validierung der durch F&E-Aktivitäten entwickelten Systeme und Methoden und zum anderen die Marktvorbereitung. Die Validierung bedingt einen intensiven Austausch zwischen F&E und Demonstration. Die enge Verknüpfung von F&E-Themen mit Flottendemonstrationen und der langfristige Ansatz des Gesamtprogramms erleichtern darüber hinaus die Einbindung der Zulieferindustrie.

Für die Marktvorbereitung sind das technische Verhalten (z.B. Fahrzeug-Charakteristik, Betankungszeit, Zuverlässigkeit) und die Synchronisation zwischen dem Fahrzeugbetrieb in Kundenhand und der Verfügbarkeit von Wasserstoff ausschlaggebend, also das Gleichgewicht zwischen hoher Flächendeckung der Infrastruktur und genügend hoher Auslastung im Sinne eines Investitionsoptimums. Letztlich gilt es, durch praktische Erfahrungen die für die Markteinführung notwendige Kundenakzeptanz zu schaffen. Darüber hinaus unterstützen Demonstrationsprogramme die Schaffung adäquater Rahmenbedingungen, zum Beispiel im Bereich der Zulassungen oder Normen.

Der Flottenbetrieb wird auf wenige Schlüsselregionen konzentriert, um in der vor-kommerziellen Phase eine optimale Synchronisation zwischen Fahrzeugbetrieb und Infrastruktur zu gewährleisten. Aufgrund von Unterschieden bei den Anforderungen an die Infrastruktur sowie bei den Kunden- und Einsatzprofilen werden PKW-Flotten und kontrollierte Flotten (z.B. Busse oder Kleintransporter) gesondert betrachtet. Der Einsatz von PKW- und Busflotten (z.B. im öffentlichen Personennahverkehr) fokussiert sich auf Schlüsselregionen mit geeigneter Wasserstoff-Infrastruktur.

Das Programm ist offen für Demonstrationsvorhaben, sofern das Engagement des Landes oder der Region und eine entsprechende Industriebeteiligung die Einbindung in den gesamtstrategischen Rahmen gewährleisten.

Insgesamt wird über die Laufzeit des Programms eine Ausweitung der Fahrzeugflotten sowie des Tankstellennetzwerks von der ersten Phase zur zweiten Phase angenommen. Detaillierte Pläne bzgl. der Anzahl von Fahrzeugen oder Tankstellen sind Teil der jeweiligen Projekte bzw. der regionalen Aktivitäten. So wird z.B. für Berlin – aufsetzend auf den laufenden Aktivitäten der Clean Energy Partnership (CEP) – eine Fortführung der Flottenaktivitäten über 2007 hinaus angestrebt. Die beteiligte Industrie will die Demonstration auf mehrere hundert Fahrzeuge mit der entsprechenden Wasserstoff-Infrastruktur ausbauen bzw. neue erforderliche Technologiefortschritte in einer weiteren Technologievalidierung demonstrieren.

Während für die technologische Validierung nur recht geringe Flottengrößen erforderlich sind, benötigen die Entwicklung und Erprobung von Infrastruktur und auch die Marktvorbereitung eine deutlich größere Anzahl von Fahrzeugen und damit auch finanzieller Mittel, um einen Regelbetrieb unter Auslastung der installierten Kapazitäten zu erzielen. Für die Infrastruktur ist das Ziel eine möglichst hohe Auslastung zu Testzwecken. Für die PKW-Flotte ist die Bereitstellung eines ausreichenden Netzwerkes zur Schaffung der Kundenakzeptanz sicherzustellen. Dies beinhaltet Überlegungen, gegen Ende des Programms erste Wasserstoff-Korridore zwischen den Regionen zu schaffen. Regional ist die Notwendigkeit, zusätzliche Wasserstoffproduktionskapazitäten zu schaffen in Betracht zu ziehen, um bedarfsgerecht größere Demonstrationsflotten zu versorgen. Im Einzelfall ist ein Kompromiss zwischen wirtschaftlichen Randbedingungen und den Zielen der Marktentwicklung (ausreichendes Tankstellennetz für die Betreiber der Fahrzeuge) notwendig. Hier sollten innovative Versorgungsmodelle, die die Interessen aller Beteiligten berücksichtigen, entwickelt werden. Es ist anzustreben, dass das hierbei entstehende Investitionsrisiko im Rahmen einer Public-Private-Partnership-Lösung getragen wird.

Zusätzlich zu den Säulen F&E und Demonstration beinhalten übergeordnete Aktivitäten des Programms neben der oben erwähnten Koordination eines nationalen Wasserstoffversorgungskonzepts Maßnahmen zur Unterstützung der Arbeiten zu „Regulations, Codes & Standards“ sowie zu Themen der Ausbildung (technische Aspekte, öffentliche Diskussion, ...). Hierzu gilt es, die praktischen Erfahrungen insbesondere aus den Demonstrationsprojekten zu bündeln. Als Basis hierfür sollte auf die Arbeiten zum „Monitoring Assessment Framework“ des EU-Projekts Hy-Lights zurückgegriffen werden.

3.2.3 Tabellarische Übersicht über die Themen und Budgets

Der Entwicklungsplan Verkehr beinhaltet F&E-Aktivitäten (längerfristige und anwendungsnahe F&E), Demonstration und übergreifende Themen. Bei anwendungsnahe F&E ist im Einzelfall zu entscheiden, ob die Arbeiten unter Umständen im Sinne der Demonstrationsvorbereitung eher den Demonstrationsaktivitäten zuzuschreiben sind. Die detaillierten Inhalte der F&E-Aktivitäten sind im Anhang beschrieben.

Insgesamt ist im Bereich Verkehr ein Programm mit einem Umfang von gut 1.140 Mio. € beschrieben, von denen ca. 40 % in Phase I (2007-2010) und ca. 60 % in Phase II (2011-2015) anfallen (s. Tabelle 3-1). Der Anteil für F&E-Aktivitäten liegt bei 57 %, für Demonstration 42 % und für übergreifende Themen 1 %.

Angaben in T€		Phase I				Phase II					Summe
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
Forschung und Entwicklung											
Fahrzeug	BZ-Antrieb	35.994	33.519	30.219	27.744	26.094	22.794	21.144	19.494	19.494	236.500
	H2-ICE	6.544	6.094	5.494	5.044	4.744	4.144	3.844	3.544	3.544	43.000
	H2-Speicher	19.633	18.283	16.483	15.133	14.233	12.433	11.533	10.633	10.633	129.000
	APU	5.083	4.708	4.208	3.833	3.583	3.083	2.833	2.583	2.583	32.500
H2-Bereitstellung	Produktion	17.489	16.289	14.689	13.489	12.689	11.089	10.289	9.489	9.489	115.000
	Distribution	14.678	13.628	12.228	11.178	10.478	9.078	8.378	7.678	7.678	95.000
Querschnitt	Sicherheit	896	866	826	796	776	736	716	696	696	7.000
Summe		100.318	93.388	84.148	77.218	72.598	63.358	58.738	54.118	54.118	658.000
Demonstration											
Fahrzeuge	PKW	5.415	7.125	12.825	22.800	27.675	29.025	31.050	35.775	43.200	214.890
	Busse	6.290	8.880	20.350	25.900	30.800	33.000	33.000	33.000	33.000	224.220
Tankstellen		300	4.500	4.700	2.800	2.900	5.100	5.300	5.500	7.800	38.900
Summe		12.005	20.505	37.875	51.500	61.375	67.125	69.350	74.275	84.000	478.010
Übergreifende Themen											
H2-Portfolio		170	155	135	120	110	90	80	70	70	1.000
RCS		111	111	111	111	111	111	111	111	111	1.000
Ausbildung		667	667	667	667	667	667	667	667	667	6.000
Summe		948	933	913	898	888	868	858	848	848	8.000
Gesamt											
Summe		113.271	114.826	122.936	129.616	134.861	131.351	128.946	129.241	138.966	1.144.010

Tabelle 3-1: Ressourcenallokation im Bereich „Verkehr“ (Angaben in T€)

Innerhalb der F&E-Aktivitäten ist davon auszugehen, dass die Ressourcen der längerfristig angelegten Arbeiten konstant über der Zeit verlaufen. Für die anwendungsnahen F&E-Aktivitäten sind zu Beginn des Programms mehr Mittel vorgesehen als gegen Ende. Hier gilt es, diejenigen Technologien zu entwickeln, die noch im Laufe des Programms in Demonstrationsaktivitäten validiert werden können (z.B. konkrete Komponentenentwicklungen für die nächste Generation von Fahrzeugen).

Die Mittel für Demonstrationsaktivitäten steigen über die Programmlaufzeit an, da zunächst relativ wenige Fahrzeuge verfügbar sind. Die in den Schlüsselregionen vorhandene Infrastruktur muss zu Beginn des Programms nur geringfügig erweitert werden. Hierzu zählt auch, neue Infrastrukturtechnologien an bestehenden Tankstellen zu integrieren (z.B. 700-bar-Betankung). Parallel zur Ausweitung der Flotten über die Programmlaufzeit wird dann auch die Wasserstoff-Bereitstellung (Produktion/Distribution/Betankung) ausgebaut werden.

Bei den übergreifenden Themen sind Aktivitäten für die Entwicklung und Definition des zukünftigen H2-Portfolios, für die Bereiche RCS (Regulations, Codes and Standards) sowie für die Ausbildung berücksichtigt.

4 Entwicklungsplan „Stationäre Anwendungen in der Hausenergieversorgung“

Deutschland verfügt im weltweiten Vergleich über einen besonders hohen technologischen Stand in der Heizungstechnologie. Die in Deutschland tätigen Heizgeräthehersteller haben in Europa eine führende Rolle. Nach der Einführung der Niedertemperatur- und Brennwerttechnologie wird die Kraft-Wärme-Kopplung durch Brennstoffzellen den nächsten Technologiesprung in diesem Sektor darstellen. Die gleichzeitige Erzeugung von Strom und Wärme in Ein- und Mehrfamilienhäusern sowie Gewerben mittels Brennstoffzellen ermöglicht hohe Gesamtnutzungsgrade ($> 85\%$) der eingesetzten Primärenergie. Dabei kann der erzeugte Strom zum Eigenverbrauch oder zur Einspeisung in das Elektrizitätsnetz genutzt werden. Dies führt zu einer Reduzierung der CO_2 -Emissionen zwischen 20 und 30 % gegenüber einer modernen konventionellen Versorgung (Brennwertkessel und Strom aus dem Netz).

Vorreiter bei der Entwicklung von Kraft-Wärme-Kopplungs-Hausenergieanlagen (KWK) auf Basis von Brennstoffzellen sind Deutschland und Japan.

In den nächsten Jahren müssen weiterhin erhebliche Anstrengungen im Bereich F&E erfolgen. Parallel ist es aber erforderlich, in groß angelegten Demonstrationsprojekten die Technologie auf ihre Alltagstauglichkeit zu überprüfen und die daraus gewonnenen Erkenntnisse zu nutzen, um die Marktreife herzustellen. In den Demonstrationsprojekten werden Brennstoffzellenheizgeräte in gewöhnlichen Wohngebäuden installiert. Hierfür werden besonders in den ersten Jahren Pilotkunden gesucht, die eine besondere Affinität zu neuen Technologien haben. Um den Service und die Versorgungssicherheit zu gewährleisten, werden diese Projekte häufig in Zusammenarbeit zwischen den Brennstoffzellenentwicklern und Energieversorgungsunternehmen durchgeführt. Die Installation und Wartung der Anlagen erfolgt durch speziell ausgebildete Handwerksbetriebe. In den Projekten sollen neben der technischen Validierung der Brennstoffzellen auch Erkenntnisse über Anforderungen der Kunden und Installateure gewonnen werden.

4.1 Geltungsbereich

Der Entwicklungsplan „Stationäre Anwendungen in der Hausenergieversorgung“ umfasst Anlagen im Leistungsbereich von unter 1 kW bis ca. 5 kW. Allein in Deutschland sind bereits über 100 Anlagen in Gebäuden unter realen Bedingungen erprobt worden. Dabei haben sich bisher u.a. regionale Schwerpunkte in Niedersachsen, Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen herausgebildet. Als Brennstoff wird dabei Erdgas auf Basis der bestehenden Leitungsnetze eingesetzt. Mittelfristig sind auch der Einsatz von in das Erdgasnetz eingespeistem Biogas sowie der direkte Einsatz von Biogas geplant. Stationäre Brennstoffzellen haben daher den Vorteil, dass ihr Betrieb nicht die Errichtung einer Wasserstoff-Infrastruktur erfordert. Dafür muss aber die Systemkomponente Reformer in die Entwicklung einbezogen werden. Langfristig ist ein Ausbau auch auf lokale Wasserstoffnetze denkbar.

4.2 Entwicklungsplan

Die grundsätzliche Funktionalität der Brennstoffzelle ist bereits in vielen Feldtestanlagen unter Beweis gestellt worden. Es stellt sich aber heraus, dass weitere Entwicklungen erforderlich sind, um die Zuverlässigkeit der Systeme zu verbessern, ihre Komplexität zu reduzieren und die Kosten zu senken. Daher ist es erforderlich, in einem abgestimmten Rahmenplan zwischen Industrie, Instituten und Politik die Brennstoffzellensysteme zur Marktreife zu bringen. Hierzu wurde in verschiedenen Workshops zwischen Entwicklern, Instituten und Energieversorgern ein abgestimmter Entwicklungsplan (s. Abbildung 4-1) entwickelt, der die F&E-Maßnahmen und Demonstrationsprojekte beschreibt.

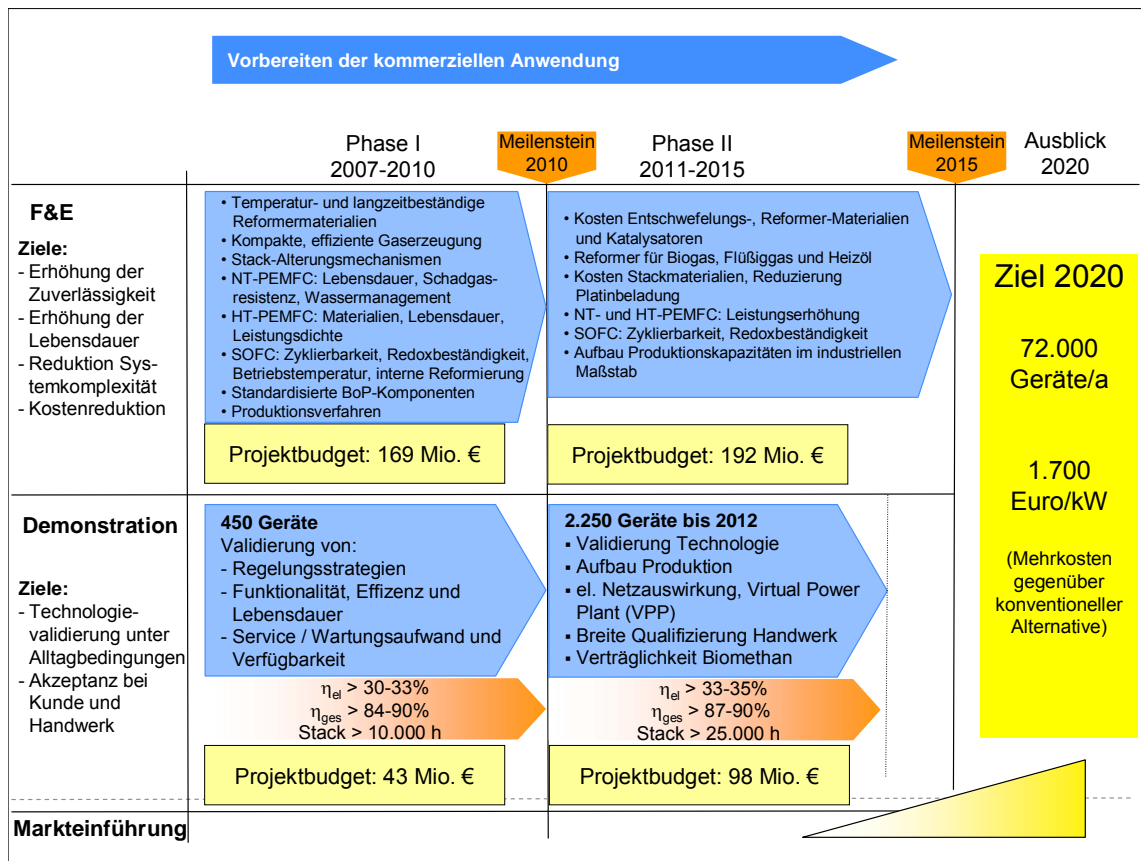


Abbildung 4-1: Entwicklungsplan für stationäre Anwendungen in der Hausenergieversorgung

4.2.1 Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten

Eine Darstellung der F&E-Aufgaben mit Schlüsselfunktion für die Reformer sowie die beiden Brennstoffzellen-Typen PEMFC und SOFC ist in der Abbildung 4-1 wiedergegeben.

Bei der Erdgasreformierung müssen neue, langzeitstabile Materialien entwickelt werden. Die Integration der Gasaufbereitung in das Gesamtsystem muss zu kompakten und preiswerten Lösungen führen.

Beim Brennstoffzellenstapel haben die Erhöhung der Lebensdauer und Zuverlässigkeit sowie die Weiterentwicklung der Produktionsprozesse für beide Zelltypen einen hohen Stellenwert.

Bei der PEMFC-Entwicklung im Niedertemperaturbereich sind die Erhöhung der Stack-Leistungsdichte, die Reduktion des Edelmetallgehalts und des Wasserverbrauches, die weitgehende Unabhängigkeit des Betriebs vom Wassernetz sowie die Erhöhung der CO- und der Schwefeltoleranz die wichtigsten technischen Ziele. Daneben eröffnet sich durch die Hochtemperaturmembran (120-200°C) eine viel versprechende Technologie. Sie bietet den Vorteil, dass das entstehende Produktwasser sich in der Dampfphase befindet und leichter aus der Brennstoffzelle ausgetragen werden kann. Außerdem erlaubt die Hochtemperaturmembran eine vereinfachte Gasaufbereitung.

Für SOFC-Zellen wird angestrebt, die Abhängigkeit der Leistungsdichte von der Betriebstemperatur zu verringern und gleichzeitig deren mechanische Festigkeit, Robustheit und Zyklisierbarkeit zu verbessern. Das Wärmemanagement auf Stackebene ist durch neue Designlösungen in Kombination mit dem Einsatz neuer Werkstoffe zu verbessern. Die Redoxstabilität (Zutritt kleiner Mengen an Sauerstoff zur Anodenseite der Zellen im heißen Betriebszustand) der Stacks und thermische Zyklisierbarkeit ist eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung serientauglicher SOFC-Systeme kleiner Leistung, da bei großen Anlagen mit wenigen Zyklen eine Spülung mit Stickstoff (o.a. Gasmischungen) denkbar, dies bei den kleinen System allerdings ausgeschlossen ist.

Zeitraffende Lebensdauertests und Simulationsverfahren für die einzelnen Komponenten sowie das gesamte System müssen zukünftig entwickelt werden. Auch die Weiterentwicklung der Produktionsprozesse und die Optimierung der Systemintegration von Brennstoffzellenheizgeräten werden vorangetrieben. Längerfristig sind Reformer für weitere Brennstoffe wie Biogas, Flüssiggas (Liquid Petroleum Gas, LPG) und schwefelfreies Heizöl wünschenswert.

Als Meilensteine der Entwicklung können die Wirkungsgrade und Standzeiten der Systeme über der Zeit betrachtet werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Anlagen für Einfamilienhäuser im unteren Leistungsbereich (< 3 kW) tendenziell geringere Wirkungsgrade als Anlagen für Mehrfamilienhäuser und Gewerbe (> 3 kW) erreichen. In der ersten Phase (2007-2010) ist ein elektrischer Wirkungsgrad zwischen 30 und 33 % realistisch, während in der zweiten Phase (2011-2015) Werte zwischen 33 und 35% erwartet werden.

Der Gesamtwirkungsgrad (elektrisch und thermisch) soll in der ersten Phase bei 84 bis 90 % liegen, und in den folgenden Jahren auf 87 bis 90 % verbessert werden. Die Lebensdauer der Stacks soll in der ersten Phase 10.000 h und in der zweiten Phase 25.000 h betragen.

4.2.2 Demonstrationsvorhaben

Technologievalidierung und Marktvorbereitung sollen innerhalb der Demonstrationsprojekte realisiert werden.

Es werden Erfahrungen mit größeren Stückzahlen gesammelt, die Zuverlässigkeit und die Reproduzierbarkeit gesteigert, das Nutzerverhalten analysiert, die Installation und Wartung durch Handwerker erprobt, sowie Markthemmnisse für den kommerziellen Einsatz identifiziert.

Die Lieferkette wird durch Zusage von Mindeststückzahlen in Gang gesetzt und für Zulieferer ein erster Markt geschaffen. Auch die Auswirkungen dezentraler Energieerzeugungsanlagen auf elektrische Netze sollen festgestellt und virtuelle Kraftwerke erprobt werden. Weiterhin führen die gewonnenen Ergebnisse zu zielgerichteten F&E-Arbeiten für die nächste Generation der Brennstoffzellensysteme und dienen der Optimierung der Produkte zur vollen Marktfähigkeit.

Die Marktpartner wie Installateure, Planer, Architekten, Hochschulen und Endkunden sollen durch die Demonstrations- und Leuchtturmprojekte sowie Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen auf die Markteinführung der Brennstoffzellensysteme für die Hausenergieversorgung vorbereitet werden.

Die Kundenakzeptanz wird ebenso eine große Rolle beim Aufbau und Betrieb von Leuchtturmprojekten spielen wie die Weiterentwicklung der rechtlichen Rahmenbedingungen und die Verifizierung der CO₂-Einsparpotenziale.

4.2.3 Tabellarische Übersicht über die Themen und Budgets

Um die Marktreife der Brennstoffzellen gegenüber traditionellen Technologien zu erreichen, sind noch enorme F&E-Aufwendungen erforderlich. Der Gesamtbedarf wird in dem Zeitraum bis 2015 auf etwa 361 Mio. € Projektbudget abgeschätzt. Dabei handelt es sich lediglich um die anwendungsorientierte F&E, die durch Kooperationen zwischen Industrie und Wissenschaft erfolgen soll (vgl. Tabelle 4-1). Unter Gaserzeugung wird im Wesentlichen der Erdgasreformer verstanden. In dem Bereich Stack sind Zell- und Stackentwicklung für die PEMFC- und SOFC-Technologie zusammengefasst. Der Begriff Gesamtsystem umfasst die Entwicklung und Integration der Komponenten. Die Methoden beinhalten Simulationsverfahren und die Entwicklung zeittraffender Tests. Eine weitere Detaillierung der Themen ist in der Anlage zu finden.

Der Demonstrationsbedarf wird mit den Jahren ansteigen. Die Entwicklung wird an das Erreichen kritischer Meilensteine gebunden sein. Aufgeführt sind Anlagen, die voraussichtlich durch Kooperationen zwischen Energieversorgungsunternehmen und Geräteherstellern bei Endkunden installiert werden. Die Projektlaufzeit ist im Schnitt auf drei Jahre berechnet worden und berücksichtigt im Budget die Installations- und Betriebskosten. Weiterhin sind in dem Budget Kosten berücksichtigt, um Aus- und Weiterbildung im Handwerk voranzutreiben, und Projekte, die sich mit der Einbindung der Brennstoffzellen in bestehende und sich verändernde Infrastrukturen für Strom und Gas beschäftigen, zu finanzieren. Das gesamte Projektvolumen beträgt rd. 140 Mio. € (vgl. Tabelle 4-1).

Ab 2012 sollte nach heutigem Kenntnisstand ein Markteinführungsprogramm die breite Markteinführung stützen. In den Jahren 2013 und 2014 werden aus dem Innovationsprogramm aus heutiger Sicht keine Neuanlagen mehr gefördert, sondern lediglich der Betrieb der installierten Anlagen fortgeführt.

Angaben in T€	Phase I				Phase II					Summe
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
Forschung und Entwicklung										
Gaserzeugung	7.200	7.200	6.400	6.400	6.400	6.400	2.200	2.200	2.200	46.600
Stack	25.600	25.600	24.600	25.300	25.300	25.300	25.000	25.000	25.000	201.700
Gesamtsystem	6.900	6.900	7.900	7.900	7.900	7.900	7.500	7.500	7.500	67.900
Methoden	2.800	2.800	2.800	2.800	2.800	2.800	900	900	900	19.500
Summe	42.500	42.500	41.700	42.400	42.400	42.400	35.600	35.600	35.600	360.700
Demonstration										
Summe	2.500	6.500	13.500	20.000	36.500	50.500	7.000	4.000	-	140.500
Gesamt										
Summe	45.000	49.000	55.200	62.400	78.900	92.900	42.600	39.600	35.600	501.200

**Tabelle 4-1: Ressourcenallokation im Bereich „Hausenergieversorgung“
(Angaben in T€)**

5 Entwicklungsplan „Stationäre Industrieanwendungen“

Die globale Energieversorgung ist ein sehr großer Wachstumsmarkt und bietet viel Raum für Brennstoffzellen für stationäre Industrieanwendungen. Weltweit entsteht bei wachsendem Energieverbrauch und sinkender Ressourcenverfügbarkeit ein gewaltiger Bedarf an Effizienztechnologien. Allein in Deutschland werden bis zum Jahr 2012 nach Zusagen der Energiewirtschaft beim nationalen Energiegipfel 70 Mrd. € in neue Stromerzeugungsanlagen und Netzinfrastrukturen investiert. Die dezentrale Erzeugung von Strom und Wärme in Brennstoffzellen zur Energieversorgung von Industrieanlagen und anderen Großeinrichtungen ermöglicht Gesamtnutzungsgrade von über 90 % der eingesetzten Primärenergie bei elektrischen Wirkungsgraden von über 50 %. Dabei kann der erzeugte Strom selbst verbraucht oder in das Elektrizitätsnetz eingespeist werden. Aufgrund des hohen elektrischen Wirkungsgrades führt dies zu einer Reduzierung des Ressourcenverbrauchs und der CO₂-Emissionen auch gegenüber klassischer Kraft-Wärme-Kopplung (KWK); gegenüber der konventionellen Erzeugung von Strom und Wärme sogar von 30 % bis 40 %. Beim Einsatz von biogenen Brennstoffen sind die Treibhausgasemissionen auf die in den Pflanzen gebundenen Stoffe begrenzt. Als Brennstoff wird zunächst noch überwiegend Erdgas auf Basis der bestehenden Leitungsnetze eingesetzt. In ersten Projekten werden bereits CO₂-neutrale biogene Brennstoffe genutzt. Mittelfristig kann auch Kohlegas mit CO₂-Abspaltung und Speicherung, langfristig bei zentraler Erzeugung auch Wasserstoff eingesetzt werden. Vorreiter bei der Entwicklung von industriellen KWK-Anlagen auf Basis von Brennstoffzellen sind Deutschland und die USA.

Im Bereich der Industrieanwendung ist neben weiterer F&E-Anstrengung zur Kostenreduktion und Lebensdauerverlängerung von Stack, Balance of Plant und Gesamtsystem sowie weiteren Demonstrationsprojekten zum Beweis der Alltagstauglichkeit eine Flankierung der Markteinführung zum Erreichen von Skaleneffekten erforderlich, wenn die technologischen Entwicklungen erfolgreich an den Markt gebracht und die Industrie in Deutschland auf- und ausgebaut werden soll. Im Rahmen des NIP liegt der Schwerpunkt im Bereich der stationären Industrieanwendung auf Demonstrations- und Leuchtturmprojekten in verschiedenen Anwendungsbereichen von der Informationstechnologie bis zur dezentralen Energieversorgung. In den Projekten sollen im großen Leistungsbereich der stationären Anwendung die technologischen Entwicklungen mit verschiedenen Brennstoffen in unterschiedlichsten Anwendungsbereichen demonstriert, weitere Kundenerfahrung mit Installation, Service und Wartung gesammelt und bewertet werden.

5.1 Geltungsbereich

Bei Brennstoffzellen für Industrieanwendungen handelt es sich um KWK-Anlagen im Leistungsbereich von ca. 100 kW bis wenige MW. Mehrere hundert Anlagen sind weltweit im Einsatz. Eine weitere Option ist Trigeneration, d.h. die zusätzliche Erzeugung von Kälte aus der Hochtemperaturabwärme über Absorptionskältemaschinen.

Die MCFC-Technologie wird in Deutschland und in den USA, die SOFC-Technologie hauptsächlich in Deutschland und den USA entwickelt. Deutsche Firmen halten somit in der MCFC- und SOFC-Technologie weltweit die Spitze. Lebensdauern um und über 30.000 Stunden konnten bereits mit beiden Technologien nachgewiesen werden, im Fall der MCFC basierend auf einer größeren Zahl von 250-kW-Anlagen, bei der SOFC mit einer 100-kW-Anlage. Mit zunehmendem Interesse an der SOFC-Technik in Europa und Deutschland (vgl. Kapitel 3 und 4) werden möglicherweise weitere Entwickler auch im Bereich der größeren Anlagen tätig werden.

5.2 Entwicklungsplan

Die grundsätzliche Funktionalität der Brennstoffzellen ist in der Industrieanwendung bereits in Demonstrationsanlagen unter Beweis gestellt worden. Einige Anlagen werden in Krankenhäusern, in Telekommunikations- und Industrieeinrichtungen sowie bei Energieversorgungsunternehmen unter realen Bedingungen erprobt. Weitere Entwicklungen und Erfahrungen sind auch hier erforderlich, um die Zuverlässigkeit zu verbessern, die Komplexität der Systeme zu verringern und die Kosten zu senken. Der in Abbildung 5-1 dargestellte Entwicklungsplan stellt die hierfür wesentlichen Aktivitäten dar. Er beschreibt ein Programm, in dem F&E- und Demonstrationsaktivitäten eng aufeinander abgestimmt und von einem Markteinführungsprogramm flankiert werden müssen, um das Ziel wettbewerbsfähiger Anlagen für den weltweiten Energieversorgungsmarkt im internationalen Wettbewerb zu erreichen.

5.2.1 Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten

Die F&E-Schwerpunkte des Entwicklungsplans zu Kostenreduktion, Anlagenvergrößerung, Komponentenoptimierung und Produktionskapazitätsausweitung gelten für alle im Bereich der Industrieanwendung genutzten Brennstoffzellentechnologien.

In der MCFC-Technologie sind umfangreiche F&E-Aktivitäten geplant, um sowohl Lebensdauer- als auch Kostenziele für die kommerzielle Phase zu erreichen. Zur Zelloptimierung werden hochtemperatur- und korrosionsbeständige Beschichtungen ebenso weiterentwickelt wie poröse Metall- und Keramikstrukturen, Pulverwerkstoffe und Isoliermaterial. Die Stack-Mechanik wird optimiert und die Leistungsdichte um 25 % gesteigert. Fertigungsverfahren und Produktionstechnik müssen ebenfalls weiterentwickelt werden. Um erneuerbare Energien effizient einzusetzen, werden System- und Zelltechnik an biogene Brennstoffe angepasst.

Im Bereich der tubularen SOFC-Technologie werden bis zum Jahr 2008 Ergebnisse der Systementwicklung in Demonstrationsanlagen der 125-kW-Klasse einfließen. Wesentlicher Entwicklungsschwerpunkt zur Kostensenkung ist die Entwicklung neuer Zellgenerationen, die eine Leistungsdichtesteigerung um den Faktor drei ermöglichen und bis 2009 in der 500-kW-Klasse realisiert werden sollen. Weitere F&E-Schwerpunkte, wie Niedertemperaturbetrieb bis 650°C und die Kopplung mit einer Gasturbine im Druckbetrieb, werden in die Megawattklasse bis 2012 integriert. Der Betrieb mit Kohlegas und CO₂-Abtrennung soll bis 2015 demonstriert werden.

Verschiedene Forschungsinstitutionen arbeiten an Konzepten und Anlagen für die industrielle KWK im Leistungsbereich 20 kW bis mehrere hundert kW mit planarer SOFC-Technologie. Ziel ist, bis 2010 ein 100-kW-System zu entwickeln. Weitere Forschungs- und Industriepartner werden möglicherweise in den kommenden Jahren verstärkt in die Entwicklung einsteigen. Aufgaben bei der planaren Bauform umfassen die Entwicklung von Modulen mit kompaktem Aufbau bei hoher Leistungsdichte und damit günstigen wirtschaftlichen Randbedingungen. Systeme in der hohen Leistungsklasse können auch als APU auf Schiffen und in Flugzeugen Anwendung finden (vgl. Kap. 3). Die für diese Entwicklungen notwendigen F&E-Budgets in einer Größenordnung von etwa 10 Mio. € sind in die Planzahlen für die Industrieanwendung noch nicht eingeflossen, da die Projektfinanzierung durch Industriepartner bisher nicht dargestellt werden konnte.

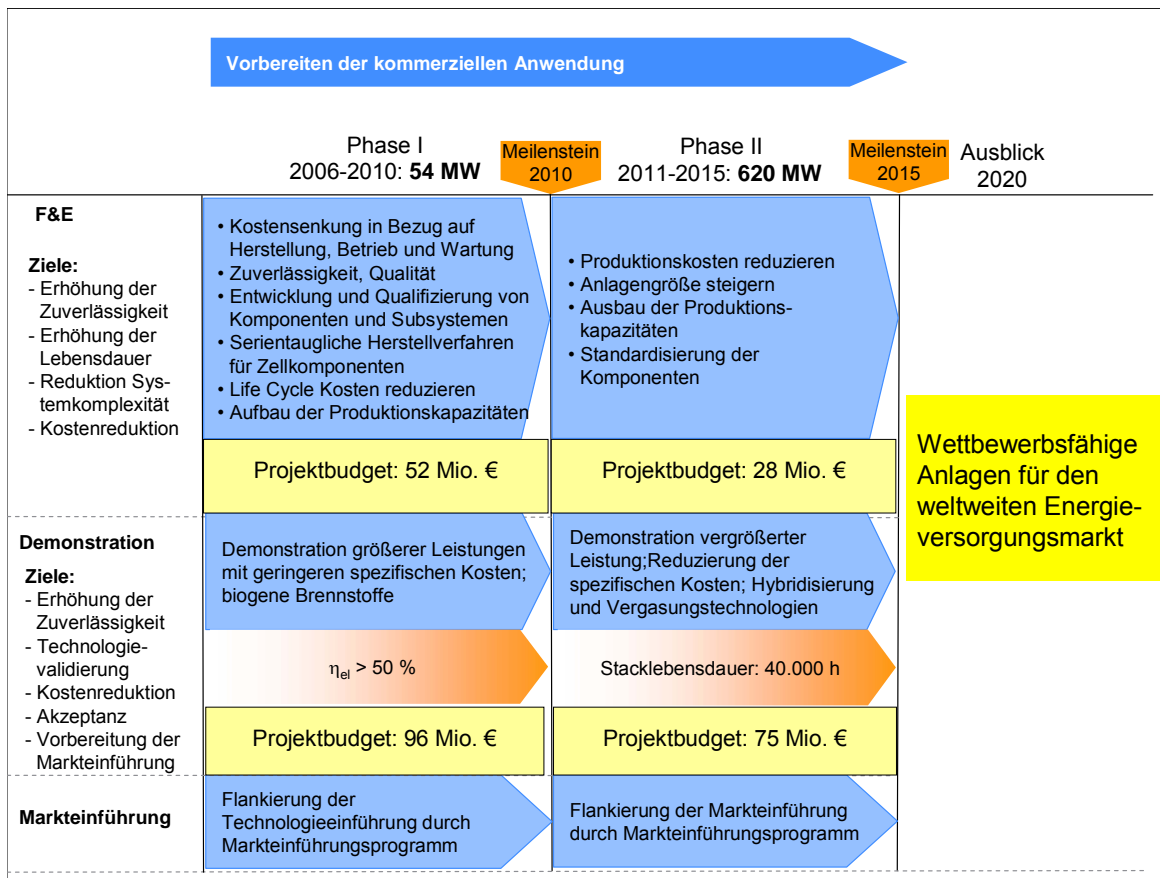


Abbildung 5-1: Entwicklungsplan für stationäre Industrieanwendungen

5.2.2 Demonstrationsvorhaben

Technologievalidierung und Marktvorbereitung sollen durch die nationalen Demonstrationsprojekte und die europäischen Leuchtturmprojekte realisiert werden. Hier werden Erfahrungen mit Praxistests neuer Entwicklungen, mit verschiedenen Brennstoffen, mit größeren Leistungen, mit geringeren spezifischen Kosten und mit größeren Stückzahlen gesammelt, die Integration in bestehende Infrastrukturen optimiert und die Zuverlässigkeit gesteigert. Auch Hybridisierungs- und Vergasungstechnologien werden im Feld getestet. Die Demonstrations- und Leucht-

turmprojekte werden zur zielgerichteten F&E für die nächste Generation der Brennstoffzellensysteme, zur Optimierung der Produkte und damit zur Erreichung der vollen Marktfähigkeit für die Industrieanwendung genutzt. Sie sind ein wesentlicher Schritt zur Vorbereitung der Markteinführung.

In der MCFC- und SOFC-Entwicklung soll bereits für das Jahr 2015 eine Anlagenutzungsdauer von 120.000 h angestrebt werden, das entspricht 15 Jahren. Eine Stack-Lebensdauer von mindestens 40.000 (MCFC) respektive 60.000 (SOFC) Betriebsstunden sind Zielvorgabe und Meilenstein. Die Degradation darf dann nur weniger als 0,1 % pro 1.000 h betragen. Der Gesamtwirkungsgrad soll schon im Jahr 2015 bis zu 90 % betragen. Elektrische Wirkungsgrade von 50 % werden schon 2010 erreicht und 2015 deutlich überschritten. Ein wichtiges langfristiges Ziel ist die Kopplung von Hochtemperatur-Brennstoffzellen mit Gas- oder Dampfturbinen und der Betrieb mit Kohlegas. Damit können sehr emissionsarme Kraftwerke mit sehr hohem elektrischem Wirkungsgrad von über 60 % realisiert werden.

Ziel für das Jahr 2020 sind wettbewerbsfähige Anlagen der Strom- und Wärmeerzeugung für Grundlast, unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV), Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWK/K), Premium Power und Netzoptimierung. Die Anlagenkosten dürfen 2020 nur noch 1.000-1.500 €/kW betragen. Um dies zu erreichen und die Industrie in Deutschland auf- und auszubauen, ist in der Industrieanwendung neben F&E und Demonstration möglichst schon ab 2007 ein Markteinführungsprogramm zu starten.

5.2.3 Tabellarische Übersicht über die Themen und Budgets

Um die Marktreife der Brennstoffzellen in der Industrieanwendung gegenüber traditionellen Technologien zu erreichen, ist zunächst noch die Fortschreibung und vorübergehend geringfügige Ausweitung der F&E-Aufwendungen erforderlich. Der Gesamtbedarf wird in dem Zeitraum bis 2015 auf etwa 80 Mio. € Projektbudget abgeschätzt. Dabei handelt es sich um Mittel für Aufgaben vor allem im Bereich angewandte Forschung, die mit dem laufenden Etat des BMWi und aus Investitionen der Industrie anteilig finanziert werden, zusätzliche angewandte Forschung und Strategiefindung im Rahmen des NIP und darüber hinaus.

Der Demonstrationsbedarf schwankt über die Zeit mit der Entwicklung neuer Technologien und sinkt mit der Möglichkeit demonstrierte Anlagen frühzeitig in den Markt einzuführen. Entsprechend dem BMWi-Instrumentengutachten ist im Bereich Industrieanwendung bereits heute zum Erreichen von Skaleneffekten eine zusätzliche Flankierung der Markteinführung über das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz und einen differenzierten und degressiv ausgestalteten Investitionskostenzuschuss sinnvoll und erforderlich.

Demonstration und Markteinführung sind an das Erreichen kritischer Meilensteine bei Wirkungsgrad und Stacklebensdauer gebunden. Beispielhaft aufgeführt sind Projekte, die durch Kooperationen zwischen Energieversorgungsunternehmen oder anderen Anwendern wie Krankenhäusern oder IT-Betreibern und Anlagenherstellern installiert werden. In den Planzahlen für Demonstrationsprojekte sind Kosten berücksichtigt, um Aus- und Weiterbildung bei den Betreibern voranzutreiben, und Projekte, die sich mit der Einbindung der Brennstoffzellen in bestehende

und sich verändernde Infrastrukturen für Strom und Gas beschäftigen, zu finanzieren. Das gesamte Projektvolumen für Demonstrations- und Leuchtturmprojekte sowie kleinere Marktvorbereitungsaktivitäten beträgt rund 170 Mio. € (s. Tabelle 5-1).

So bald wie möglich muss ein Markteinführungsprogramm die breite Markteinführung stützen.

Angaben in T€	Phase I				Phase II					Summe
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
Forschung und Entwicklung										
F&E (BMW)	4.480	6.440	5.980	4.950	2.500	1.000	-	-	-	25.350
Angewandte Forschung	4.100	6.050	12.000	8.000	8.000	6.000	4.000	3.000	3.000	54.150
Summe	8.580	12.490	17.980	12.950	10.500	7.000	4.000	3.000	3.000	79.500
Demonstration und Marktvorbereitung										
Strategiefindung (Industrie)	30	30	20	20	10	10	10	10	10	150
BZ-Marktvorbereitung	100	690	590	390	200	200	200	200	200	2.770
Demo-/ Leuchtturmprojekte	11.000	31.100	26.100	26.030	24.070	13.070	10.970	12.070	13.280	167.690
Summe	11.130	31.820	26.710	26.440	24.280	13.280	11.180	12.280	13.490	170.610
Gesamt										
Summe	19.710	44.310	44.690	39.390	34.780	20.280	15.180	15.280	16.490	250.110

Tabelle 5-1: Ressourcenallokation im Bereich „Industrieanwendung“ (Angaben in T€)

Parallel zur Erstellung des Entwicklungsplans wurden von Herstellern und in Diskussionen mit aktuellen und potenziellen Anwendern einige Ideen für Netzwerkprojekte zur Umsetzung des Innovationsprogramms in der Industrieanwendung entwickelt, die teilweise bereits in die Budgets der Unternehmen eingeplant und mit Kunden abgestimmt sind.

In dem Projekt Clean Energy City soll u.a. auch mit MCFC-Anlagen zunächst in Weiterführung der Ideen der Hafencity Hamburg, prototypisch in der Speicherstadt Potsdam, eine energieautarke und CO₂-freie Stadt entwickelt werden, die Modellcharakter für moderne Stadtentwicklungsprojekte hat. In einer bereits fest vereinbarten 1-Megawatt-SOFC-Hybridanlage soll 2012 durch ein nationales Konsortium erstmalig die Kopplung einer Brennstoffzelle mit einer Turbine demonstriert werden.

Die Projekte können mit Mitteln aus dem Innovationsprogramm erste Demonstratoren anschieben und dann mit Hilfe eines flankierenden Markteinführungsinstrumentariums die breite Markteinführung unterstützen.

6 Entwicklungsplan „Spezielle Märkte für Brennstoffzellen“

Bevor neue Technologien einen breiten Markt erobern, kommen sie häufig in Spezialanwendungen, in denen ihre Vorzüge besonders zur Geltung kommen, zum Einsatz. Solche Einstiegsanwendungen ebnen den neuen Technologien den Weg zur Massenanwendung, weil Funktionstüchtigkeit, technische Vorzüge und andere zukunftsweisende Eigenschaften demonstriert werden können und diese Märkte meist weniger preissensibel sind. So kam z.B. die Photovoltaik, bevor sie sich massenhaft auf unseren Dächern ausbreitete und Deutschland zum Photovoltaikmarkt Nr.1 machte, zunächst in Parkscheinautomaten, Taschenrechnern oder Freizeitanwendungen zum Einsatz. Genauso werden Brennstoffzellen längst ihre Funktionstüchtigkeit beispielsweise für die Notstromversorgungen in der Telekommunikation oder als Bordstromquelle in Caravans oder Booten bewiesen haben, ehe sie in großem Stil in PKW oder zur Hausenergieversorgung zum Einsatz kommen. Die im Folgenden skizzierten „Speziellen Märkte“ repräsentieren genau solche Einstiegsanwendungen und sind also keine Nischenmärkte sondern „Frühe Märkte“ und bieten eine Reihe von Anwendungen, die geeignet sind, als Türöffner für eine breite, industriepolitisch höchst bedeutsame Anwendung von Brennstoffzellen zu fungieren.

Gemeinsames Merkmal der Anwendungen von Brennstoffzellen in den „Speziellen Märkten“ ist eine im Vergleich zu anderen Anwendungen weiter fortgeschrittene Marktnähe mit in vielen Fällen bereits einsatzbereiten Prototypen. Diese sind insbesondere

- Notstromversorgungen / USV
- Lagertechnikfahrzeuge (Gabelstapler, Flughafenschlepper u.a.)
- Elektrische Leichtfahrzeuge und Boote
- Bordstromversorgungen für den Freizeitmarkt (Boote, Wohnmobile)
- Kleinstanwendungen (sog. 4-C-Anwendungen) auf Basis von Mikro-Brennstoffzellen

Die Speziellen Märkte werden insbesondere von kleinen und mittleren Unternehmen sowie Neugründungen angegangen, die oftmals eine hohe Innovationskraft besitzen, jedoch zumeist über sehr begrenzte Ressourcen zur Weiterentwicklung und Marktvorbereitung ihrer Produkte verfügen. Daher ist es umso wichtiger, die Synergiepotenziale zu anderen Anwendungen konsequent zu nutzen.

Die energiewirtschaftliche Relevanz der genannten Anwendungen ist in der Regel zwar gering (Ausnahme sind möglicherweise Anwendungen in der Telekommunikation), ihre industriepolitische Bedeutung ist jedoch aufgrund ihrer frühen Marktchancen und ihrer Einstiegsfunktion für Zukunftsmärkte vielfach hoch. Insbesondere bieten sich häufig ideale Voraussetzungen für die Felderprobung der Technologien sowie für eine breite Öffentlichkeitswirkung.

6.1 Geltungsbereich

Der Leistungsbereich der Anwendungen der Speziellen Märkte reicht von wenigen Watt bis etwa 50 kW, die meisten liegen im Bereich von wenigen kW. Als Brennstoff wird bei vielen Anwendungen Methanol in DMFC genutzt aber auch Wasserstoff sowie Methanol oder LPG in Verbindung mit einem Reformer in PEMFC. Bei Wasserstoffsystemen ist sowohl die Verwendung von Kartuschen mit Distributionsinfrastruktur und -logistik als auch der Aufbau von Wasserstoff-Tankstellen vorgesehen. Bei den meisten Anwendungen handelt es sich zudem um Hybridsysteme aus Brennstoffzelle und Akkumulator.

6.2 Entwicklungsplan

Aufgrund der Vielzahl der Anwendungen und Ausprägungen lässt sich kein einheitlicher Entwicklungsplan für die Speziellen Märkte darstellen.

Die meisten Anwendungen zeichnen sich dadurch aus, dass sie in vielen Fällen schon prototypisch oder in ersten Pilotserien einsatzfähig sind bzw. nur noch wenige Entwicklungsarbeiten zur Vorbereitung der Demonstration bzw. Felderprobung notwendig sind. Bezüglich der Entwicklung von Komponenten und grundsätzlicher F&E-Themen nutzen die Speziellen Märkte die Synergien mit den Entwicklungen im mobilen und stationären Bereich. Die erforderlichen Entwicklungsarbeiten konzentrieren sich daher auf Optimierungen bzw. anwendungsspezifische Adaptionen, die wichtige Schritte auf dem Weg von der Einsatzfähigkeit zur Marktreife sind. Im Wesentlichen haben die geplanten Aktivitäten die Marktvorbereitung, die Demonstration der Praxistauglichkeit und den Übergang zur Serienfertigung zum Ziel.

Die Anwendungen mit ihren dazugehörigen Projekten lassen sich in folgende Cluster mit Grundzügen der Entwicklungspläne einteilen:

Notstromversorgung / Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV): Brennstoffzellen zeichnen sich hier durch eine Reihe technischer Vorteile gegenüber Akkumulatoren aus, wie z.B. längere Lebensdauern und hohe Überbrückungszeiten, Energieeinsparung durch Wegfall der Klimatisierung. Neben der Optimierung von Komponenten und Systemen sind umfangreiche Feldtests geplant. Einsatzgebiete sind die vor allem die Telekommunikation (DSL-Stationen, Mobilfunkstationen, Behördenfunk TETRA) wie auch in Rechenzentren und bei der Deutschen Bahn (Weichen). Die Felderprobung mit einigen hundert Geräten führt zu verbesserten Geräten der nächsten Generation bzw. zu Geräten, die auf die jeweilige Anwendung optimiert sind.

Lagertechnikfahrzeuge: Durch den Einsatz von Brennstoffzellen entfallen die bei Batterien üblichen langen Ladezeiten bzw. die Anschaffung eines zweiten Batteriesatzes. Im Fall von Fahrzeugen, die bislang mit Verbrennungsmotoren betrieben wurden, ermöglichen Brennstoffzellen-Fahrzeuge auch den Betrieb in Innenräumen. Im Vordergrund stehen Integrationsentwicklungen und die Darstellung von Pilotfahrzeugen. Aufgrund des räumlich begrenzten Einsatzes der Fahrzeuge bieten sie optimale Bedingungen für die geplanten Feldteststudien. Typische Projekte sind daher Entwicklung und Einsatz kleiner Gabelstaplerflotten in bestimmten

Betrieben oder der Einsatz von Vorfeldfahrzeugen auf Flughäfen. Wichtig ist die Schaffung einer Betankungsinfrastruktur bzw. die Ankopplung des Einsatzes an eine bestehende Wasserstoffinfrastruktur.

Boote und Leichtfahrzeuge: In dieser Sparte werden emissionsfreie Antriebe vorwiegend für den Tourismus- und Freizeitbereich in mehreren Leistungsklassen entwickelt, die dann jeweils von der Demonstration von Pilotflotten begleitet werden. Parallel dazu ist der Aufbau einer Wasserstoff-Infrastruktur vorgesehen. Die Demonstration der Techniken (Boote, kleine Fahrzeuge) erfolgt im Sinne von Leuchttürmen konzentriert in wenigen, insbesondere touristisch bedeutsamen Regionen (Bodensee, Mecklenburg-Vorpommern), womit eine besondere Öffentlichkeitswirkung verbunden ist, sowie in Vorreiterregionen mit bestehenden Projekten (z.B. HYCHAIN-MINITRANS in NRW) und Infrastrukturen (Hamburg, NRW, Hessen).

Bordstromversorgungen im Freizeitmarkt (Boote, Wohnmobile etc.): Hier kommen vorwiegend flüssige Treibstoffe wie Methanol oder Propan/Butan zum Einsatz. Neben der Adaption der Systeme an die jeweilige Anwendung, stehen die Klärung wichtiger Zulassungsfragen und die Darstellung von Pilotanwendungen bei den Akteuren im Vordergrund. Auf diese Weise soll auch eine Anpassungsentwicklung auf Marktbedürfnisse erreicht werden, die die im nächsten Schritt anstehende breite Markteinführung vorbereitet. Es ist insbesondere die Ausstattung von Freizeitfahrzeugen wie Wohnmobilen mit Bordstromversorgungen vorgesehen.

Mikrobrennstoffzellen: Hierunter fällt die gesamte Anwendungspalette der Stromversorgungen bzw. Ladestationen für die sog. 4-C-Anwendungen (Computer, Cordless phone, Cellular phone, Camcorder) sowie eine Vielzahl weiterer Anwendungen im Leistungsbereich bis zu 100 W. Zu diesem Thema wurde vom BMBF bereits ein umfangreicher Förderschwerpunkt gestartet („Leitinnovation Mikrobrennstoffzelle“, Gesamt-Budget 40 Mio. €, Start 01/07), das über den Projektträger VDI/VDE/IT koordiniert wird. Ergänzende und weiterführende Aktivitäten im Rahmen des NIP sind geplant.

Weitere **Spezialanwendungen** sind z.B. Stromversorgungen für Überwachungssysteme, im Bergbau, für Rollstühle und Golf-Caddys. Auch hier geht es primär um spezifische Integrationsentwicklungen mit nachfolgenden Demonstrationen von Pilotsystemen.

6.2.1 Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten

Die Schwerpunkte der F&E-Tätigkeiten bilden in allen Sparten der Speziellen Märkte die Themen Anpassungsentwicklung, Erhöhung der Lebensdauer und Leistungsdichte sowie weitere Optimierungen der Systeme insbesondere hinsichtlich der Vereinfachung und Integration. Bei vielen Anwendungen spielt zudem die Miniaturisierung eine wichtige Rolle. Kostenreduktion wird auf Komponentenebene durch Synergien mit den mobilen und stationären Anwendungen angestrebt. Aufgrund der angestrebten Stückzahlen zu einem frühen Zeitpunkt sollten auch deutlich Skaleneffekte bei der Zulieferindustrie zum Tragen kommen.

Weiterer Entwicklungsbedarf besteht darüber hinaus bei folgenden Themen:

- Optimierung und Standardisierung von Schnittstellen (elektrisch, mechanisch, thermisch)
- Vereinfachung der Systemarchitektur und Entwicklung kostengünstiger und standardisierter Systemkomponenten
- Optimierung des Energiemanagements bei Hybridsystemen
- Etablierung von Zertifizierungen und Qualitätssicherung
- Automatisierung der Produktionsprozesse, insbesondere Ausrichtung für Massenfertigung

Die notwendigen Aufwendungen für F&E halten sich jedoch bei vielen Anwendungen vor allem deshalb im Rahmen, weil umfangreiche Synergien mit anderen Sparten bestehen.

6.2.2 Demonstrationsvorhaben

Die Demonstration der Funktionstüchtigkeit der Anwendungen der Speziellen Märkte steht bei allen Akteuren im Vordergrund. Entwicklungsarbeiten werden daher immer von Feldtests gefolgt oder begleitet. Diese Feldtests erfolgen teilweise in größeren Stückzahlen (einige hundert), wodurch sie nicht nur die prinzipielle Funktionsfähigkeit sondern auch die Marktreife demonstrieren können. In der Anwendung auftretende Mängel fließen in begleitende F&E-Arbeiten ein.

Die Einsatzfelder – insbesondere im Freizeit- und Touristikbereich – bieten ideale Voraussetzungen für eine breite Öffentlichkeitswirkung. Damit ist die Chance verbunden, Image und Akzeptanz dieser neuen Technologie nachhaltig zu fördern. Auf diese Weise leisten die Speziellen Märkte auch eine wichtige Vorbereitungsarbeit für die anderen Sparten, die zukünftig auf Endkunden zielen.

Nicht vergessen werden darf, dass über das Innovationsprogramm hinaus öffentliche Institutionen – wie die öffentliche Hand – als Kunden selbst eine wichtige Rolle beim Markteintritt neuer Technologien spielen können. Zum Beispiel sind im Bereich der USV-Anwendungen oder der Leichtfahrzeuge interessante Synergien zwischen Förderprogramm und öffentlicher Auftragsvergabe denkbar.

Die Fähigkeit der Speziellen Märkte zur zeitnahen Demonstration der Marktreife macht neben den skizzierten Förderinhalten die Notwendigkeit deutlich, möglichst bald geeignete Förderinstrumente zu entwickeln, die den Übergang von der Marktdemonstration zur konkreten Markteinführung gewährleisten. Für die Speziellen Märkte ist in vielen Segmenten entscheidend, dass ein solches Förderinstrument bereits während der Laufzeit des Innovationsprogramms wirksam wird, um die angeschobene Dynamik aufrecht zu erhalten. Mit einer entsprechenden Studie sollten daher möglichst frühzeitig geeignete Optionen aufgezeigt werden.

6.2.3 Tabellarische Übersicht über die Themen und Budgets

In der nachfolgenden Tabelle sind die geplanten Budgets für die Speziellen Märkte aufgeführt. Sie sind in die o.g. fünf Cluster eingeteilt und auf der Grundlage bekannter Projektplanungen kalkuliert worden, wobei Synergiepotenziale einkalku-

liert wurden. In den Clustern selbst müssen sich allerdings noch entsprechende Konsortien bilden, um zu abgestimmten Projektanträgen zu gelangen.

Wegen ihrer Marktnähe konzentriert sich der Förderbedarf insbesondere auf die ersten fünf Jahre des Innovationsprogramms und ist in den restlichen vier Jahren stark rückläufig. In dieser Phase sind spezielle Projektförderungen nur noch wenig geeignet; vielmehr sollte das angeregte Markteinführungsprogramm bereits wirksam sein.

Angaben in T€	Phase I				Phase II					Summe
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
Forschung und Entwicklung										
Bordstrom / DMFC-Leichtfahrzeuge	3.100	3.700	3.300	0	0	0	0	0	0	10.100
Notstrom / USV	3.900	6.600	4.200	3.100	2.400	0	0	0	0	20.200
Flurförderfahrzeuge / Stapler / Flughafen	1.500	2.400	2.800	900	400	300	0	0	0	8.300
Boote / Leichtfahrzeuge H2	6.000	7.300	4.800	3.000	2.200	1.200	700	700	600	26.500
weitere Spezialanwendungen	1.200	1.200	1.100	300	200	200	0	0	0	4.200
Summe	15.700	21.200	16.200	7.300	5.200	1.700	700	700	600	69.300
Demonstration und Marktvorbereitung										
Bordstrom / DMFC-Leichtfahrzeuge	2.900	6.400	4.600	4.800	0	0	0	0	0	18.700
Notstrom / USV	4.300	12.500	15.800	18.000	6.000	0	0	0	0	56.600
Flurförderfahrzeuge / Stapler / Flughafen	2.000	3.500	6.900	6.000	3.500	2.400	800	800	0	25.900
Boote / Leichtfahrzeuge H2	1.800	2.400	7.300	9.000	10.800	4.900	1.800	700	700	39.400
Mikro-BZ und weitere Spezialanwendungen	0	200	1.700	1.900	2.500	800	1.000	1.000	2.000	11.100
Summe	11.000	25.000	36.300	39.700	22.800	8.100	3.600	2.500	2.700	151.700
Gesamt										
Summe	26.700	46.200	52.500	47.000	28.000	9.800	4.300	3.200	3.300	221.000

**Tabelle 6-1: Ressourcenallokation im Bereich „Spezielle Märkte“
(Angaben in T€)**

7 Generelle Kriterien zur Projektförderung und Leitlinien zur Bewertung von Leuchtturmprojekten

7.1 Generelle Kriterien zur Projektförderung

Zur Bewerbung für eine Projektförderung im Rahmen des „Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff und Brennstoffzellen“ ist in der Regel ein zweistufiges Verfahren bestehend aus Projektskizzen und vollständigen Förderanträgen vorgesehen.

Die erste Stufe besteht in der Erstellung einer Projektskizze, die max. 5 Seiten umfassen und folgende Angaben enthalten sollte:

- Kurze Beschreibung des Projektkonzeptes (Zielsetzung, Durchführung)
- Darstellung der Zusammenarbeit mit anderen Institutionen der Wirtschaft bzw. Forschung
- Grobkalkulation der Kosten des Projektes
- Vorschlag für eine Finanzierung
- Geplante Verwertung der Ergebnisse nach erfolgreichem Projektabschluss
- Hinweis darauf, ob es sich bei dem vorgeschlagenen Projekt um ein Forschungs- und Entwicklungsprojekt (F&E) oder ein Demonstrationsprojekt (D) handelt

Die Projektskizzen stehen im Wettbewerb zueinander. Sie werden im Falle einer F&E-Maßnahme (entsprechend den Vorgaben des Energieforschungsprogramms) vom Projektträger Jülich (PtJ) in der Forschungszentrum Jülich GmbH sowie im Falle einer D-Maßnahme von der Programmgesellschaft Wasserstoff und Brennstoffzellen NOW jeweils entgegen genommen und nach folgend genannten Kriterien bewertet:

- Qualität des Projektvorschlags und ggf. der Konzeption der Zusammenarbeit
- Fähigkeit, Kenntnisse und Erfahrungen der Projektpartner
- Beitrag zur Einführung der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, zur Stärkung des Technologiestandorts Deutschland und damit zur Umsetzung der Ziele des Programms
- Angemessenheit zwischen geplantem (finanziellem) Aufwand und dem Beitrag zur Umsetzung der Ziele des Programms
- Eigener finanzieller Beitrag zu der vorgeschlagenen Maßnahme

Bei Projektskizzen, die mehrere Forschungsstufen umfassen, wird die eindeutige Zuordnung und Förderung entsprechend dem FuEul-Gemeinschaftsrahmen ("Gemeinschaftsrahmen für staatliche Beihilfen für Forschung, Entwicklung und Innovation") dadurch sichergestellt, dass die Maßnahme durch die Antragssteller bzw. die Programm- sowie Projektsteuerung in mehrere, den Forschungskategorien

entsprechende Unterprojekte aufgegliedert wird. Bei der Bewertung erfolgt eine enge Absprache zwischen NOW (siehe Kapitel 8) und dem Projektträger Jülich.

Nach Bewertung der Projektskizze werden die Antragsteller über das Ergebnis informiert. Bei positiver Bewertung beginnt die zweite Phase des Verfahrens. Zur Konkretisierung des geplanten Projektes sollte ein Antragsvorgespräch mit dem Projektträger oder/und der Programmgesellschaft NOW stattfinden. Anschließend arbeitet der Antragsteller vollständige Förderanträge aus. Dabei sollte er auf den elektronischen Antragsassistenten easy zurückgreifen. Die Programmgesellschaft und Projektträger beraten den Antragsteller bei der Erstellung der Anträge. Zur Belegung des Eigeninteresses müssen die Antragsteller eigene Ressourcen (Sach-, Personal-, Finanzmittel) in das Projekt einbringen.

Nach Einreichung der Förderanträge erfolgt erneut eine Bewertung durch den Projektträger bzw. die Programmgesellschaft NOW. Bei positiver Förderentscheidung erhält der Antragsteller eine Zuwendung. Das Verhältnis von Zuwendung zu Projektkosten, die Förderquote, wird im Einklang mit dem EU-Gemeinschaftsrahmen für staatliche FuEul-Beihilfen festgelegt. Bei Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft ist die Förderquote auf maximal 50 % begrenzt. Unter Einhaltung der Vorgaben des genannten FuEul-Gemeinschaftsrahmens sind für kleine und mittlere Unternehmen Zuschläge möglich.

Es wird angestrebt, dass die nationalen Projekte grundsätzlich – unter Beachtung der Förderhöchstgrenzen – aus weiteren öffentlichen Mittel (Länder, EU, ...) mitfinanziert werden können. Im Falle einer solchen Co-Finanzierung, z.B. durch die geplante Joint Technology Initiative im Rahmen des 7. EU-Forschungsrahmenprogramms, werden aneinander angepasste Dokumente (Beantragung, Berichterstattung, etc.) avisiert, um den bürokratischen Aufwand gering zu halten. Hierzu sollen auf Programmebene entsprechende Abstimmungen erfolgen.

Der Förderung von F&E-Vorhaben mit Mitteln aus dem Energieforschungsprogramm liegen die Förderrichtlinien zur Projektförderung des BMWi und BMBF zu Grunde. Im Wesentlichen sind dies die „Nebenbestimmungen des BMWi für Zuwendungen an Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft auf Kostenbasis“ (NKBF 98) bzw. die „Allgemeinen und Besonderen Nebenbestimmungen für Zuwendungen auf Ausgabenbasis“ (ANBest-P bzw. ANBest-GK und BNBest-BMBF). Mit der endgültigen Ausarbeitung des Förderantrags ist ein Verwertungsplan für die Zeit nach Abschluss des Vorhabens zu erstellen.

Für die Förderung weiterer F&E-Vorhaben sowie der Demonstrations- und Leuchtturmprojekte gelten die „Allgemeinen Nebenbestimmungen für Zuwendungen auf Ausgabenbasis“ (ANBest-P bzw. ANBest-GK).

Darüber hinaus finden zusätzlich die nachfolgend beschriebenen Leitlinien zur Förderung von Leuchtturmprojekten Anwendung.

7.2 Leitlinien zur Bewertung von Leuchtturmprojekten

Zielsetzung

Leuchtturm-Projekte schlagen eine Brücke zwischen Forschung/Entwicklung und den späteren Märkten. Sie sind Keimzellen für eine anschließende breite Vermarktung und sollen diese initiieren und vorbereiten.

Sie dienen auch dazu, Produkte und Dienstleistungen rund um das Thema Wasserstoff und Brennstoffzellen einer breiten Öffentlichkeit bekannt zu machen, mit diesen Produkten und Dienstleistungen erste praktische Erfahrungen zu gewinnen, Vertrauen künftiger Anwender und Zulieferer, insbesondere auch KMUs, sowie Infrastrukturen und Vertriebssysteme aufzubauen.

Leuchtturm-Projekte besitzen ausgedehnte Strahlkraft, im technologischen und/oder im geographischen Sinn. Sie bestimmen das Bild der Innovationskraft der deutschen Wirtschaft an entscheidender Stelle mit und fördern diese aktiv.

In Leuchtturm-Projekten sind finanzielle Mittel aus öffentlicher Hand und von privaten Investoren und Anwendern so konzentriert, dass die für eine effiziente Forschung und Entwicklung sowie erfolgreiche Demonstration notwendige Mindestgröße an Technologie-Kompetenz und Finanzkraft erreicht wird und damit ein gutes Verhältnis von Aufwand zu Wirkung für die deutsche Volkswirtschaft erzielt werden kann. Damit werden Synergiepotenziale genutzt und die interdisziplinäre Zusammenarbeit gefördert.

Inhalte

Die Projektinhalte müssen sich an den obigen Zielsetzungen ausrichten. Es ist zwischen technologischen, sozioökonomischen, ökologischen sowie infrastrukturellen Inhalten zu unterscheiden. Leuchtturm-Projekte sollen nach Möglichkeit aus allen Inhaltsgruppen Bestandteile angemessen integrieren.

Technologische Inhalte

- Die Technologien müssen einen Reifegrad haben, der einen Einsatz unter für die Anwendung typischen Bedingungen erlaubt. Die Technologien sollen ohne den dauerhaften Einsatz von Fachleuten von den üblichen Nutzern bedient werden. Der Einsatz erfolgt unter den üblichen genehmigungsrechtlichen Rahmenbedingungen, wie sie auch für konventionelle Technologien gelten.
- Bei den eingesetzten Technologien handelt es sich nicht um Unikate. Es sollte eine Anzahl von reproduzierbar hergestellten Produkten zum Einsatz kommen, um statistisch belastbare Aussagen über Leistung und Zuverlässigkeit machen zu können.
- Durch begleitende F&E sollen Verbesserungs- und Optimierungspotenziale identifiziert werden, die zur Gestaltung der nächsten Produktgeneration ge-

nutzt werden sollten. Die Erschließung der Verbesserungspotenziale wird jedoch in den meisten Fällen außerhalb der Leuchtturmprojekte erfolgen.

- Ergebnisse sollen unter Wahrung von Betriebsgeheimnissen kommuniziert werden.
- Bei den mit öffentlicher Unterstützung entwickelten Technologien ist die Verwertungspflicht zu beachten, für die Umsetzung der Technologien ein angemessener Wertschöpfungsanteil in Deutschland anzustreben.

Übergeordnete Themen

- Aufbau und Nutzung der erforderlichen Infrastruktur und Logistik, z.B. zur Versorgung der Nutzer bzw. Betreiber mit Brennstoffen zu akzeptierbaren Bedingungen. Die Einbindung vorhandener Infrastrukturen (Energienetze, Tankstellen) soll erprobt und optimiert werden.
- Schulungs- und Weiterbildungsmaßnahmen für alle an Nutzung/Betrieb und Wartung beteiligte Gruppen.
- Beteiligung an RCS-Aktivitäten (Regulations, Codes & Standards) zur Marktvorbereitung und der zügigen bzw. breiten Markteinführung der Technologien.
- Öffentlichkeitsarbeit zur Förderung der Akzeptanz der neuen Technologien.
- Entwicklung und Umsetzung von Markteinführungsinstrumenten parallel zu den Leuchtturmprojekten.
- Die ökologischen Inhalte tragen den Zielsetzungen der Bundesregierung in Bezug auf Erhöhung der Energieeffizienz, schonenden Einsatz von Ressourcen und Klimaschutz Rechnung.
- Projekte orientieren sich an dem Kyoto-Protokoll, der Klimaschutzverpflichtung und dem Klimaschutzprogramm der Bundesregierung, der Energiesparverordnung, dem Gebäudesanierungsprogramm und den Zielen des KWK-Gesetzes sowie des Erneuerbare-Energien-Gesetzes.
- Konzepte zum Aufbau von Kreislaufsystemen zur Verwertung von Komponenten, Materialien, kreislauffähigen Wertstoffen aus den Leuchtturm-Projekten.

Organisation

- Die Zielsetzung der späteren Vermarktung bedingt die Beteiligung einer privatwirtschaftlichen Organisation, die bei erfolgreicher Erprobung entsprechende Produkte entwickelt und vertreibt.
- Leuchtturmprojekte erfordern ein effizientes Management.
- In speziellen Anwendungsbereichen ist eine regionale Bündelung der Aktivitäten zur effizienten Nutzung von Ressourcen, zur besseren Wahrnehmung etc. erforderlich. Dabei sollte nach Möglichkeit eine bereits vorhandene Infrastruktur (z.B. Tankstellen, Wartungsgebäude...) genutzt und weiterentwickelt werden.

- Nach Möglichkeit sind alle Akteure des gesamten Innovationsprozesses (Zulieferindustrie, Hersteller, Nutzer, Genehmigungseinrichtungen, Behörden etc.) an Leuchtturmprojekten zu beteiligen.
- Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturm-Projekte sollen von möglichst vielen Beteiligten an der Wertschöpfungskette (Zulieferer, Hersteller, Anwender/ Betreiber, Dienstleistungsunternehmen) mit einem angemessenen Anteil deutscher Wertschöpfung gestaltet werden.

8 Programmgesellschaft

Die anwendungsspezifischen Entwicklungspläne zeigen die Komplexität der Aktivitäten zu Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien auf: unterschiedliche Anwendungen, Märkte und Industriesektoren; Beteiligung von Industrie, Wissenschaft und Politik; Grundlagenforschung, anwendungsorientierte Entwicklung, Demonstration; usw.

Eine effiziente Koordination unterschiedlicher Programmpartner und -aufgaben führt zu einer beschleunigten Technologieentwicklung und Markteinführung der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien. Für die Koordination der Umsetzung des Nationalen Innovationsprogramms sowie die konkrete Umsetzung des vom BMVBS verantworteten Teils des Programms wird die Programmgesellschaft „Nationale Organisation Wasserstoff und Brennstoffzellen“, kurz NOW, gegründet (Gesellschafter ist der Bund, Aufsichtsrat).

Die Programmgesellschaft NOW soll die Aufgabe dieser umfassenden Koordination und inhaltlichen Umsetzung des „Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie“ übernehmen. Sie ist zentraler Ansprechpartner für die gesamte Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Branche. Ihr obliegen dabei neben der Steuerung der Programmumsetzung auch die fachlich-inhaltliche Prüfung und Vorauswahl von Demonstrationsprojekten.

Im Einzelnen stellen sich die Aufgaben wie folgt dar:

- Koordination und Steuerung der Umsetzung eines detaillierten Entwicklungsplans und seiner Einzelprojekte im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie für die nächsten zehn Jahre;
- Koordination des Abstimmungsprozesses zwischen Demonstrationsprogrammen und Technologieentwicklung bzw. Querschnittsaufgaben;
- Erschließung und Bewertung von Synergieeffekten mit verwandten Technologiegebieten, wie z.B. Materialwissenschaften, Produktionstechnologien und Grundlagenforschung (s. Anhang, Tabelle A.6);
- Regelmäßige Überprüfung und Aktualisierung des Entwicklungsplans und der Projekte;
- Kontinuierlicher Abstimmungsprozess mit allen Beteiligten: verantwortliche Ministerien und deren Projektträger, Industrie, Forschungsinstitute, Bundesländer, lokale Initiativen;
- Koordination zu europäischen und internationalen Initiativen;
- Koordination von Antragstellungen, Berichterstattungen (national und im Rahmen europäischer Beihilferegelungen);
- Kommunikation zu Beteiligten und Öffentlichkeit; Wissensmanagement zur Bewertung des Fortschrittes und der Ergebnisse.

Die Finanzierung der Vorbereitungs- und Anlaufphase der Gesellschaft erfolgt durch den Bund; in der 2007 beginnenden Umsetzungsphase erfolgt eine Co-Finanzierung der Programmgesellschaft durch Bund und Projektbeteiligte.

Ein Projektträger – optimaler Weise der bereits heute für die Abwicklung der F&E-Mittel des BMWi und BMBF Verantwortliche (PtJ) – soll die Programm-Gesellschaft sowie die öffentlichen Zuwendungsgeber als „Dienstleister“ bei der administrativen (z.B. Finanz-Controlling) und juristischen Detailabwicklung des Gesamtprogramms unterstützen (Nutzung bewährter Strukturen).

Die inhaltliche Kontrolle des nationalen Innovationsprogramms obliegt der Koordinierungsgruppe des Strategierats, die die Funktion eines Beirats der NOW bekommt. Die Zusammensetzung des Beirats ist der Abbildung 8-1 zu entnehmen.

Die Programmgesellschaft wird eng mit den bestehenden und den zusätzlich benötigten Projektträgerstrukturen für die fachliche und administrative Detailabwicklung des Programms zusammenarbeiten und zusätzliche koordinierende Funktionen vor allem zu europäischen und internationalen Initiativen sicherstellen. Weitere fachliche Unterstützung kann durch Kompetenzträger (Verbände, Initiativen, Institute) oder regionale Netzwerke wahrgenommen werden.

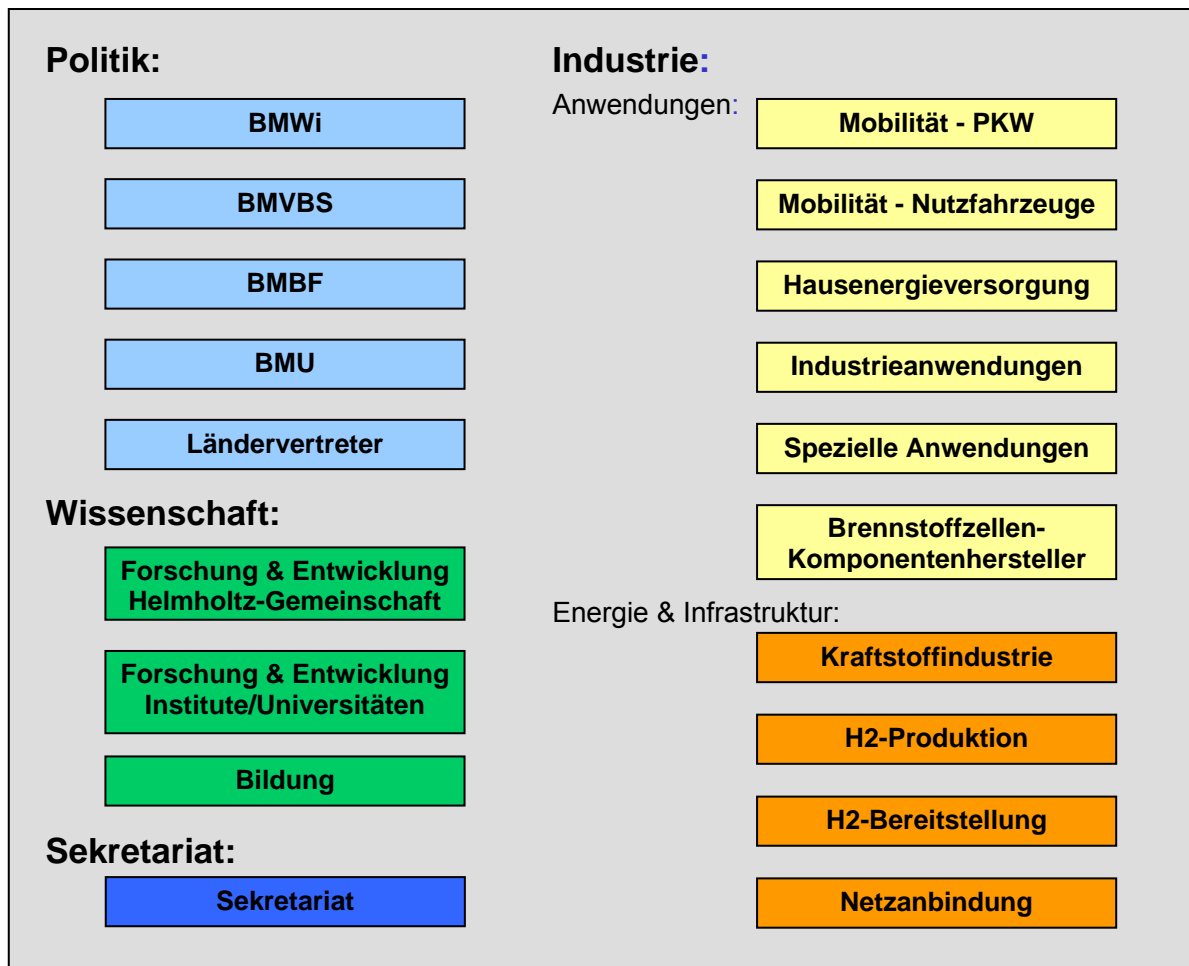


Abbildung 8-1: Zusammensetzung des Beirats (jeweils ein Vertreter pro Themenfeld)

Das nationale Innovationsprogramm umfasst inkl. der bisher bereits verfügbaren F&E-Mittel über einen Zeitraum von zehn Jahren bis zu 1,4 Mrd. € aus öffentlichen

(nationalen) und privaten Mitteln (s. Kap. 1). Hierbei sind Mittel aus Landesinitiativen oder der europäischen Kommission noch nicht berücksichtigt. Ebenso sind die Mittel des BMBF für die Grundlagenforschung und die Förderung der Großforschungseinrichtungen hier nicht enthalten.

Die oben dargestellten Entwicklungspläne der einzelnen Anwendungsbereiche adressieren die gleichen Themen wie der „Implementation Plan“ der European Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform. Es gilt daher die einzelnen nationalen Aktivitäten mit den europäischen zu verknüpfen. Deutschland ist mit seinem nationalen Innovationsprogramm wegweisend in Europa. Die geplanten Aktivitäten sollen ein entscheidender Baustein der gemeinsamen Technologie-Initiative sein, die mit der Europäischen Kommission diskutiert wird.

Auch die in den Bundesländern vorhandenen oder neu hinzukommenden Initiativen sowie andere öffentlich geförderte Forschungsprogramme, in denen Aspekte der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie behandelt werden, gilt es im Rahmen der Arbeiten der NOW mit dem nationalen Innovationsprogramm zusammenzubringen.

In Summe sollten durch die Co-Finanzierung gemeinsamer Aktivitäten von Ländern, Bund und der Europäischen Kommission deutlich mehr als die oben angeführten Mittel für die Durchführung des Gesamtprogramms zur Verfügung stehen. Dies korrespondiert auch mit dem hier angegebenen Finanzierungsbedarf von mehr als 2 Mrd. €, der in den einzelnen Entwicklungsplänen des vorliegenden Dokuments für F&E sowie Demonstrations- und Leuchtturmaktivitäten ausgewiesen wird (eine zusammenfassende Darstellung der Budgets zeigt Tabelle A-1 im Anhang). Es ist dabei auch die Aufgabe der Programmgesellschaft, das Gesamtprogramm entsprechend den politischen Vorgaben zu gestalten. Hiernach soll ein Großteil der Budgets (65 %) verwendet werden, um im Rahmen von Demonstrationsprojekten (Leuchttürmen) die Alltagstauglichkeit und Zuverlässigkeit von Komponenten und Systemen für den späteren kommerziellen Einsatz systematisch vorzubereiten (Schwerpunkt mobile Anwendungen).

Ein echter Mehrwert im Vergleich zu einer projektspezifischen Herangehensweise kann erreicht werden, wenn es gelingt, ein nationales Innovationsprogramm zu konzipieren, das die Verknüpfung von F&E- und Demonstrationsaktivitäten einerseits und die Nutzung der Synergien aus den Entwicklungsplänen resultierenden Aktivitäten andererseits gewährleistet (s. Anhang). Gemeinsame Materialentwicklung oder Herstellverfahren für Brennstoffzellenkomponenten sind nur zwei Beispiele für Themen, in denen Synergien zwischen den Anwendungen realisiert werden können. Die Programmgesellschaft NOW sollte diesen Potenzialen besondere Aufmerksamkeit zukommen lassen.

Mit der Schaffung der Programmgesellschaft NOW wird eine Gesamtkoordination aus einer Hand und zielgerichtete Entwicklung sichergestellt, um im internationalen Wettbewerb bestehen zu können.

9 Anhang

A.1 Zusammenfassung der vier Entwicklungspläne

Tabelle A-1: Zusammenfassung der 4 Entwicklungspläne

Anwendung		Mio. € (2007 – 2015)	%	%
Verkehr	F&E	658	57	54
	Demonstration	478	42	
	Querschnitt	8	1	
	Summe Verkehr	1.144	100	
Hausenergie	F&E	361	72	24
	Demonstration	141	28	
	Summe Hausenergie	502	100	
Industrie	F&E	80	32	12
	Demonstration	170	68	
	Summe Industrie	250	100	
Spezielle Märkte	F&E	69	31	10
	Demonstration	152	69	
	Summe Spez. Märkte	221	100	
Gesamt	F&E	1.168	55	100
	Demonstration	949	45	
	Gesamtsumme	2.117	100	

A.2 Entwicklungsplan „Verkehr“

Fahrzeuge (Aktivitäten beinhalten F&E, Komponentenentwicklung, Test und Validierung von Komponenten und System, Produktionstechnologien, ...)	Brennstoffzellenantrieb	PEMFC-Stack	Der Kernkomponente des Brennstoffzellensystems, dem eigentlichen PEMFC-Stack, kommt besondere Bedeutung zu. Von der Membran über die Zelle bis hin zur Verschaltung sind eine Reihe unterschiedliche wissenschaftliche Disziplinen gefordert ihren Beitrag zu leisten. Notwendige Aktivitäten beinhalten die Entwicklung und Herstellung von korrosionsbeständigen, metallischen Bipolar-Platten, Optimierung des Dichtungskonzepts, Kostenreduktion bei Materialien, Entwicklung geeigneter Herstellprozesse, Pt-freie Katalysatoren z.B. auf Basis von Übergangsmetallen (Co/Fe), neuartige Membranen, die bei Temperaturen bis 120 °C betrieben werden können sowie Arbeiten für ein verbessertes Verständnis der fundamentalen Prozesse in der Brennstoffzelle durch Modellierung, Simulation und Experiment.
		Luftversorgung	Neuartige Konzepte wie der Einsatz einer elektrisch unterstützten Kompressor/Turbineneinheit anstelle der bisherigen Schraubenkompressoren oder verbesserte Ladeluftkühler können zu einer Leistungssteigerung des Gesamtsystems erheblich beitragen.
		Anodenkreislauf	Durch Optimierung der Wasserstoff-Rezirkulation an der Anode kann die Effizienz des Brennstoffzellensystems weiter gesteigert werden. Auch die Befeuchter weisen noch Optimierungspotenzial auf.
		Elektrischer Antrieb	Der Wirkungsgrad des Antriebsstranges kann durch Reduzierung der Reibung gesteigert werden. Dabei stehen neue Materialien und Beschichtungen für Getriebe und Antriebsstrang im Mittelpunkt der Bemühungen. Antriebsstränge für PKW unterscheiden sich dabei von denen für Busse.
		HV-Batterie	Die Hybridisierung des Brennstoffzellensystems bietet weitere Potenziale, den Verbrauch der Fahrzeuge zu reduzieren. Hierzu sind insbesondere ein optimiertes Betriebsmanagement sowie eine leistungsstarke Hoch-Volt (HV) Batterie notwendig. Für die nächste Fahrzeug-Generation werden Li-Ionen-Batterien entwickelt. Diese müssen noch hinsichtlich Elektroden, Elektrolyte und Separatoren optimiert werden. Auch die Bereiche Batteriemangement (u.a. Zellüberwachung) und Kühlung sowie die Lade- und Entladevorgänge werden kontinuierlich weiter verfeinert.

Fahrzeuge	H2-Verbrennungsmotor		Im Vordergrund steht die Entwicklung eines hocheffizienten Gesamtsystems auf Basis eines Wasserstoffverbrennungsmotors. Dies beinhaltet u.a. die Optimierung der Verbrennungsprozesse (inkl. Direkteinblasung), die Entwicklung H2-optimierter Schmierstoffe, die Entwicklung H2-optimierter Grundmotorkonzepte und Peripheriekomponenten (Aufladesysteme, Zündkerzen, H2-optimierte Werkstoffe etc.), H2-optimale Hybridisierungsansätze sowie den Einsatz einer APU.
	Wasserstoffspeicher	CH2 (700 bar)	Die meisten Automobilhersteller haben sich auf eine Druckgas-Speicherung bei 70 MPa geeinigt. Der F&E-Bedarf bei Hochdruckspeichern lässt sich in drei Bereiche gliedern: Grundlegende Material- und Modellentwicklung (u.a. hochfeste Carbonfasern, wasserstoffverträgliche Elastomere in breitem Temperaturbereich, Modellbildung für Alterungs- und Versagensmechanismen), Tanksystementwicklung (u.a. Weiterentwicklung von Komponenten wie Abschalt- und Sicherheitsventile), sowie die entsprechenden Testeinrichtungen (u.a. Berst-, Klimatisierungs- und Zyklisierungsversuche).
		kryogene Speicher / LH2	Wesentlicher Verbesserungsbedarf zu kryogenen H2-Speichern besteht, neben den Kosten, vor allem hinsichtlich der der Wärmeeintrags-induzierten Abblaseverluste. Dazu müssen die thermische Isolierung sowie die Behälteraufhängung weiterentwickelt werden. Zur Kostensenkung müssen industrialisierbare Fertigungs- und Montagekonzepte vor allem für die Multilagenisolierung (Vakuum-Supersolation), aber auch für Komponenten und Verbindungstechnik entwickelt werden. Ein Schwerpunkt bei der Entwicklung des Gesamtsystems liegt bei der Verringerung und der anderweitigen Nutzung der Wasserstoffverluste, die bei der Speicherung des Wasserstoffs und beim Betanken entstehen, sowie in der Druckbereitstellung und Konditionierung des Wasserstoffs für das Antriebsaggregat. Zur Absicherung der Dauerfestigkeit kryogener Speicherbehälter sind thermo-mechanisch zyklisierbare Metall- und Verbundwerkstoffe zu prüfen und weiterzuentwickeln. Des Weiteren müssen neue Methoden zum Nachweis der Dauerhaltbarkeit kryogener H2 Speicherbehälter entwickelt werden. Für eine Industrialisierung der Vakuum-Supersolation müssen Störeinflüsse auf die Isolationsperformance untersucht und quantifiziert sowie geeignete Herstellverfahren für die Isolation und insbesondere Maßnahmen zur Verbesserung der Vakuumstabilität gegen Ausgasen entwickelt werden. Zur Simulation und Auslegung von kryogenen H2-Speichern sind zusätzliche Modelle für Stoff- und v.a Wärmetransportvorgänge, Tools zur Berechnung des transienten Systemverhaltens sowie Modelle und Werkzeuge zur thermischen Simulation und Auslegung von Isolationen zu entwickeln.

Fahrzeuge		alternative H ₂ -Speicher	<p>Alternative Wasserstoffspeicher sind heute noch weit von der Speicherdichte und den Kosten eines Druckspeicher-Tanksystems entfernt. Drei vielversprechende Forschungsthemen wurden identifiziert, die zukünftig ein Potenzial haben könnten, besser als ein Druckspeicher zu sein:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Die Destabilisierung von Hydriden durch Zugabe von weiteren Materialien (bevorzugt ebenfalls Hydride) 2. Kryo-Adsorption an Hochoberflächenmaterialien 3. Die Kombination von 350 bar Tanks mit Raumtemperatur-Hydriden. Effiziente Methoden zum Wärmemanagement sollen entwickelt werden und die Tanksysteme bzw. Hydrid-Betten müssen die geforderten Wasserstoffflüsse von 2g/s im Fahrbetrieb und 20 g/s beim Betanken bewältigen können.
	Bordstromversorgung (APU)	kohlenwasserstoffhaltige Kraftstoffe (Diesel, Kerosin, ...)	<p>Im Verkehrssektor gibt es eine Reihe von Anwendungen für Systeme für die Bordstromversorgung. Diese beinhalten Anwendungen im Straßenverkehr (LKW, Busse, ...) ebenso wie im Luft- und Schiffsverkehr. Systeme im Reformatssystem bieten dabei den Vorteil, bestehende Kraftstoffe nutzen zu können. Brennstoffzellenseitig werden im Wesentlichen SOFC-Systeme und Hochtemperatur PEMFC-Systeme untersucht. Die Leistungsklassen liegen je nach Anwendung im Bereich um 10 kW (z.B. LKW) oder bei > 100 kW (Flugzeuge, Schiffe). Die Aktivitäten umfassen die Erforschung neuer Methoden und Materialien und die Entwicklung und den Test von Komponenten und Systemen (insbesondere Reformertechnologie) bis hin zu Feldtests von Demonstratoren.</p>
		Wasserstoffsysteme	<p>In wasserstoff-betriebenen Fahrzeugen kann auf einen Reformer verzichtet werden. Hier werden im Wesentlichen PEMFC-Systeme in Betracht gezogen, die direkt mit Wasserstoff versorgt werden. Auch hier ist wieder die vom Antrieb unabhängige Bordstromversorgung (unterschiedlicher Leistungsklassen) das Ziel (s. auch H₂-Verbrennungsmotor). Die Anforderungen ähneln denen für PEMFC-Systeme im Antriebstrang.</p>
H ₂ -Bereitstellung	Wasserstoffproduktion	Elektrolyse	<p>Elektrolyse stellt eine Möglichkeit zur Herstellung von hochreinem Wasserstoff aus vollständig regenerativen Quellen dar. Voraussetzung dafür ist allerdings das Vorhandensein von Strom aus regenerativen Quellen (Windkraft, Solar, Erdwärme). Die Speicherfähigkeit des Wasserstoffs ist der entscheidende Vorteil ggü. elektrischem Strom. So kann Wasserstoff z.B. zur Optimierung der Windenergie-Nutzung und -einspeisung eingesetzt werden.</p>

H2-Bereitstellung		Reformierung	Die derzeit preisgünstigste Methode zur Wasserstoffherstellung ist die Reformierung von Erdgas (oder auch Biogas). Eine Herausforderung stellt die Gasreinigung (insbes. Entschwefelung) des so erzeugten Wasserstoffs dar. Durch den Einsatz verbesserter Katalysatoren sind sowohl Ausbeute-Erhöhungen als auch Kostenreduzierungen möglich.
		Biomass to Hydrogen (BtH)	Die Gewinnung von Wasserstoff aus Biomasse stellt eine weitere CO2-neutrale Möglichkeit der Wasserstoffherstellung dar. Die Biomasse wird dazu zunächst vergast und das gewonnene Biogas zu Wasserstoff reformiert.
		XtH	Die Gewinnung von Wasserstoff aus anderen Quellen (X) bildet ein weiteres Forschungsgebiet. Die Ergebnisse werden aber erst langfristig nutzbar sein. CO2-Sequestrierung wird dabei eine wichtige Rolle spielen.
		Wasserstoffreinheit	Beim Thema Wasserstoffreinheit gilt es den optimalen Kompromiss zwischen den Kosten der Reinheit des Wasserstoffs auf der einen Seite und der Langlebigkeit der BZ-Systeme auf der anderen Seite zu finden.
	Wasserstoffdistribution	Kompressor	Um überhaupt relevante Mengen an Wasserstoff (und somit Energie) zu transportieren, muss dieser komprimiert werden. Die Verflüssigung des Wasserstoffs stellt dabei die höchste Stufe der Kompression dar.
		Transport	Je nach Bedarf bietet sich der der Transport von Wasserstoff in Tanklastwagen oder durch Pipelines an. Hierbei ist im Einzelfall abzuwägen, in welchem Aggregatzustand der Wasserstoff transportiert wird. Entsprechende Technologien (z.B. Flüssig-Wasserstoff-Transporter, Pipelines) gilt es weiterzuentwickeln. Gesamtheitliche Lösungen, die die Produktionsseite ebenso wie die Verbrauchsseite berücksichtigen sind dabei einzubeziehen.
		Tankstellentechnologie	Die Tankstelle bildet die Schnittstelle zwischen Infrastruktur und Fahrzeug selbst. Gemeinsame einheitliche Spezifikationen sind hierbei unerlässlich. Dies umfasst Themen wie z.B. Betriebsparameter inklusive notwendiger Schwellenwerte (z.B. Druckniveaus), Datenaustausch zwischen Fahrzeug Tankstelle oder tankstellenseitige Komponenten zur sicheren, vollständigen und schnellen Betankung.

Querschnittsthemen	Wasserstoffsicherheit	<p>Die Wasserstoff-Technologie ist für die Bevölkerung neu und könnte aufgrund der hohen Drücke und der Flammgefährlichkeit des Wasserstoffs schnell als potenzielle Gefahr wahrgenommen werden. Daher ist es im Zuge der Marktvorbereitung essentiell, die Sicherheit dieser Technologie glaubhaft nachzuweisen.</p> <p>Bestandteil der Sicherheitsuntersuchungen sind sowohl grundlegende Untersuchungen z.B. zum Raumbereich brennbarer Mischungen, der Flammstabilität und der Zündvorgänge des Wasserstoffs, als auch anwendungs- bzw. systemorientierte Untersuchungen z.B. Komponententests (z.B. Wasserstoffspeicher im Fahrzeug, Infrastruktursysteme wie Dispenser oder Lagereinrichtungen), optimale Anordnung von Sensoren und Belüftungseinrichtungen oder die Druckentlastung von H₂-Speichern in geeigneten Testeinrichtungen.</p>
--------------------	-----------------------	--

Technische Ziele „Verkehr“

Themenbereich	Zielgröße
BZ-Antrieb für Fahrzeuge	Spezifische Kosten: 100 €/kW (bei > 100.000 Einh./a) Leistungsdichte: > 1 W/cm ² Lebensdauer (PKW): > 5000 h Lebensdauer (Bus): 10000 h Umgebungstemperatur: -25 / +45 °C Arbeitstemperatur BZ: > 100 °C
HV-Batterie	Leistungsdichte: > 1000 W/kg > 1000 W/l > 105 Wh/kg > 95 Wh/l
H2-Verbrennungsmotor	PKW: Wirkungsgrad (Bestwert): deutlich >40% Leistungsdichte: > 60 kW pro l Hubraum Bus: Wirkungsgrad (Bestwert): 42% Leistungsdichte: > 18 kW/l Lebensdauer: 25000
H2-Speicher (Referenzsystem mit 6 kg Kapazität)	Gewicht: < 125 kg (0,048 kg(H ₂)/kg) Volumen: < 260 l (0,023 kg(H ₂)/l) Betankungszeit: < 5 Minuten Produktionskosten: < 2000 € Hohe Betankungs- und Entnahmeeffizienz
H2-Speicher (zusätzlich für kryogene Speicher / LH ₂)	Max. Abdampfverlust: 1 g/h per kg H ₂ Min. verlustfreie Ruhezeit: 5 Tage
Bordstromversorgung (typische Werte; im Detail sehr unterschiedlich je nach Technologie (SOFC, PEMFC, ...))	Spezifische Kosten: 40 €/kW Leistungsdichte: > 1.6 W/cm ² Lebensdauer: > 10000-40000 h Wirkungsgrad: > 50% Kaltstartdauer: < 35 s

A.3 Entwicklungsplan „Hausenergie“

Hausenergie, F&E Details: Gaserzeugung (30.11.06)

Thema	Mittel-Zuordnung	Stand	Ziel	
			2007 - 2008	2009 - 2012
	Skala: hoch, mittel, niedrig	2006	2007 - 2008	2009 - 2012
F&E-Bedarf Gaserzeugung				
Temperatur und langzeitbeständige Reformermaterialien	hoch			
Legierungsbestandteile / Materialzusammensetzung für Hochtemperatur und Nasskorrosion		Nickelbasis-Werkstoffe + hochlegierte Edelstähle	Nickelbasis-Werkstoffe + hochlegierte Edelstähle	Kostengünstigere (f=3) Legierungselemente gegenüber Nickelbasis-Werkstoffen
Temperatur		450 – 1100	450 – 1100	450 – 1100
Langzeitbeständigkeit (thermozyklierbar, HT und Nass-Korrosionsstabilität, Atmosphärenwechsel / redoxbeständig)		200 – 300 Zyklen/a; 5.000 – 10.000 BetrStd	300 - 500 Zyklen/a; 10.000 - 20.000 BetrStd	500 - 1.000 Zyklen / a; 20.000 - 40.000 BetrStd
Design Gaserzeugung: hochintegriert, low-cost (ohne elektr. Gasverdichter)	mittel	Volumen GES: 150 l/kWel bis 60 l/kWel; Kosten GES: 12.000 €/kWel bis 13.000 €/kWel	Volumen GES: 120 l/kWel bis 30 l/kWel; Kosten GES: 4.000 €/kWel bis 6.500 €/kWel	Volumen GES: 80 l/kWel bis 20 l/kWel; Kosten GES: 300 €/kWel bis 1.000 €/kWel
Entschwefelung	mittel	Es besteht keine Übersicht über Inhaltsstoffe und Vorgehensweise bei der Odorierung in den versch. Regionen	Kartierung der Odorierungsgewohnheiten und nat. Erdgaskomponenten	

	Skala: hoch, mittel, niedrig	2006	2007 - 2008	2009 - 2012
Standzeiten erhöhen		Standzeiten: 1 Heiz-Saison; THT Beladung 4 g/l, dann Erschöpfung der Katalysatoren für andere Schwefelkomponenten	An die Aufstellgegebenheiten angepasste Entschwefelungspatrone	Beladung 25 g/l THT ohne vorzeitige Erschöpfung der Katalysatoren für andere Schwefelkomponenten
Beladungszustand anzeigen		Anzeige: Farbumschlag für THT	Anzeige Verbrauchszustand für Gesamtschwefeldurchbruch nicht nur THT	Anzeige Gesamtschwefeldurchbruch mit elektronischer Auswertung
Verbesserte Katalysatoren	hoch			
Reduktion Beladung, Thermische Bandbreite / Selektivität erhöhen, Verbesserte Redox-Stabilität		Geringe Leistungsfähigkeit und hohe Kosten bei redoxstabilen Katalysatoren	Reformer: Selektivität gegenüber NH ₃ um Faktor 2 steigern gegenüber 2005; CO-Shift: Aktivität um Faktor 1,3 steigern gegenüber 2005, Methanisierung: Aktivität steigern um Faktor 2 gegenüber 2005	CO-Shift: Aktivität um Faktor 1,5 steigern gegenüber 2005
Mechanische Stabilität des Washcoats, Toleranz gegenüber / Entstehung von Verunreinigungen (z.B. NH ₃ , S, etc.), Thermozyklrierbarkeit, An- und Abfahrvorgänge		geringe Schwefeltoleranz der Methanisierung und Nicht-Edelmetall WGS, Standzeiten im System 1.000 - 10.000 Stunden	Standzeiten im System 10.000 - 20.000 Stunden	Standzeiten im System 20.000 - 40.000 Stunden

	Skala: hoch, mittel, niedrig	2006	2007 - 2008	2009 - 2012
Beeinflussung des Gaserzeugungssystems durch schwefelfreie Odorierung	mittel	Schwefelfreie Odorierung wird in versch. Versorgungsgebieten angewendet; keine Erfahrung auf die Auswirkung auf BZ Gaserzeugungssysteme, Simulation durch IBZ beauftragt; thermodynamische Stoffdaten nicht verfügbar	Stoffdaten ermitteln, Simulation verfeinern / verifizieren über Tests, ökologischen Nutzen für schwefelfreies Odoriermittel ermitteln	
Beeinflussung des Gaserzeugungssystems durch Peak-Shaving Gase (LPG / Luft Beimischung) ,Biogas-Einspeisung und Wasserqualität	mittel	Heute wird Flüssiggas- / Luft-Beimischung von ca. 30 lokalen Gasversorgern angewendet; bisher gibt es keine Hausenergieversorgungsanlagen, die in Demo-Anlagen in diesen Bereichen betrieben werden	Kartierung; theoretische Betrachtung über das Gefährdungspotenzial für die verschiedenen Komponenten und die unterschiedl. Reformer-systeme; Verfahren zur Beherrschung entwickeln	
Sonstige Gaserzeugungs-Themen	niedrig			
NH ₃ -Bildung im Reformier		Nachgewiesene NH ₃ - Bildung in Dampf-Reformern, insbesondere bei L Gas Qualitäten, 1 - 2 ppm nachweisbar		Entwicklung von Katalysatoren, die NH ₃ -Bildung unterdrücken; NH ₃ -Bildung um Faktor 10 niedriger als 2005
Gaserzeugungssysteme für Biogas			Es sollen Projekte gefördert werden, die die Einspeisung von Biogas ins Gasnetz (G 260) zum Ziel haben	

	Skala: hoch, mittel, niedrig	2006	2007 - 2008	2009 - 2012
Gaserzeugungssysteme für Flüssiggas		Es gibt bereits CPO / ATR Katalysatoren zur LPG Reformierung, Co-Adsorption zu Propan und Butan und höheren Kohlenwasserstoffen kann im der Entschwefelungs-Einheit auftreten		LPG Qualitäten im Markt untersuchen; Entschwefelungsmedien entwickeln, die geringe Co-Adsorption aufweisen
Gaserzeugungssysteme für Heizöl	2			

Stack (30.11.2006)

Thema	Mittel- Zuordnung	Stand	Ziel		
	Skala: hoch, mittel, niedrig	2006	2007 - 2008	2009 - 2012	2013 - 2015
F&E-Bedarf PEMFC-Stack					
Alterungsmechanismen MEA und Stack	hoch	Wissensstand: neg. Einfluss von Metallionen, möglichst ausgeglichener Temperatur- und Wasserhaushalt, grunds. Wirkung von Schadgasen etc; Einflüsse nicht quantifizierbar	Welche Mechanismen haben welche Auswirkung quantitativ (z.B. C-Korrosion bei HT und Quellung Membran in MEA bei NT) und Gegenmaßnahmen entwickeln; Entwicklung beschleunigter Alterungstests für einzelne Alterungsmechanismen	Gezielte Gegenmaßnahmen erproben und verifizieren	
HT - PEMFC (> 100 °C, Leistung, Lebensdauer, Kosten, Reformatbetrieb, geringe Laständerungsgeschwindigkeiten)	hoch	Erste Materialien auf dem Markt, Lebensdauer im System einige 100 Betr. Std, Leistungsdichte 0,5x NT-PEMFC	Materialentwicklung MEA, Bipolarplatte, Dichtungen im Temperaturbereich bis 200 °C, 5.000 - 10.000 Betr. Std im System; Leistungsdichte 0,5 bis 0,7 x NT PEMFC	20.000 Betr. Std im System, 0,7 bis 1x NT PEMFC Leistungsdichte	

	Skala: hoch, mittel, niedrig	2006	2007 - 2008	2009 - 2012	2013 - 2015
NT - PEMFC (Leistung, Lebensdauer, unbefeuchtete Kathode, Schadgas - resistant)	hoch	Unbefeuchtete Kathode: nur für Automotive in der Entwicklung, keine Materialien für stationär; Leistung: 0,17-0,27 W/cm ² ; Lebensdauer: 500 h – 5.000 h im System; Kosten: 8.000 – 15.000 €/kWnet; <20ppm CO mit Airbleed	Unbefeuchtete Kathode: Materialien für stationär entwickeln und testen; Leistung: 0,17-0,27 W/cm ² ; Lebensdauer: 10.000 h im System; Kosten: 4.000 – 5.000 €/kWnet; <100ppm CO mit Airbleed	Unbefeuchtete Kathode: Materialien für stationär im Markt verfügbar; Leistung: 0,25-0,32 W/cm ² ; Lebensdauer: >25.000 h im System; Kosten: 1.500 – 2.000 €/kWnet; <100ppm CO mit Airbleed	
Diagnostische Tools (vereinfachte Zellspannungsüberwachung, Wassermanagement, Produktionskontrolle)	mittel	Einzelzellspannungsüberwachung, segmentierte Zellen, Neutronenabsorption, Prüfstand nach Stackfertigung	Zellbereiche überwachen	Methoden zur Prüfung einzelner Zellen in der Produktion	
Stack + MEA verbesserte Thermozyklierbarkeit		200 – 300 Zyklen/a, Dichtung, Quellung der Membran, Auskondensation von Wasser und Formstabilität der BPP bei HT PEMFC	300-500 Zyklen/a, Verbesserte An- und Abfahrprozesse von HT PEMFC, Verbesserung des Elektrolytaustrags	500 - 1.000 Zyklen / a, Wasserunlöslicher Elektrolyt bzw. MEA optimiert für start/stop Prozesse in HT PEMFC	
Neue Materialien für kostengünstige und effiziente Bipolarplatten	niedrig	Innenwiderstand graphitischer Platten, spritzgegossen oder gepresst / geprägt, Dichtungen sind appliziert / integriert		Innenwiderstand nahe Cu, massenproduktions-tauglich, kostengünstiges Material, Beständig gegen DI Wasser und Säure entwickeln	Innenwiderstand nahe Cu, Massenproduktion erprobt kostengünstiges Material, Beständigkeit gegen DI Wasser und Säure, erprobt in Demo-Anlagen

	Skala: hoch, mittel, niedrig	2006	2007 - 2008	2009 - 2012	2013 - 2015
MEA Reduzierung des katalytischen Inventars (Nano-Strukturen etc.), Verbesserung des Wirkungsgrades und der Leistungsdichte	niedrig	Katalysatorbeladung ca. 1,0 - 1,8 mg Edelmetall / cm ² ; Kostenreduzierung des Katalysators nicht aktuell relevant, das Thema sollte kurzfristig nur aufgegriffen werden, wenn die Lebensdauer und Robustheit der MEA gesteigert wird	Katalysatorbeladung ca. 0,7 - 1,1 mg Edelmetall / cm ²		Katalysatorbeladung ca. 0,5 - 0,7 mg Edelmetall / cm ² ; Kostensenkung durch Reduzierung des katalytischen Inventars um Faktor 2 gegenüber 2005
Verständnis für Degradationsmechanismen in Werkstoffen und Grenzflächen unter stationären Betriebsbedingung	hoch	Kontaktierungslösungen mit zu hohen Kontaktierungswiderständen, Nickeldegradation an der Anode	langzeitstabile und kostengünstige Kontaktierungslösungen mit spezifischen Kontaktwiderständen < 0,020 Ωcm bzw. spezif. Flächenwiderstand < 0,020 Ωcm ² mit Schwerpunkt Kathodenkontakt	Standzeiten von Hochtemperaturkomponenten unter realen Systembelastungen	Degradationsmechanismen sind verstanden und neue Materialkonzepte für Anoden- und Kathodenmaterial sowie Interconnectoren liegen erprobt vor
Nachweis Lebensdauerziele bis 40,000h (stationär) unter dynamischen Betriebsbedingungen	hoch	Geringe Anzahl von Thermo- und Redoxzyklen erreichbar	Definition standardisierter / beschleunigter Testverfahren. Dichtungs- und Fügematerialien für Metall-Keramikverbindungen mit hoher Stabilität bei zyklischer thermischer Belastung (>1000 Zyklen)	Optimierung standardisierter / beschleunigter Testverfahren	

	Skala: hoch, mittel, niedrig	2006	2007 - 2008	2009 - 2012	2013 - 2015
Nachweis der Skalierbarkeit der Leistung 1 - 10 kW	mittel	Skalierbarkeit nicht gegeben	Definition von Systemauslegungen und Simulationen und Modellrechnungen	Funktionsintegration von Stackkomponenten zur Erhöhung der Leistungsdichte und Zuverlässigkeit (z.B. funktionsreiche Endplatten)	Verfügbarkeit von skalierbaren Komponenten vorhanden. Skalierbarkeit wird in Demonstrationen nachgewiesen
Nachweis Erreichbarkeit Kostenziele von 400 - 1500 €/kW Herstellkosten BZ-System (ja nach Anwendung)	hoch	Kostenziele für kommerzielle Anwendung nicht erreichbar		kostengünstige Interkonnektorwerkstoffe (<10€/kg) Lebensdauerpotenzial >10,000h bei 850°C Betriebstemperatur in oxidierender und reduzierender Atmosphäre die sich endformnah fertigen und fügen lassen. Kostengünstige Füge-technologien mit Zykluszeiten < 4h Qualitätssicherung im Prozess	Recyclingkonzept für wiederverwendbare Stackkomponenten (Interkonnektorplatten)

	Skala: hoch, mittel, niedrig	2006	2007 - 2008	2009 - 2012	2013 – 2015
F&E-Bedarf SOFC-Stack					
Verständnis für Degradationsmechanismen in Werkstoffen und Grenzflächen unter stationären Betriebsbedingung	hoch	Kontaktierungslösungen mit zu hohen Kontaktierungswiderständen, Nickeldegradation an der Anode	langzeitstabile und kostengünstige Kontaktierungslösungen mit spezifischen Kontaktwiderständen $< 0,020 \Omega\text{cm}$ bzw. spezif. Flächenwiderstand $< 0,020 \Omega\text{cm}^2$ mit Schwerpunkt Kathodenkontakt	Standzeiten von Hochtemperaturkomponenten unter realen Systembelastungen	Degradationsmechanismen sind verstanden und neue Materialkonzepte für Anoden- und Kathodenmaterial sowie Interconnectoren liegen erprobt vor
Nachweis Lebensdauerziele bis 40,000h (stationär) unter dynamischen Betriebsbedingungen	hoch	Geringe Anzahl von Thermo- und Redoxzyklen erreichbar	Definition standardisierter / beschleunigter Testverfahren. Dichtungs- und Fügmaterialien für Metall-Keramikverbindungen mit hoher Stabilität bei zyklischer thermischer Belastung (>1000 Zyklen)	Optimierung standardisierter / beschleunigter Testverfahren	
Nachweis der Skalierbarkeit der Leistung 1 - 10 kW	mittel	Skalierbarkeit nicht gegeben	Definition von Systemauslegungen und Simulationen und Modellrechnungen	Funktionsintegration von Stackkomponenten zur Erhöhung der Leistungsdichte und Zuverlässigkeit (z.B. funktionsreiche Endplatten)	Verfügbarkeit von skalierbaren Komponenten vorhanden. Skalierbarkeit wird in Demonstrationen nachgewiesen

	Skala: hoch, mittel, niedrig	2006	2007 - 2008	2009 - 2012	2013 – 2015
Nachweis Erreichbarkeit Kostenziele von 400 - 1500 €/kW Herstellkosten BZ- System (ja nach Anwendung)	hoch	Kostenziele für kommerzielle Anwendung nicht erreichbar		<p>kostengünstige Interkonnektorwerkstoffe (<10€/kg)</p> <p>Lebensdauerpotenzial >10,000h bei 850°C</p> <p>Betriebstemperatur in oxidierender und reduzierender Atmosphäre die sich endformnah fertigen und fügen lassen.</p> <p>Kostengünstige Fügetechnologien mit Zykluszeiten < 4h</p> <p>Qualitätssicherung im Prozess</p>	Recyclingkonzept für wiederverwendbare Stackkomponenten (Interkonnektorplatten)

Gesamtsystem (30.11.2006)

Thema	Mittel- Zuordnung	Stand	Ziel		
			2007 - 2008	2009 - 2012	2013 - 2015
	Skala: hoch, mittel, niedrig	2006	2007 - 2008	2009 - 2012	2013 - 2015
F&E-Bedarf Gesamtsystem					
Balance of Plant: langzeitstabile, medienbeständige, kostengünstige, standardisierte Komponenten (Wasseraufbereitung, Pumpen, Ventile, Lüfter, Wärmetauscher, Sensoren)	hoch	Es gibt keine auf die jeweiligen Systeme angepassten Komponenten; in der Regel gelingt es nicht, die Komponentenhersteller zu eigenen Entwicklungen nach Projektspezifikation zu bewegen	Es müssen auf die Spezifikationen der versch. BZ Projekte angepasste Komponenten entwickelt werden; hierfür sollen koordiniert Förderprojekte zur Entwicklung von BOP Komponenten aufgelegt werden, um die Entwicklung zu finanzieren	Es müssen für die entwickelten BOP Komponenten die Herstellkosten entsprechend der Kostendegression z.B. des Stack gesenkt werden	
Reduktion Systemkomplexität (Wasserhaushalt, stabile Subsysteme --> reduzierter Regelungsaufwand)	mittel	Wasseranschluss mit externer Wasseraufbereitung zur Nachspeisung, enge Betriebsfenster der Komponenten erfordern erhöhten Regelungsaufwand	Autarker Wasserhaushalt bei Labor-Prototypen; breitere Betriebsfenster der einzelnen Komponenten ermöglichen	Autarker Wasserhaushalt bei Demogeräten; breitere Betriebsfenster der einzelnen Komponenten erprobt	

	Skala: hoch, mittel, niedrig	2006	2007 - 2008	2009 - 2012	2013 - 2015
Automatisierung	mittel				
preiswerte Sensoren		es fehlen insbesondere preiswerte zuverlässige Feuchtesensoren, CO-Sensoren für Messung in feuchter H ₂ -Atmosphäre, Wasserstoff-/ brennbare Gasesensoren zur Messung in feuchter Atmosphäre			
preiswerte Inverter, Serienentwicklung		Stückzahlen <100 --> Preise 1.000 €/kW	Stückzahlen > 100 --> Preise < 600 €/kW	Stückzahlen > 1.000 --> Preise < 500 €/kW	Stückzahlen > 10.000 --> Preise < 300 €/kW
preiswerte Sicherheitstechnik					
Energie- und Lastmanagement für EFH					
Vereinfachung BZ Regelung, weniger Sensoren, bessere Systemintegration					

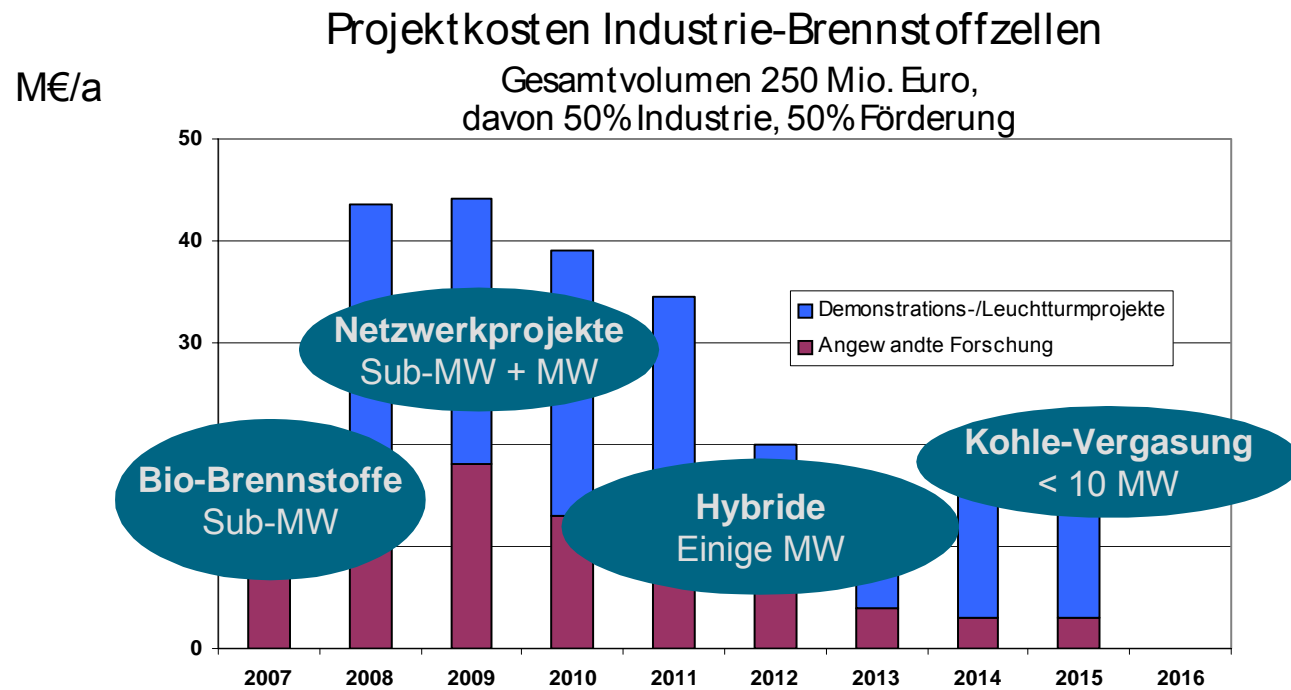
Methoden (30.11.2006)

Thema	Mittel- Zuordnung	Stand	Ziel			
			2006	2007 - 2008	2009 - 2012	2013 - 2015
	Skala: hoch, mittel, niedrig					
F&E-Bedarf Methoden						
Alterungstests für Stacks und Systemkomponenten durch Zeitraffer-Versuche	hoch	Dauerversuche aber keine Zeitraffertests; Zeitraffertests sind nicht entwickelt	Zeitraffertests entwickeln und verifizieren (bis 5.000h)	Verifizierung der Zeitraffertests für lange Betriebsdauern (für 15.000-20.000h)		
Degradationsmechanismen (Katalysatoren, Strukturen im System)	mittel		Welche Mechanismen haben welche Auswirkung quantitativ und Gegenmaßnahmen entwickeln	Gezielte Gegenmaßnahmen erproben und verifizieren		
Absicherungsmethoden für das Labor basierend auf Erkenntnissen / Systemausfällen aus den Feldtests	mittel	Labor- und Feldtests mit eingeschränktem Wissen über die realen Betriebsbedingungen	Feldtests statistisch auswerten, Prüfbedingungen der Labortests an die gefundenen Feldbedingungen anpassen	Standardisierte Labortests definieren und verifizieren für stationäre Hausenergieversorgung		
Qualifikation des Handwerks, Montage, Service	mittel		Basisinformationen, Vorbereitung der Lehrpläne	Basisinformationen, Lehrpläne an Pilotschulen erproben, spezifische Schulungen durch Hersteller	Ausbildungsinitiative, Umsetzung der Lehrpläne, spezifische Schulungen durch Hersteller	

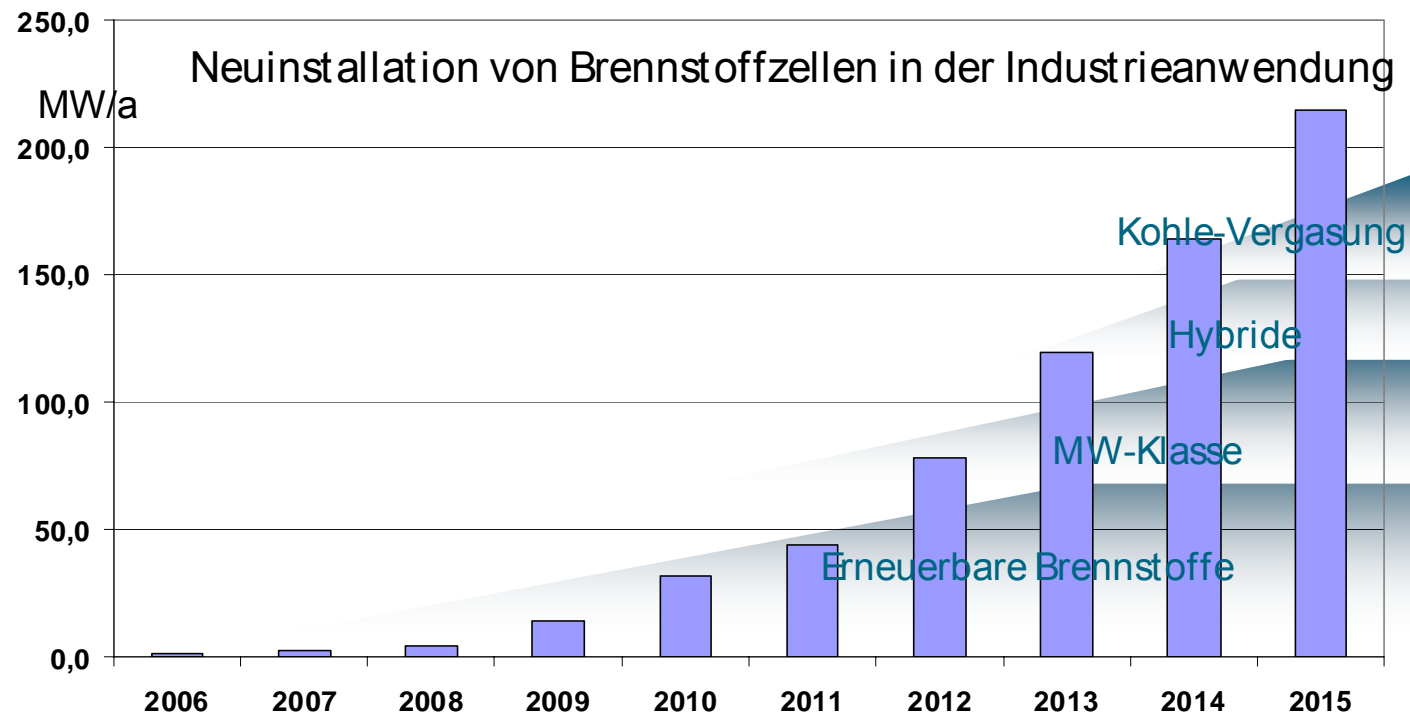
	Skala: hoch, mittel, niedrig	2006	2007 - 2008	2009 - 2012	2013 - 2015
Simulation des BZ-Stack, des BZ-Systems und der Anlage	mittel	Es gibt viele Simulationsprogramme für Komponenten / Stacks / Systeme und Gebäudesysteme. Die existierenden Simulationen geben die Vorgänge in der Zelle nicht befriedigend wieder. Für die Simulation des BZ Heizgerätes in Heizsystemen fehlen die Simulationstools	Kartierung der vorhandenen Simulationstools, kommerziell und Wissenschaft, Aufgabenstellung erarbeiten für BZ Simulation im Haus und Simulation entwickeln	Simulation mit Feldtestdaten verifizieren und fortentwickeln	
Verlässliche numerische Simulationsprogramme für PEMFC- und SOFC-Brennstoffzellenstacks, Simulationen zur Beschreibung des Anlagenverhaltens und der Installationsumgebung (Pufferspeicher, Häuser), Simulationen zur Beschreibung des Systemverhaltens zur Optimierung der Regelungstechnik					
Mitarbeit / Gestaltung im nationalen und internationalen Bereich der Regelwerke					

A.4 Entwicklungsplan „Industrieanwendung“

Demovorhaben und angewandte F&E



Markteinführung stationärer Brennstoffzellen BMW-I-Instrumentengutachten (Szenario VDMA AG BZ)



A.5 Entwicklungsplan „Spezielle Märkte“

Notstrom/ USV	Telekommunikation	Einsatzbereiche finden sich sowohl in Mobilfunkstationen als auch in Breitband-Betriebsanlagen, darüber hinaus Behördenfunk TETRA. Der Leistungsbereich liegt meist bei bis zu 5 kW. BZ bieten sich insbesondere wegen der Möglichkeit längerer Überbrückungszeiten an. Es sind Feldtests mit einigen hundert Systemen geplant. Entwicklungsthemen sind die Systemintegration, Betriebstemperatur und Geräuschentwicklung. Darüber hinaus werden Ziele zur Optimierung (Kosten, Lebensdauer, Wirkungsgrad) verfolgt.
	Verkehr (DB-Weichen)	Beim Einsatz als USV von Weichen im Schienenverkehr gelten analoge Vorzüge und Entwicklungsthemen wie oben beschrieben. Es ist zunächst ein Feldtest mit 100 Anlagen geplant.
	Rechenzentren	Analoge Vorzüge und Entwicklungsthemen, z. T. noch höhere Ansprüche ans System, höherer Leistungsbe- reich (20-50 kW), 15 Anlagen für Feldtest vorgesehen
Lagertechnik- Fahrzeuge	Gabelstapler	Brennstoffzellen können Bleibatterien ersetzen und damit das Problem der langen Ladezeiten bzw. des zweiten Batteriesatzes lösen. Die Anwendung bietet aufgrund ihres begrenzten Einsatzraumes ideale Bedingungen für Infrastruktur und Monitoring. Entwicklungsthemen sind neben der Optimierung von Kosten, Lebensdauer und Effizienz die verbesserte Integration sowie erweiterte Betriebsbedingungen und Reichweiten. Es werden Systeme mit verschiedenen spezifischen Anforderungen entwickelt und etwa 70 Fahrzeuge im Feldtest erprobt.
	Vorfeldfahrzeuge Flughafen	Vorzüge und Entwicklungsthemen gelten analog wie bei Gabelstaplern. Es ist zunächst ein Feldtest mit 2 Fahrzeugen geplant sowie eine spätere Ausweitung auf mehrere Dutzend.

Bordstrom-Versorgungen		<p>Hierbei werden im wesentlichen 2 Konzepte verfolgt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Methanol/DMFC, Leistungsbereich bis 100 W • LPG mit Reformer, Leistungsbereich 250 W <p>Der Einsatz erfolgt bevorzugt im Freizeitbereich (insbesondere Caravans, Boote), Entwicklungsthemen konzentrieren sich insbesondere auf Anpassungen an ermittelte Marktbedürfnisse. Es ist die Darstellung von Pilotserien und deren Einsatz beim Endkunden geplant</p>
Boote und Leichtfahrzeuge	Boote	<p>Hier sind Antriebe auf Wasserstoffbasis wie auch DMFC oder LPG basierte Systeme (s.o.) geplant. In jeweils zweijährigen Phasen werden nacheinander 3 Leistungsklassen (2-8 kW, 10-20 kW, 50+ kW) entwickelt und integriert sowie anschließend demonstriert und parallel optimiert. Der Einsatz erfolgt zunächst konzentriert in 3 Regionen: Bodensee, Mecklenburg-Vorpommern und Hamburg, in späteren Phasen Orientierung zur Ausweitung auf weitere Regionen.</p> <p>Parallel ist der Aufbau von Wasserstoffinfrastruktur vorgesehen (Tankstelle und Wechselkartuschensystem).</p>
	Leichtfahrzeuge	<p>Bei Fahrzeugen auf Wasserstoffbasis erfolgt die Entwicklung erfolgt nach Leistungsklassen ähnlich wie bei Booten.</p> <p>Bei DMFC-Fahrzeugen werden Antriebe ebenfalls in unterschiedlichen, aber kleineren Leistungsklassen entwickelt (750 kW, 1,5 kW, ~5 kW) bzw. bereits entwickelte Antriebe optimiert und zur Serienreife entwickelt bzw. bereits Pilotserien dargestellt. Entwicklungsthemen dieser Sparte sind anwendungsspezifisch.</p> <p>Als Fahrzeuge sind in diesem Segment eine Vielzahl von Konzepten geplant, z.B. E-Bikes, E-Trailer, Rikschas, Twikes, Cargobikes, Klein-PKW, Touristikfahrzeuge und Fahrzeuge für das Flughafenvorfeld. Es ist die Darstellung von einigen hundert Twikes auf Wasserstoffbasis, einigen hundert DMFC-Fahrzeugen und etwa 200 Fahrzeugen der anderen Kategorien vorgesehen</p>
Andere Spezialanwendungen	<p>In diesem Bereich finden sich eine Reihe von Spezialanwendungen wie z.B. die Stromversorgung untertätiger Geräte mit DMFC (Bergbau), DMFC als Batterieextender im Leistungsbereich 100-1000 W, Einsatz verschiedener Typen von Brennstoffzellen in Spezialanwendungen wie Rollstühlen, Golf-Caddys, Blindenlesegeräten und die Entwicklung/der Einsatz von kleinen Zellen (3-50 W) in Kamerasystemen (z.B. zur Überwachung). In den meisten Projekten ist die Darstellung jeweils weniger Prototypen geplant, im Falle der kleinen Zellen für Kamerasysteme ein Aufbau von einigen hundert Systemen.</p> <p>In diesem Zusammenhang wird auch auf das BMBF-Programm zur Entwicklung von Mikro-Brennstoffzellen verwiesen.</p>	

A.6 Synergien, Querschnittsaufgaben

Potenziale für Synergien					
	Transport		Hausenergieversorgung	Industrieanwendung	Spezielle Märkte
	APU	Fahrzeugantrieb			
Entschwefelung Erdgas			X	X	
Sensorik	X	X	X	X	X
Pumpen/Verdichter/Ventile	X		X		X
NT-PEMFC MEA & Stack	X	X	X		X
HT-PEMFC MEA & Stack	X	X	X		X
SOFC-Stack	X		X	X	X
H2-Speicher	X	X			X
Reformer Erdgas			X	X	
Reformer flüssig	X		(X)		X
Methoden	X	X	X	X	X
Recycling	X	X	X	X	X

Zum Heben der Synergien ist eine detaillierte Betrachtung über alle Anwendungsbereiche erforderlich. Die Spezifikationen sind gemeinsam zu definieren. Die unterschiedlichen Zeitpläne sind zu berücksichtigen.