



Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien – Tragende Säulen der Energiewende 2.0

Weiterentwicklung
des
Nationalen Innovationsprogramms
Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
(NIP)



**Nationales Innovationsprogramm
Wasserstoff- und
Brennstoffzellentechnologie**

Berlin im Juni 2013

Inhaltsverzeichnis

I	Zusammenfassung.....	3
II	Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien – Tragende Säulen der Energiewende 2.0.....	6
III	Marktvorbereitung im NIP – Etappenziel erreicht.....	8
IV	Weiterentwicklung des NIP – der Weg zum Markt.....	11
	Brennstoffzellen für elektrische Antriebe und Wasserstofftankstelleninfrastruktur	12
	Wasserstoff: Erzeugung, Speicherung und Verteilung – Bindeglied zwischen nachhaltiger Mobilität und sicherer Energieversorgung	14
	Brennstoffzellen für die stationäre Energieversorgung: Hausenergieversorgung, dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung und sichere Stromversorgung	15
V	Empfehlungen zur Umsetzung.....	20
VI	Fazit	24

Autoren:

Die Vertreter der Industrie und Wissenschaft im Beirat der NOW GmbH.

Ansprechpartner: Prof. Dr. Werner Tillmetz (Vorsitzender des Beirates)

Der Beirat hat die Aufgabe der strategisch inhaltlichen Steuerung und Beratung und ist für die Erstellung des Entwicklungsplanes (NEP) verantwortlich. Die Mitglieder des Beirates vertreten die mehr als 300 am NIP beteiligten Unternehmen und Organisationen. Weitere Informationen im Internet unter: <http://www.now-gmbh.de/de.html>

I Zusammenfassung

Die Umstellung unserer Energieversorgung auf höchste Effizienz, wachsende Anteile erneuerbarer Energien mit geringem Energieverbrauch und niedrigen Emissionen (Klimagase und Schadstoffe) ist ein gemeinsames Ziel von Wirtschaft und Politik. Um dieses zu erreichen, werden Konzepte benötigt, die die Stromerzeugung intelligent mit dem Antrieb von Fahrzeugen, der Kraftstoffinfrastruktur, sowie der Energieversorgung von Häusern, Schiffen und Flugzeugen verknüpfen. Die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie bietet einen solchen ganzheitlichen Ansatz, der multifunktional genutzt werden kann.

Wasserstoff kann einfach **aus erneuerbaren Quellen** erzeugt und gespeichert werden. **Brennstoffzellen** ermöglichen eine höchst **effiziente und emissionsfreie Umwandlung** in Strom und Wärme. Sie tragen dazu bei, mit neuen Produkten, Dienstleistungen und Anwendungen Wertschöpfung und Beschäftigung am Standort Deutschland zu sichern und den Import fossiler Brennstoffe als einen wesentlichen Kostentreiber in der heutigen Energieversorgung zu reduzieren. Daher wird diese Technologie künftig eine wichtige **Brückenfunktion** bei der Verknüpfung der bislang noch getrennten Systeme zur **Stromerzeugung** (aus erneuerbaren Energien) und der **Kraftstoffversorgung** für den Verkehr wahrnehmen.

Bei der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie hat sich Deutschland im internationalen Vergleich eine führende Position erarbeitet. Mit dem Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) werden seit 2007 mit mehreren Hundert Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekten die technischen Voraussetzungen dafür geschaffen, in den kommenden Jahren innovative Produkte in den Markt zu bringen. Bundesregierung, Länder und Industrie ziehen dabei an einem Strang und engagieren sich mit zusammen mehr als 1,5 Mrd. Euro im NIP. Der langfristig angelegte Förderrahmen des NIP seine Programmgesellschaft NOW GmbH - Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie - gelten in Europa und weltweit als ein Erfolgsmodell, das Nachahmer findet.

Das erste Etappenziel, die **Alltagstauglichkeit und technologische Marktfähigkeit** in Fahrzeugen und bei der Energie- und Wärmeversorgung von Gebäuden nachzuweisen, wurde erreicht. Autos und Busse mit Brennstoffzellen haben Millionen Kilometer unter ganz unterschiedlichen klimatischen und topographischen Bedingungen zurückgelegt. Von den in der ersten Phase bis 2015 geplanten 50 Wasserstofftankstellen sind über 20 in Betrieb. Mehr als 500 Brennstoffzellenheizgeräte haben über vier Millionen Betriebsstunden zuverlässig erreicht.

Nun gilt es, die **zweite Etappe bis zum kommerziellen Marktdurchbruch zu organisieren**. Die Erfahrung bei anderen innovativen Produkten wie Computern oder Mobiltelefonen hat gezeigt, dass deren Markteinführung – sei es im Wettbewerb mit herkömmlichen Produkten oder auch mit anderen Volkswirtschaften – planmäßig und aktiv gestaltet werden muss. Auch die Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie steht in einem direkten Wettbewerb zu Geräten und Verfahren, die meist schon über Generationen optimiert worden sind. Zudem werden letztere oft noch direkt oder mittelbar subventioniert. Gleichzeitig haben asiatische und nordamerikanische Wettbewerber bei Brennstoffzellen schon eine hohe Dynamik an ihren Heimatmärkten entwickelt und beginnen nun, das internationale Geschäft zu erschließen. So werden in Fernost in den nächsten Jahren Tausende Brennstoffzellenfahrzeuge auf die Straße kommen. In Japan waren 2013 schon 40.000 Brennstoffzellenheizgeräte installiert. In den USA sind 500 Brennstoffzellensysteme zur Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) mit mehreren hundert Megawatt installier-

ter Leistung in Betrieb. Hier gilt es für Deutschland nicht nur die technologische Führung zu behaupten, sondern auch weltweit den Anschluss bei der Kommerzialisierung nicht zu verpassen.

Der Übergang zu den emissionsarmen, effizienten **Produkten von morgen**, die eine wachsende und effiziente Nutzung von Erneuerbaren Energien unterstützen, braucht auch weiterhin einen stabilen Gestaltungsrahmen in dem **alle Akteure zielorientiert zusammenarbeiten**. Neben der technologischen Weiterentwicklung und Erprobung stehen dabei kreative Implementierungsinstrumente und neue Geschäftsmodelle mehr und mehr im Mittelpunkt. Ergänzt um die fachliche Weiterentwicklung des NIP und die zielorientierte Zusammenarbeit von Industrie, Wissenschaft und Politik bis 2023 wird so sichergestellt, dass Mitte der nächsten Dekade die **Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie in Deutschland eine tragende Säule eines nachhaltigen und wirtschaftlichen Energiesystems** und eines wachsenden und zukunftssicheren Exportmarktes geworden ist.

In den letzten Jahren haben Industrieunternehmen und Regierungen weltweit ihre Investitionen in die Entwicklung von Wasserstoff- und Brennstoffzellenprodukten intensiviert. Die verbleibenden technischen und wirtschaftlichen Herausforderungen bis zur kommerziellen Vermarktung sind weitgehend bekannt, wenn auch noch nicht alle überwunden. In Deutschland stehen viele Produkte und Anwendungen dank der gemeinsamen Initiative von Wirtschaft und Politik vor der Marktreife. Aufbauend auf diesen Erfolg, und um die Marktrisiken der nächsten Phase bis zum vollständigen Markt zu mindern, sollte die Bundesregierung ihr erfolgreiches Engagement fortführen und den derzeitigen Rahmen für Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekte mit dem Ziel der **beschleunigten Markteinführung** anpassen und ergänzen. Dabei sollten neue, auf die wesentlichen Anwendungen ausgerichtete Initiativen und wettbewerbliche Instrumente zum Erreichen kritischer Stückzahlen für Brennstoffzellen-Heizgeräte, -Pkw oder -Busse im Mittelpunkt stehen.

Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) leisten schon heute mehr als die Hälfte der Wertschöpfung in diesem Bereich. Eine **durchgängige Kette von Zulieferern** sichert die technische Weiterentwicklung und fördert mittelfristig die Wettbewerbsfähigkeit dieser Unternehmen. Die Nutzung von **Wasserstoff als Energiespeicher** und der Aufbau von **Wasserstofftankstellen** schaffen die infrastrukturellen Voraussetzungen für eine Wasserstoffwirtschaft und schaffen Synergien zwischen heute getrennten Marktsegmenten.

Vor diesem Hintergrund empfehlen die Vertreter von Wirtschaft, Wissenschaft und der Länder im Beirat der NOW¹ eine Weiterentwicklung des NIP. Über die inhaltliche Ausrichtung, sowie Art und Umfang der benötigten Mittel und Instrumente, ist dabei jetzt zu entscheiden, um einen konkreten Anschluss an das laufende Programm zu gewährleisten und im internationalen Markt nicht an Wettbewerbsfähigkeit zu verlieren. Dabei sind vor allem die folgenden Geschäftsfelder und Meilensteine bis 2025 von Bedeutung:

¹Im Beirat der NOW sind alle wesentlichen, am Thema beteiligten Branchen und Organisationen vertreten - siehe: <http://www.now-gmbh.de/de/ueber-die-now/aufgabe/struktur.htm>

- Brennstoffzellen für elektrische Fahrzeugantriebe und Wasserstoff-Infrastruktur für eine flächendeckende, emissionsfreie Mobilität, mit
 - bundesweit mehr als 500 öffentlichen Wasserstofftankstellen,
 - über eine halbe Million Brennstoffzellen PKW auf der Straße und
 - 2.000 Brennstoffzellenbussen im Linienbetrieb des ÖPNV im Einsatz
- Wasserstofferzeugung aus Erneuerbaren Energien und Integration in das Energiesystem als Bindeglied zwischen nachhaltiger Mobilität und Energieversorgung
 - 1.500 MW Kapazität Elektrolyseure zur Erzeugung von Wasserstoff aus Erneuerbaren Energien
 - Definition und Umsetzung erfolgreicher Geschäftsmodelle für Power to Gas
 - Erschließung von Wasserstoff-Speichern um Erneuerbaren Strom zu speichern
- Brennstoffzellen für die stationäre Energieversorgung mittels dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung in der Haus- und Gebäudeversorgung, der Industrie und eine sichere Stromversorgung etwa bei Behördenfunk, Telekommunikation usw.
 - mehr als eine halbe Millionen Brennstoffzellenheizgeräte in Betrieb
 - mehr als 1.000 MW Brennstoffzellen-KWK-Anlagen in Betrieb
 - mehr als 25.000 sichere Stromversorgungsanlagen installiert

Damit werden sich allein im Bereich der stationären Brennstoffzellen mit zusammen über 1.000 MW installierter Leistung jährlich bis zu drei Millionen Tonnen CO₂ einsparen lassen. Mit der Produktion und dem Betrieb von Systemen in Deutschland werden dann bis zu vier Milliarden Euro Umsatz erzielt werden und - mit einem hohen Anteil deutscher Wertschöpfung bei einer Exportquote von über 50 % - weit über 10.000 Arbeitsplätze gesichert. Für alle Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Aktivitäten zusammen kann für die vorgenannten Zahlen in etwa der Faktor 3 angesetzt werden.

Zum Erreichen der technischen und wirtschaftlichen Ziele ist nach Einschätzung der Autoren ein Gesamtaufwand von ca. 3,9 Mrd. Euro in den Jahren 2016 bis 2023 erforderlich. Der überwiegende Anteil dieses Aufwandes wird mit ca. 2,3 Mrd. Euro von der Industrie getragen. Der Bedarf an öffentlichen Mitteln bis 2023 beträgt insgesamt 1,6 Mrd. Euro oder im Schnitt ca. 160 Mio. Euro pro Jahr. Davon werden voraussichtlich 0,7 Mrd. Euro zur Verstetigung der Forschung und Entwicklung bis zur vollständigen Marktreife, sowie knapp 0,9 Mrd. Euro für Maßnahmen der Marktaktivierung, in den Bereichen Verkehr, Strom und Wärme² benötigt.

² Zahlen zur Marktaktivierung auf der Basis der Analysen der jeweiligen Industrieinitiativen H2 Mobility, IBZ, performing energy

II Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien – Tragende Säulen der Energiewende 2.0

Das heutige Energiesystem ist nicht ausreichend auf die zukünftigen Anforderungen einer sicheren, bezahlbaren und umweltfreundlichen Bereitstellung und Nutzung von Energie eingestellt. Lösungen, die eine nachhaltige Energieversorgung ermöglichen, sind ein Schlüssel für den Wohlstand künftiger Generationen in Deutschland.

Anforderungen an eine zukunftsfähige Energieversorgung für Strom, Wärme und Verkehr:

- **Sichere Energieversorgung:**

Verminderung der Abhängigkeit von Energieimporten (ca. 85% im Verkehrssektor), Erschließung neuer Energiequellen, die nicht an endliche Lagerstätten gebunden sind, Ausbau der erneuerbaren Energien und deren Integration in das Energiesystem, Verbesserung der Energieeffizienz und Energieeinsparungen durch technischen Fortschritt.

- **Effiziente und bezahlbare Energieversorgung:**

Entwicklung wirtschaftlicher Geschäftsmodelle für effiziente Energietechnologien, Sicherung von Energiekosten, die für alle Bürger und Unternehmen erschwinglich bleiben.

- **Umwelt- und klimafreundliche Energieversorgung:**

Reduzierung und Vermeidung von klimaschädlichen Emissionen, insbesondere CO₂ sowie Lärm und Umweltbelastungen. Erreichen der europäischen Rahmenvorgaben beispielsweise zu Luftqualität in Städten, bei Emissionen von Schiffen oder beim Lärm.

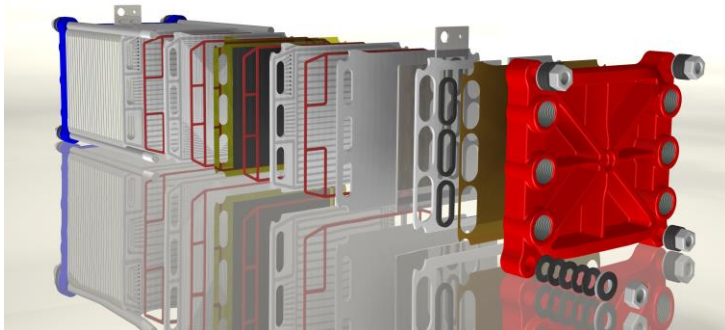
Der Wandel des Energiesystems findet in einem komplexen Umfeld aus energiewirtschaftlichen sowie industrie- und klimapolitischen Rahmenbedingungen statt. Hier ergeben sich Zielkonflikte, etwa zwischen Innovationsrisiko und Investitionssicherheit, betriebswirtschaftlichen Kosten und volkswirtschaftlichem Nutzen, die sich mit der zielgerichteten Verknüpfung unterschiedlicher Technologien, sowie einer sektorenübergreifenden Optimierung des Gesamtenergiesystems auflösen lassen. Dabei muss und kann Energie auch zukünftig für jeden bezahlbar bleiben.

Wasserstoff als Energieträger und -speicher und Brennstoffzellen als hocheffiziente Energiewandler stellen Schlüsseltechnologien für eine zukunftsweisende und bei Nutzung erneuerbarer Energien, eine emissionsfreie Bereitstellung von Strom und Wärme dar. Sie aktivieren neue Potenziale bei der Gestaltung nachhaltiger Mobilität wie auch bei der stationären Energieversorgung. Wasserstoff kann mit Elektrolyse aus Wind- oder Solarstrom produziert und gespeichert werden, insbesondere wenn fluktuierender, erneuerbarer Strom nicht verbraucht werden kann und die Stromnetze an ihre Kapazitätsgrenzen stoßen. Wasserstoff kann nicht nur für die Rückverstromung gespeichert, sondern insbesondere auch als Kraftstoff genutzt werden. Daraus ergeben sich einerseits neue Geschäftsfelder an der Schnittstelle zwischen Strom- und Verkehrssektor, zum anderen stellt Wasserstoff als gasförmiger Energieträger eine ideale Verbindung zwischen den Strom- und Erdgasnetzen dar.

Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien leisten somit zentrale und unverzichtbare Beiträge zur Energiewende 2.0 im Strom-, Wärme- und Verkehrssektor.



Emissionsfreier öffentlicher Personennahverkehr mit Brennstoffzelle und Wasserstoff aus Erneuerbaren Energien (Quelle: Clean Energy Partnership)



Brennstoffzelle mit ihren Komponenten (Explosions-CAD-Zeichnung) (Quelle: ZSW) und ein Brennstoffzellensystem für einen PKW-Antrieb (Quelle: Daimler AG).

III Marktvorbereitung im NIP – Etappenziel erreicht

Kooperationsmodell NIP: Gemeinsame Strategie von Politik, Industrie und Wissenschaft

2006 wurde das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) gemeinsam von Akteuren aus Politik, Wissenschaft und Industrie ins Leben gerufen. Mit dem zunächst bis 2016 angelegten Programm und einer bisher einmaligen Organisationsstruktur mit der Programmgesellschaft NOW, wurden entsprechend der in der Erprobung im Feld erreichten technologischen Erfolge, die Weichen für eine konsequente Umsetzung grundlegender Innovationen in unterschiedlichen Marktsegmenten gestellt. Das NIP folgt damit dem Leitgedanken, dass eine erfolgreiche Implementierung neuer Technologien, neben Grundlagenforschung und angewandter Forschung und Entwicklung im klassischen Sinne, auch die Erprobung in der Praxis unter Einbindung aller Akteure braucht.

Im Rahmen des NIP investieren die öffentliche und die private Hand in Summe 1,4 Mrd. Euro. Davon stellen das BMVBS 500 Mio. Euro und das BMWi 200 Mio. Euro Fördermittel bereit. Die Industrie beteiligt sich in den Projekten mit mindestens dem gleichen Volumen. Darüber hinaus betreiben Industrie und Wissenschaft Technologieentwicklungen mit eigenen Mitteln.

BMU und BMBF beteiligen sich an der strategischen Programmsteuerung und der Abstimmung sowie mit eigenen, komplementären Förderausschreibungen. Darüber hinaus setzen verschiedene Länder eigene Programme um und sind über eine Arbeitsgruppe in die laufenden Abstimmungsprozesse im Beirat der NOW eingebunden.

Als Schwerpunkte wurden die Bereiche Verkehr, stationäre Energieversorgung, netzferne sowie sichere Stromversorgung im Nationalen Entwicklungsplan Wasserstoff und Brennstoffzelle (NEP)³ festgeschrieben und 2011, nach dem Beschluss der Bundesregierung zur Energiewende, aktualisiert. Das Thema Wasserstoff als Energiespeicher und Brücke zwischen Strom aus erneuerbaren Energien und Bereitstellung von Kraftstoff für die emissionsfreie Mobilität bekam in der Folge ein deutlich größeres Gewicht. Über den Beirat mit Vertretern aus der Wissenschaft sowie aller beteiligten Branchen wird eine kontinuierlicher Abgleich mit den strategischen, wirtschaftlichen und technischen Anforderungen sichergestellt.

Übergreifende Zusammenarbeit in den Leuchttürmen

Im NIP arbeiten Industriepartner aller Größen und Sektoren übergreifend zusammen. Mit der Koordination durch NOW ist sichergestellt, dass die öffentlichen Mittel mit den Schwerpunkten angewandte Forschung und Entwicklung, sowie der Erprobung von Systemen im Alltag effektiv eingesetzt werden. Im Fokus stehen dabei Vorhaben mit kritischer Masse und klarer wirtschaftlicher Orientierung, die als Leuchtturmprojekte eine für die Vorbereitung des Marktes strategische Bedeutung entfalten können und eine hohe Wahrnehmung in der Öffentlichkeit sowie bei potenziellen Partnern in der noch zu entwickelnden Zulieferindustrie erreichen.

³ Siehe <http://www.now-gmbh.de/de/ueber-die-now/aufgabe/publikationen-download.html>

Die aktuellen Leuchtturmprojekte:

- **Clean Energy Partnership (CEP)**
Betrieb von Fahrzeugflotten (Busse und PKW) mit Brennstoffzellen-E-Antrieb und Aufbau von 50 Wasserstofftankstellen im deutschen Straßennetz
- **Callux**
Über 500 installierte Brennstoffzellen-Heizgeräte im Bereich der Hausenergieversorgung
- **E4Ships**
Erprobung von Brennstoffzellen-Systemen für die Bordstromversorgungen von Passagierschiffen
- **Clean Power Net (CPN)**
Sichere bzw. netzferne Stromversorgungssysteme an 250 Standorten

Die Leuchtturmprojekte spielen eine entscheidende Rolle, nicht nur für die Produktentwicklung, sondern auch darüber hinaus für eine breite Akzeptanz in der Öffentlichkeit. Sie schlagen eine Brücke zwischen Forschung/Entwicklung und den späteren Märkten, sind Keimzellen für eine anschließende Vermarktung und sollen diese initiieren und vorbereiten. Mit Produkten und Dienstleistungen werden erste praktische Erfahrungen gewonnen und Infrastrukturen, Zulieferindustrie und Vertriebssysteme aufgebaut. Leuchtturm-Projekte besitzen ausgedehnte Strahlkraft, im technologischen und/oder im geographischen Sinn. Hier werden 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. Damit werden Synergiepotenziale genutzt und die interdisziplinäre Zusammenarbeit gefördert.

Etappenziel erreicht

Mit dem NIP wurde die Alltagstauglichkeit und grundsätzliche Marktfähigkeit von Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien erfolgreich nachgewiesen. Dabei wurden auch die Potenziale in Hinblick auf Energieeffizienz, Nutzung erneuerbarer Energien, Umwelt- und Klimaschutz aufgezeigt. Beispiele hierfür sind der lokal vollkommen emissionsfreie Einsatz von Brennstoffzellenfahrzeugen, die Produktion von Wasserstoff aus Windenergie, oder die nachgewiesene Reduktion von Kohlendioxid um mehr als 30% bei Brennstoffzellenheizgeräten zur Versorgung von Gebäuden mit Strom und Wärme.

Mit seinem anwendungs- und marktorientierten Fokus ist das NIP einzigartig. Seine breite programmatische Ausrichtung, die Vernetzung unterschiedlicher Industriesektoren, sein stabiler längerfristiger Programmrahmen, sowie die Umsetzungsstruktur über eine eigenständige Programmgesellschaft haben sich bewährt. Die Ergebnisse des NIP leisten einen entscheidenden Beitrag, die Marktvorbereitung von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien zu beschleunigen, die Energiemärkte der Zukunft zu gestalten, und den Industriestandort Deutschland zu stärken.

NOW ist als professionelle Programmgesellschaft branchen- und länderübergreifend anerkannt

Mit der Gründung der bundeseigenen NOW GmbH Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie⁴ wurde eine kompetente Programmgesellschaft mit einem exzellenten Netzwerk an der Schnittstelle von Politik (Bund und Länder), Industrie und Wissenschaft geschaffen. Ihre wesentlichen Aufgaben sind die Koordination und Steuerung der Umsetzung des NIP⁵, die Abstimmung zwischen Demonstrationsprogrammen und Technologieentwicklung bzw. Querschnittsaufgaben, die Abstimmung mit europäischen und internationalen Initiativen, die Kommunikation mit und in der Öffentlichkeit, sowie das Wissensmanagement zur Bewertung der erreichten Ergebnisse und weiteren Maßnahmen.

Weltweit wird das NIP mit seinen effizienten Umsetzungsstrukturen als wegweisendes Modell für eine koordinierte Marktvorbereitung der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien geschätzt. Der Entwicklungsplan zum NIP wurde etwa zeitgleich und synchron zu den Inhalten des *Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking* (FCH JU)⁶ der Europäischen Kommission formuliert. Bei der fachlichen Umsetzung des Programms findet über die NOW ein intensiver Austausch zu den dortigen Projekten statt (u.a. mit Österreich, Frankreich, UK, Niederlande, Skandinavien). Darüber hinaus werden die Erkenntnisse aus den Aktivitäten im NIP mit anderen maßgeblichen Programmen auf nationaler und internationaler Ebene sowohl bilateral (u.a. USA, Japan, China) als auch im Rahmen der *International Partnership for Fuel Cells and Hydrogen in the Economy* (IPHE)⁷ diskutiert. Erfolgreiche Programme in anderen Ländern, wie die Einführung von brennstoffzellenbasierten Heizgeräten in Japan, oder die Flurförderzeuge mit Brennstoffzellensystemen in den USA, werden analysiert und die Erfahrungen für die hiesigen Aktivitäten adaptiert.

Eine zwischenzeitlich durchgeführte, unabhängige Evaluation des NIP kam unter anderem zu dem Ergebnis, dass mit dem NIP die Optimierung von Komponenten, die Systemintegration sowie Produktionstechniken deutlich gestärkt werden konnten. Gleichwohl gilt es, die industrielle Fertigungstiefe in Deutschland zu verbessern und die Verfügbarkeit von Komponenten, insbesondere bei der mittelständischen Zulieferindustrie, zu vergrößern. Zudem sind spezifische Wertschöpfungslücken etwa im Bereich der Brennstoffzellenstacks zu schließen. In einigen Fällen droht eine Abhängigkeit bei Schlüsselkomponenten von ausländischen Herstellern. Zusätzlich wird von am NIP beteiligten Industriepartnern eine zeitlich befristete und stark degressive aber konsequente Unterstützung bei der Markteinführung in einem international verzerrten Wettbewerb erwartet. Damit wird eine Chancengleichheit gegenüber über Generationen optimierten oder anderenorts oft staatlich subventionierten Technologien geschaffen.

⁴ Gesellschafter der NOW GmbH Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW) ist die Bundesregierung vertreten durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS). Im Aufsichtsrat der NOW sind darüber hinaus die Ressorts für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) sowie Bildung und Forschung (BMBF) vertreten. Im Beirat sind neben Vertretern der genannten Bundesministerien Vertreter der beteiligten Industriesektoren, der Wissenschaft sowie der Länder eingebunden - www.now-gmbh.de

⁵ Zusätzlich wurde die NOW in 2009 vom BMVBS mit der Umsetzung des Programms der Modellregionen im Bereich der batterie-elektrischen Mobilität beauftragt.

⁶ www.fch-ju.eu

⁷ www.iphe.net

IV Weiterentwicklung des NIP – der Weg zum Markt

Das NIP ist als Forschungs- und Entwicklungsprogramm der Bundesregierung bis 2016 angelegt. Für den Schritt hin zu einer breiten Markteinführung von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien sind zusätzliche speziell auf dieses Ziel ausgerichtete Maßnahmen und Instrumente erforderlich, um den erreichten Entwicklungsstand zu stabilisieren und in den nächsten Jahren in Markterfolge umzusetzen.

Weil Wasserstoff und Brennstoffzellen im Wettbewerb zu über Generationen optimierten und häufig subventionierten Technologien stehen, kann eine vollständige Wirtschaftlichkeit erst sukzessive erschlossen werden. Dabei wird das Erreichen dieses Ziels dadurch unterstützt, dass Brennstoffzellen sich schon heute durch eine hohe multifunktionale Nutzbarkeit unter verschiedenen Einsatzprofilen auszeichnen. Hinzu kommen weitere Vorteile, wie geringe Emissionen, die einfache Integration erneuerbarer Energien oder der Ersatz importierter fossiler Energie (heute in Deutschland mehr als 100 Mrd. Euro p.a.). Zur Sicherung der Marktziele ist neben der Erschließung technischer Optimierungspotenziale ein langfristiges Engagement mit dauerhaft angelegten Investitionen, z.B. in den Aufbau von Serienfertigungen in der Zulieferindustrie, sowie eine wachsende Infrastruktur etwa bei den Wasserstofftankstellen nötig. Da aber die Erlöse durch den Verkauf von Produkten nur langsam steigen, muss eine längere finanzielle Durststrecke überwunden werden. Gerade für diese Interimszeit ist ein stabiler Gestaltungsrahmen als Grundlage für eine intensive Zusammenarbeit und Abstimmung aller Marktakteure unumgänglich. Kreative, zeitlich befristete und stark degressive Marktanzweizeinstrumente, die sich an technologischen Meilensteinen orientieren und neue Geschäftsmodelle tragen dazu bei, den Markterfolg abzusichern, wie uns Wettbewerber aus Asien bereits zeigen.

Alle Förderinstrumente und -maßnahmen müssen dabei auf die wirtschaftlich relevanten Anwendungsgebiete fokussiert werden, um eine bestmögliche Wirksamkeit der Förderung zu gewährleisten. Ein konsequentes Monitoring und eine regelmäßige Analyse der technischen und wirtschaftlichen Entwicklungsschritte stellt ein zielgerichtetes Vorgehen sicher.

Zur Fortführung und Weiterentwicklung des NIP wird eine stark fokussierte Vorgehensweise mit den drei folgenden programmatischen Schwerpunkten empfohlen:

- Brennstoffzellen für elektrische Antriebe und Tankstelleninfrastruktur
- Wasserstoffherzeugung aus erneuerbaren Energien und Integration in das Energiesystem
- Brennstoffzellen für die stationäre Energieversorgung (Hausenergieversorgung und dezentrale Systeme für die Kraft-Wärme-Kopplung sowie sichere Stromversorgung)

In diesen Anwendungsgebieten ist bis spätestens 2025 ein kommerziell tragfähiger Markt mit vielen neuen Arbeitsplätzen, wirtschaftlichem Wachstum, sowie im internationalen Geschäft wettbewerbsfähigen Kostenstrukturen erreichbar.

Brennstoffzellen für elektrische Antriebe und Wasserstofftankstellen-Infrastruktur

Zielmarkt Deutschland 2025:

- Bundesweit mehr als 500 öffentliche Wasserstofftankstellen,
- über eine halbe Million Brennstoffzellen PKW auf der Straße und
- 2.000 Brennstoffzellenbusse im Linienbetrieb des ÖPNV im Einsatz

Die Verringerung von Treibhausgasemissionen und des Energieverbrauchs im Straßenverkehr sind für die EU Kommission und die Bundesregierung wichtige Ziele, die erst kürzlich in die deutsche Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie (MKS) eingeflossen sind. Ohne effiziente elektrische Antriebe und Kraftstoffe aus erneuerbaren Energien können weder die langfristigen Klimaziele, noch eine Unabhängigkeit von fossilen Energiequellen erreicht werden. Pkw und Busse können mit Wasserstoff und Brennstoffzellen ohne Einschränkungen bei der Reichweite, bei gleichzeitig hoher Flexibilität und Produktivität im Einsatz, gerade in den Innenstädten dazu beitragen, Belastungen durch Emissionen und Lärm deutlich zu reduzieren. Brennstoffzellenfahrzeuge stellen damit komplementär zu batterieelektrischen Fahrzeugen einen wichtigen Pfeiler in der Elektromobilität im Kontext nachhaltiger Verkehrskonzepte dar.

Voraussichtlich ab 2015 kommen die ersten tausend Serien-Pkw mit Brennstoffzellen zum Einsatz⁸, gefolgt von einer schnellen Weiterentwicklung des Marktes. Spätestens 2018 gehen die ersten Produktionsstätten für Komponenten, Systeme und Fahrzeuge in Deutschland in die Serienfertigung. Ab 2020 könnten Brennstoffzellenautos mit Kosten von ca. 30.000 Euro wettbewerbsfähig auf dem Markt bestehen⁹.

Um diese Ziele zu erreichen, müssen jenseits des bisherigen Forschungs- und Entwicklungs-Förderrahmens zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden, die es erlauben, kontinuierlich eine große Zahl an Fahrzeugen auf die Straße zu bringen. Nachdem im Rahmen der CEP die ersten 20 Wasserstofftankstellen bereits errichtet wurden, ist nun parallel dazu der Ausbau der Infrastruktur in einem für eine deutschland- bzw. europaweite Nutzung ausreichenden Umfang gemeinsam mit öffentlichen und privaten Mitteln voranzutreiben. In der Initiative H2-Mobility¹⁰ wer-

⁸ Hyundai und Toyota haben für 2015 die Markteinführung von Brennstoffzellen-Pkw in ihren Schlüsselmärkten angekündigt. Daimler beabsichtigt in Allianz mit Nissan und Ford die Serieneinführung ab 2017. BMW und VW beteiligen sich mit Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten am NIP. Gemeinsam mit Honda und GM/Opel sind die genannten Fahrzeughersteller (mit Ausnahme von Nissan) Partner der CEP.

⁹ Quelle: *A portfolio of power-trains for Europe: a fact-based analysis* (McKinsey, 2011); das Kostenbeispiel bezieht sich auf ein Fahrzeug der Kompaktklasse; mit der Brennstoffzelle sind insbesondere auch größere Fahrzeuge zu erwarten

¹⁰ Die Partner der Initiative H2 Mobility (Air Liquide, Daimler, Linde, OMV, Shell und Total) arbeiten an einem Geschäftsmodell für ein flächendeckendes Netz von Wasserstofftankstellen in Deutschland. Die Initiative wird von BMW, Honda, Hyundai, Intelligent Energy, Nissan, Toyota und Volkswagen sowie der NOW für die Schnittstelle zur Bundesregierung begleitet. <http://www.now-gmbh.de/de/mobilitaet/mobilitaet-von-morgen/autos-busse-und-oeffentlichetankstellen/h2-mobility-aufbau-eines-wasserstofftankstellennetzes-fuer-deutschland.html>

den Pläne für eine Basisabdeckung konkretisiert, die ausgehend von den Metropolregionen Korridore entlang der Bundesfernstraßen definieren, um so einen synchronisierten Hochlauf der Fahrzeuge und der Wasserstofftankstellen zu erreichen. Da der Betrieb einer flächendeckenden Wasserstoffinfrastruktur erst langfristig profitabel werden kann, gilt es, die hohen Anfangsrisiken gemeinsam zu tragen. Hierfür engagieren sich neben der Industrie und dem Bund auch viele Bundesländer.

Für den Industriestandort Deutschland ist die Automobilbranche eine Schlüsselindustrie. Ihre Erfolge im weltweiten Wettbewerb verdankt sie nicht zuletzt einer mittelständisch geprägten Zulieferindustrie. Dieser Vorsprung kann durch eine rechtzeitige Ausrichtung auf den zu erwartenden Technologiewechsel gesichert werden, wenn die Anpassung mit Augenmaß, aber kontinuierlich und engagiert erfolgt. Allerdings fordert auch eine sukzessive Umstellung erhebliche Anstrengungen um den Wandel in der Zulieferindustrie entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu ermöglichen, und auch künftig wettbewerbs- und lieferfähig zu bleiben.

Brennstoffzellen werden im Verkehr aller Voraussicht nach zuerst im Pkw und bei Stadtbussen, sowie bei Lieferwagen zum Serieneinsatz kommen. Grundsätzlich sind auch Spezialfahrzeuge und andere Transportmittel wie Nutzfahrzeuge, Flugzeuge, Schiffe und Züge für eine Umstellung auf diese Zukunftstechnologie geeignet. Im NIP werden daher die entsprechenden Systeme frühzeitig entwickelt und erprobt. Künftig müssen in einem nationalen Förderprogramm möglichst alle Verkehrsträger berücksichtigt werden, um die erforderlichen wirtschaftlichen Skaleneffekte zu schaffen. Diese entstehen nicht zuletzt, wenn gemeinsame Produktionskapazitäten und Logistikketten genutzt werden.



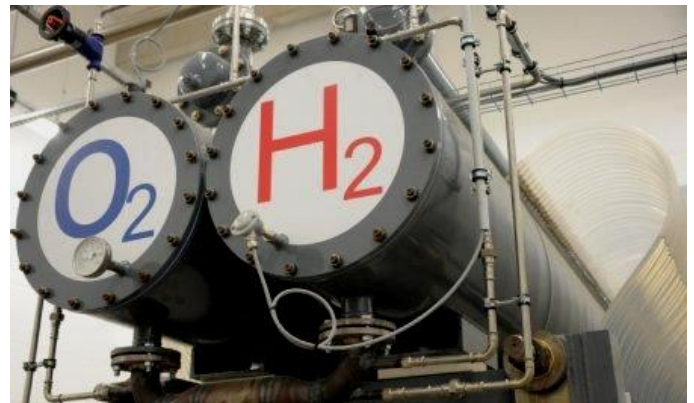
Mercedes Benz B-Klasse mit Brennstoffzellen-E-Antrieb beim Auftanken von Wasserstoff und ein öffentlicher Liniebus mit Brennstoffzelle im Alltagsbetrieb (Quelle: EnBW und CEP)

Wasserstoff: Erzeugung, Speicherung und Verteilung – Bindeglied zwischen nachhaltiger Mobilität und sicherer Energieversorgung

Zielmarkt Deutschland 2025

- 1.500 MW Elektrolysekapazität für Wasserstoff aus erneuerbaren Energie
- Etablierung erfolgreicher Geschäftsmodelle für Power to Gas
- Erschließung von Wasserstoff-Speichern um ausreichende Mengen Erneuerbaren Stroms zu speichern

Der mit der Energiewende verbundene Umbau der Stromversorgung schafft viele Herausforderungen. Dazu gehört beispielsweise der zeitliche Ausgleich von Erzeugung und Nachfrage nach Strom aus erneuerbaren Quellen oder die Überwindung großer räumlicher Distanzen zwischen Produktion und Nachfragern. Es wird erwartet, dass ab 2020 jährlich mindestens 20 TWh erneuerbar erzeugter Strom nicht direkt genutzt werden können. Dieses ist ein wesentlicher Preistreiber und senkt die Effizienz des Energiesystems insgesamt. Um diese Nachteile zu überwinden mittelfristig ausreichend große Energiespeicher gebraucht, um Strom aus Wind oder Photovoltaik sicher, zuverlässig und stabil in das Versorgungssystem zu integrieren und somit wirtschaftlich zu nutzen. Eine der aussichtsreichsten Optionen, insbesondere für die Speicherung größerer Energiemengen über längere Zeiträume, ist die Umwandlung in Wasserstoff. Dieser kann nicht nur gespeichert werden, sondern steht anschließend für eine große Zahl unterschiedlich vieler Anwendungen, wie die Einspeisung in das Erdgasnetz, als Kraftstoff für Fahrzeuge, oder als Rohstoff für industrielle Prozesse zur Verfügung. Mittelfristig werden sich daraus neue Geschäftsmodelle mit erheblichem Potenzial für die regionale Wertschöpfung und den Aufbau zusätzlicher Arbeitsplätze ableiten.



Wasserstoffherzeugung aus erneuerbaren Energien mit Elektrolyseuren. (Quelle: Enertrag)

Ergänzend zu den laufenden Aktivitäten für Wind-Wasserstoffsystemen im NIP, sowie im Rahmen der Speicherinitiative der Bundesregierung, sind Initiativen für die technologische Entwicklungen und Erprobung von Kernkomponenten solcher Systeme in der Praxis erforderlich. Dieses betrifft insbesondere neue, hoch leistungsfähige und dynamische Elektrolyseure und Wasserstoffspeicher, sowie die Einbindung in das Stromnetz und das Management des Energiesystems. Namhafte Vertreter der Industrie, der Wissenschaft, sowie von Organisationen aus dem Bereich Umwelt und Technologieförderung haben sich in der Initiative *performing energy – Bündnis für Wind-Wasserstoff*¹¹ zusammengeschlossen, um gemeinsam die Voraussetzungen für eine künftige wirtschaftliche Integration von Speichersystemen mit Wasserstoff in die Energiewirtschaft zu schaffen.

Eines der Ziele ist die Reduzierung der Investitionskosten für Elektrolyse auf ein Viertel des gegenwärtigen Wertes in den nächsten 10 Jahren, sowie die Weiterentwicklung der Leistungskapazität von heute unter 1 MW auf mehr als 50 MW, und eine Erhöhung des Wirkungsgrades um 20 Prozentpunkte. Unter diesen Voraussetzungen erscheint eine Gesamtleistung der Elektrolyseure von 1,5 GW in 2023 erreichbar.

Brennstoffzellen für die stationäre Energieversorgung: Hausenergieversorgung, dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung und sichere Stromversorgung

Zielmarkt Deutschland 2025:

- Mehr als eine halbe Million Brennstoffzellenheizgeräte in Betrieb
- Mehr als 1.000 MW Brennstoffzellen-KWK-Anlagen in Hausenergie, Industrie und Schiffen installiert
- Mehr als 25.000 sichere Stromversorgungseinheiten produziert

Hausenergieversorgung

Brennstoffzellen in der Hausenergieversorgung sparen durch Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) bis zu 50% CO₂ bei der Versorgung von Wohngebäuden ein. Sie unterscheiden sich in diesem Anwendungsbereich von anderen KWK-Anlagen wie dem Stirling- oder Verbrennungsmotor durch den hohen elektrischen Wirkungsgrad, sowie einen fast vollständig emissionsfreien und geräuscharmen Betrieb. Brennstoffzellen-KWK-Systeme können gerade in Bestandsgebäuden bei relativ geringen Investitionen und begrenzten baulichen Maßnahmen hohe Einsparungen erzielen. Die gute Stromkennzahl macht sie auch für Neubauten interessant. Beim Betrieb mit Bio-

¹¹ Partner der Initiative *performing energy* sind: Brandenburgische Technische Universität, DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH, Deutsche Umwelthilfe e.V., Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., ENERTRAG AG, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, GASAG Berliner Gaswerke Aktiengesellschaft, hySOLUTIONS GmbH, Linde AG, NOW GmbH Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, Siemens AG, Total Deutschland GmbH, Vattenfall Europe Innovation GmbH, Vattenfall Europe Windkraft GmbH

erdgas – perspektivisch auch mit Wasserstoff – wandeln sie erneuerbare Energieträger mit höchster Effizienz in Strom und Wärme um.

Brennstoffzellen-KWK-Geräte werden wie Photovoltaik-Dachanlagen (PV) in den Niederspannungsnetzen betrieben; sie können über einfache Kommunikationstechnologien zu virtuellen Kraftwerken zusammengeschlossen werden, um so die fluktuierende, erneuerbare Stromerzeugung aus Wind und Sonne zu verstetigen. Brennstoffzelle und PV können sich im Haus ideal ergänzen und im Verbund effektiv helfen, die enormen Herausforderungen beim Ausbau und der Stabilität der Stromnetze zu lösen.

Im Leuchtturmprojekt *Callux* und weiteren Aktivitäten sind bis heute über 500 Anlagen installiert worden. In über vier Millionen Betriebsstunden haben sie ihre Alltagstauglichkeit und eine bereits hohe technische Reife bewiesen. Auch die Schulungsprogramme für Handwerksbetriebe die die Installation und den Service durchführen, werden bereits intensiv genutzt. Erste Hersteller beginnen 2013 mit der Markteinführung, indem sie dem Endkunden Geräte in Kombination mit einem Vollwartungsvertrag anbieten. Die Initiative Brennstoffzelle (IBZ)¹² und die VDMA Arbeitsgemeinschaft Brennstoffzellen (AG BZ) prognostizieren, dass die kommerzielle Marktfähigkeit ohne Förderung ab 2020 erreicht werden kann. Dann könnten bis zu 75.000 Geräte jährlich abgesetzt werden. Dies entspricht 15 bis 20% des deutschen Heizgerätemarktes



Brennstoffzellen-Heizgeräte in Wohngebäude sorgen für eine effiziente Wärme- und Stromproduktion. (Quelle: Callux)

Für hocheffiziente KWK Anlagen mit Brennstoffzellen gilt es im Rahmen der Weiterentwicklung des NIP einen sich selbst tragenden Markt zu etablieren. Dafür muss die Anzahl der installierten Geräte noch deutlich erhöht werden. Eine koordinierte Marktinitiative von Herstellern, Zulieferern und Handwerk ist in Vorbereitung. Parallel dazu werden die Serienfertigung aufgebaut und durch technische Optimierung und steigende Nachfrage die Herstellkosten auf ein wettbewerbsfähiges Niveau reduziert. Da erste Hersteller aus Deutschland bereits Produkte vermarkten werden, ist neben einem stabilen Rahmen für Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrations-

¹² Die Initiative Brennstoffzelle (IBZ) ist das Kompetenzzentrum für Brennstoffzellen-Heizgeräte in der Hausenergieversorgung. Gemeinsam engagieren sich führende Unternehmen der Energiewirtschaft, namhafte Gerätehersteller, die Deutsche Energie-Agentur sowie die NOW GmbH Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie für die innovative Technologie. – www.ibz-info.de

Der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau VDMA unterstützt mit der Arbeitsgemeinschaft Brennstoffzellen über 60 führende Hersteller und Zulieferer von Brennstoffzellen beim Ausbau des Industriernetzwerks zur Optimierung der Systeme und Komponenten sowie bei der politischen Interessenvertretung

projekte auch hier ein degressiv gestaltetes, zeitlich befristetes und an technischen und wirtschaftlichen Kriterien ausgerichtetes, wettbewerbsrechtlich tragfähiges Markteinführungsprogramm notwendig. Damit werden zum einen die zu Beginn hohen Investitionsaufwände für die Kunden bzw. Endanwender verringert, und zum anderen die Einspeisung effizient erzeugten Stroms belohnt. Darüber hinaus sind zur Erreichung der Kostenziele technologische Weiterentwicklungen u.a. auch im Bereich der Produktionstechnologien notwendig.

Industrieanwendungen

Brennstoffzellen-Anlagen größerer Leistungsklassen haben ähnliche Vorteile wie Hausenergieanlagen und werden zurzeit in erste Anwendungen überführt. Die Vielfalt möglicher Einsätze von Einkaufszentren über Industrieeinrichtungen bis zu Schiffen und die Leistungsfähigkeit der Anlagen erlauben es, die bisher insgesamt installierte Leistung zügig zu erhöhen und energie-wirtschaftliche Bedeutung zu erreichen. Voraussetzung ist die Überwindung der Kostenhürden. Zudem haben dezentrale KWK-Brennstoffzellensysteme mit einer elektrischen Leistung von bis zu 10 MW aufgrund ihres hohen elektrischen Wirkungsgrades, ihres hohen Gesamtnutzungsgrads, sowie ihrer geringen Schadstoff-Emissionen ein attraktives Marktpotenzial in einem sich verändernden Energiesystem, das durch zunehmend dezentral optimierte Versorgungsstrukturen charakterisiert ist. Bei Hochtemperatur-Brennstoffzellen fällt zudem die nutzbare Wärme auf einem Temperaturniveau an, das den Einsatz als Prozesswärme z.B. in der Lebensmittelindustrie ideal vor Ort ermöglicht.

Hocheffiziente Brennstoffzellensysteme in dezentralen und/oder autonomen Anwendungen sind auch dann sinnvoll, wenn zunächst Gas oder andere Kohlenwasserstoffe als Brennstoff verwendet werden. Wegen der hohen elektrischen Effizienz kann der Verbrauch an Brennstoff um etwa 30% reduziert werden. In Verbindung mit synthetischen Brennstoffen aus Biomasse oder erneuerbaren Energien ist sogar eine noch weiter gehende Reduzierung der Emissionen möglich. Die höheren Brennstoffkosten werden durch den besseren Wirkungsgrad abgedeckt. Der Entfall von Komponenten für die Emissionsreduzierung senkt die Betriebs- und Investitionskosten. Dieses ist insbesondere für Anwendungen im Schiffbau und der Meerestechnik, in denen Deutschland eine führende Stellung in der Welt hat, von Bedeutung.

Im Rahmen des Leuchtturmprojekts e4ships werden die technologische Weiterentwicklung und Erprobung, insbesondere von Systemen für die Stromversorgung und Wärme-/Kälteversorgung auf Schiffen unterstützt. Begleitend dazu wurde eine Initiative für die Anpassung der Rahmenbedingungen der International Maritime Organization (IMO) für den Einsatz von Gas auf Schiffen etc. gestartet, die sicherstellt, dass künftig die besonders effiziente Produkte aus Deutschland unterstützt werden. Wegen des hohen Bedarfs an Strom und Wärme vor allem beim Hafenbetrieb liegt der Fokus auf Systemen ab 500 kW Leistung. Daneben werden Anlagen von 5 bis einigen 10 kW für Gewerbebauten wie Einkaufszentren entwickelt und demonstriert.

Die größten Herausforderungen für den kommerziellen Einsatz stellen bislang die hohen Herstellkosten solcher Systeme dar. Sie konnten weltweit seit 2003 bereits um ca. 60% gesenkt werden; weitere 30% sind durch nachfrageabhängige Skaleneffekte zu erwarten. Demonstrationsvorhaben im Megawatt-Maßstab können Unsicherheiten auf der Nutzerseite entgegen wirken; ein marktgängiger Ausbau weiterer KWK-Kapazitäten kann durch einen Effizienzbonus für Anlagen mit hohem Stromwirkungsgrad unterstützt werden

Sichere und netzferne Stromversorgung

Die Industrienationen hängen heute in großem Maße von einer stabilen und sicheren Stromversorgung ab. Stromausfälle verursachen große volkswirtschaftliche und betriebswirtschaftliche Kosten, so dass wichtige Anlagen durch eine eigene Sicherheitsstromversorgung - unabhängig vom öffentlichen Stromnetz - abgesichert werden. Neben solchen Lösungen für eine unterbrechungsfreie Stromversorgung gehören vor allem sicherheitsempfindliche Systeme wie die Telekommunikation mit Mobilfunk und Behördenfunk, Verkehrsleitsysteme und Leitstände, sowie Rechenzentren, Umweltmess- und Überwachungstechnik und die Notstromversorgung öffentlicher, kritischer Infrastruktur-Einrichtungen zu den potenziellen Nutzern.

Im Vergleich zu Ersatzsystemen auf Basis von Batterien und Dieselgeneratoren sind Brennstoffzellenbasierte Systeme viel effizienter und ermöglichen wesentlich geringere Emissionen vor allem in Kombination mit erneuerbaren Energien und Elektrolyse – und das bei stromnetzähnlicher Verfügbarkeit. Brennstoffzellensysteme bieten darüber hinaus die Option, als Sicherungs- und Pufferlösung bei der verstärkten Nutzung erneuerbarer Energien, das öffentliche Stromnetz zu entlasten und sehr schnell Regenergie bereitzustellen. Ein weiterer Zusatznutzen besteht in der Spitzenlastreduzierung, die eine weitere Verringerung der Kraftwerksreserve ermöglicht.

In Freizeitanwendungen, wie Stromversorgung von Wohnmobilen, Segelyachten oder Berghütten, sowie in Industrieanwendungen wie Verkehrs-, Sicherheits- und Überwachungstechnik für Sensoren, Mess- und Funksysteme erlauben Brennstoffzellensysteme eine dezentrale Stromversorgung, die unabhängig vom öffentlichen Stromnetz ist. Für die Brennstoffzellen sprechen im Vergleich zu Batteriesystemen oder Dieselgeneratoren vor allem ihre Umweltfreundlichkeit, Netzunabhängigkeit, hohe Verfügbarkeit und Energieeffizienz. Hinzu kommt der schadstofffreie und leise Betrieb, sowie der zum Teil erheblich reduzierte Logistik- und Serviceaufwand entlegener Stationen. Im Rahmen des NIP konnten in Deutschland solche Brennstoffzellen-Systeme bereits bis zu einer annähernden Marktfähigkeit entwickelt werden. Erste Systeme sind von verschiedenen Herstellern kommerziell verfügbar oder stehen kurz vor der Kommerzialisierung. Etwa 30.000 kleine Brennstoffzellensysteme im Leistungsbereich von 100 Watt wurden bereits erfolgreich vermarktet. Deutschland ist hier Weltmarktführer.



Sichere Stromversorgung mit Brennstoffzellen in der Telekommunikation und im Behördenfunk (Quelle: Heliocentris, CPN)

Wie bei der Hausenergieversorgung ist auch hier die gemeinsame Initiative aller Akteure notwendig, um die Kostenreduktionen der Brennstoffzellensysteme darzustellen und die von den Anbietern im *Clean Power Net* (CPN)¹³ prognostizierten 25.000 Stück auch im größeren Leistungsbereich mit mehreren Kilowatt je System im Jahr 2017 zu erreichen.

Im Rahmen einer Weiterführung des NIP sollte der Aufbau nachhaltiger Geschäftsmodelle, die insbesondere Exportchancen für deutsche Firmen bieten, im Vordergrund stehen. So sind in Schwellenländern wie Indien und Süd-Afrika netzunabhängige Energieversorgungsanlagen der Schlüssel für die Anbindung großer Teile der Bevölkerung an die weltweite Informations- und Telekommunikationsinfrastruktur und damit für wirtschaftliches Wachstum, an dem auch deutsche Unternehmen teilhaben können.

Neben der Senkung der Herstellkosten um mindestens 50 %, u.a. durch den Auf- und Ausbau von Serienfertigungsprozessen, gilt es, gemeinsam mit der Zulieferindustrie die Verfügbarkeit kritischer Komponenten und Technologien zu erhöhen, sowie ein Versorgungskonzept für die verschiedenen Treibstoffe aufzubauen. Zudem kann die Markteinführung durch Vereinfachungen im regulatorischen Umfeld sowie durch Standardisierung bei Genehmigungsverfahren beschleunigt werden

Damit werden sich allein im Bereich der stationären Brennstoffzellen mit zusammen über 1.000 MW installierter Leistung jährlich bis zu drei Millionen Tonnen CO₂ einsparen lassen. Mit der Produktion und dem Betrieb von Systemen in Deutschland werden dann bis zu vier Milliarden Euro Umsatz erzielt werden und - mit einem hohen Anteil deutscher Wertschöpfung bei einer Exportquote von über 50 % - weit über 10.000 Arbeitsplätze gesichert.

¹³ Partner des von der NOW initiierten CPN sind: b+w Electronic Systems GmbH & Co. KG, BOS Digitalfunk Brandenburg, E-Plus Mobilfunk GmbH & Co. KG, Elcore GmbH, ELTEK DEUTSCHLAND GMBH, Emerson Network Power | Knürr GmbH, FCPower GmbH, fischer eco solutions | fischer group, Forschungszentrum Jülich GmbH, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, FutureE Fuel Cell Solutions GmbH, Heliocentris Energiesysteme GmbH, HOPPECKE Batterien GmbH & Co. KG, HyPower GmbH, ITM Power GmbH, MODL GmbH, new enerday GmbH, PASM Power and Air Condition Solutions Management GmbH & Co. KG, Proton Motor Fuel Cell GmbH, Rittal GmbH & Co. KG, SFC Energy AG, Zentrum für BrennstoffzellenTechnik ZBT GmbH, Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)

V Empfehlungen zur Umsetzung

Mit dem NIP wurde bei der technischen Entwicklung und Erprobung hoch effizienter Anlagen und Systeme viel erreicht. Allerdings sind bis zum Erreichen des Marktes noch weitere Anstrengungen nötig um in der zweiten Etappe nicht den Anschluss an die Wettbewerber aus Asien und Nordamerika zu verlieren. Dabei geht es insbesondere darum, die geleisteten Investitionen aktiv weiter zu nutzen und auszubauen, auch wenn die Risiken der Markteinführung über das typische Unternehmerrisiko bei inkrementellen Innovationen hinausgehen. Vor allem für die sehr langfristigen Investitionen der Industrie sind verlässliche Rahmenbedingungen notwendig, die die Marktaktivierung unterstützen. Gelingt dieses, kann damit eine erhebliche Zukunftssicherheit und Vorrangstellung der deutschen Industrie am Weltmarkt erreicht werden.

Das NIP deckt heute angewandte Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsaktivitäten vor allem in den Bereichen Verkehr, Strom und Wärme ab. Der breiten Markteinführung von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien ab etwa 2020 müssen nun gezielt weitere Initiativen für dessen aktive Erschließung vorausgehen. Hierzu müssen komplementär zu Forschung und Entwicklung anwendungsspezifisch geeignete Instrumente etabliert werden, die es ermöglichen, eine durchgängige und stabile Wertschöpfungskette in Deutschland aufzubauen und bei Bedarf neue Geschäftsmodelle zu etablieren, die für die Nutzer nicht allein aus Gründen des Marketings, sondern auch wirtschaftlich attraktiv sind.

Die zukünftige Programmstruktur im Sinne einer Weiterentwicklung des NIP sollte daher sowohl die **technologische Basis absichern**, als auch die **Marktaktivierung unterstützen**.

Technologiebasis absichern

Zur Sicherung der Forschung und Weiterentwicklung im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie in Deutschland, und damit zur Sicherung einer global wettbewerbsfähigen Zulieferindustrie, sowie zur Etablierung einer geschlossenen Wertschöpfungskette, sind die folgenden Maßnahmen zügig vorzubereiten und umzusetzen:

- Maßnahmen des BMVBS mit dem Schwerpunkt auf Demonstrationsaktivitäten und Marktvorbereitung (z.B. Intensivierung und inhaltliche Weiterentwicklung bestehender Leuchtturmprojekte, Aufbau neuer Leuchtturmprojekte)
- Kontinuierliche Fortführung der Maßnahmen des BMWi im Rahmen des Energieforschungsprogramms der Bundesregierung mit dem Schwerpunkt auf angewandte Forschung und Entwicklung (z.B. Kostenreduktion Komponenten und Erhöhung Zuverlässigkeit von Systemen, Recycling, Produktionsforschung)
- Verstärkte Einbindung in bestehende Programme des BMBF sowie intensivere Vernetzung mit außeruniversitären Forschungseinrichtungen; ggfs. Etablierung zusätzlicher spezifischer Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen (z.B. Katalysatorforschung, elektrochemische Komponenten, Fertigungsverfahren)
- Programme des BMU und ggfs. Etablierung von neuen Maßnahmen mit dem Schwerpunkt der Nutzung/Einbindung erneuerbarer Energien (z.B. Wind-Wasserstoff-Systeme für die Kraftstoffherzeugung, großtechnische Speicherung und Netzintegration von Wasserstoff)

Marktaktivierung unterstützen

Basierend auf der erfolgreichen Erprobung in den Leuchttürmen des NIP sind folgende spezifische Maßnahmen zur Marktaktivierung notwendig:

- Unterstützung des Markthochlaufs von Brennstoffzellenfahrzeugen insbesondere durch den Aufbau der hierfür notwendigen Wasserstoffinfrastruktur;
- Sicherung ausreichender Produktionskapazitäten für Wasserstoff aus Erneuerbaren Energien zur Entlastung der Stromnetze und zur Bereitstellung eines erneuerbaren Kraftstoffs für den Verkehrssektor;
- Definition eines degressiv gestalteten zeitlich befristeten Technologie-Einführungsprogramms für hocheffiziente, klimafreundliche KWK-Brennstoffzellensysteme, insbesondere für die Hausenergieversorgung.

Monitoring und Analyse der Energiesysteme

In einem programmatischen Ansatz gilt es, die technologiespezifischen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten sowie die anwendungsspezifischen Einführungsprogramme (Brennstoffzellenfahrzeuge/Wasserstoffinfrastruktur, Elektrolyse und Speichertechnologien, Technologieeinführung für KWK-Systeme) ganzheitlich zu koordinieren und zu steuern. Hierzu bedarf es der gemeinsamen Definition und regelmäßigen Erfolgskontrolle konkreter technischer und wirtschaftlicher Ziele, die aus den Zielmärkten spezifisch abzuleiten sind. Für die Erfolgskontrolle ist eine systematische Wissensdatenbank zu etablieren. Auf der Basis eines umfassenden Monitoring und einer detaillierten Analyse der energetischen und wirtschaftlichen Zusammenhänge wird weiterhin eine zielgerichtete Vorgehensweise und eine effiziente Nutzung der Mittel sichergestellt.

Mittelbedarf

Der öffentlichen Hand kommt bei Aus- und Weiterbildung, Forschung und Entwicklung, wie auch beim Aufbau und der Weiterentwicklung effizienter Energie-Infrastrukturen, eine entscheidende Rolle zu. Für das NIP stehen von 2007 bis 2016 etwa 700 Mio. Euro Förderung der Bundesregierung aus Mitteln des BMVBS (500 Mio. Euro) und des BMWi (200 Mio. Euro) zur Verfügung. Die Industrie beteiligt sich mindestens in gleicher Höhe an den konkreten Fördervorhaben und investiert zusätzlich substantiell Mittel in die Produktentwicklung und die Marktvorbereitung von Wasserstoff- und Brennstoffzellenprodukten. In den Jahren 2010 bis 2012 lag das Fördervolumen des BMVBS und des BMWi zusammen bei durchschnittlich ca. 80 Mio. Euro pro Jahr. Ergänzt werden diese Mittel durch Aufwendungen der Länder, sowie die eher grundlagenorientierten Arbeiten öffentlicher Forschungseinrichtungen, die nicht unmittelbar dem NIP zugeordnet sind.

Die nachfolgende Tabelle weist den Mittelbedarf für die vorstehend erläuterte Weiterentwicklung des NIP für den Zeitraum von 2014 bis 2023 aus. Dieser beläuft sich auf 700 Mio. Euro zur Absicherung der technologischen Basis sowie auf etwa 900 Mio. Euro für Maßnahmen der Marktaktivierung vor allem in den Bereichen Verkehr, Strom und Wärme¹⁴.

¹⁴ Zahlen zur Marktaktivierung auf der Basis der Analysen der jeweiligen Industrieinitiativen H2 Mobility, IBZ, performing energy

Absicherung der technologischen Basis		
Weiterentwicklung der Maßnahmen des BMVBS mit dem Schwerpunkt auf Demonstrationsaktivitäten und Marktvorbereitung		500
Maßnahmen des BMWi im Rahmen des Energieforschungsprogramms der Bundesregierung Schwerpunkt auf angewandte Forschung und Entwicklung		200
Programme des BMBF und ggfs. Etablierung zusätzlicher spezifischer F&E-Maßnahmen		noch abzustimmen
Programme des BMU und ggfs. Etablierung von neuen Maßnahmen mit dem Schwerpunkt der Nutzung/Einbindung erneuerbarer Energien		noch abzustimmen
	Summe	700
Marktaktivierung unterstützen		
Unterstützung des Markthochlaufs von Brennstoffzellenfahrzeugen insbesondere durch den Aufbau der Wasserstoffinfrastruktur (Tankstellen)		200
Sicherung ausreichender Produktions- und Speicherkapazitäten für Wasserstoff aus Erneuerbaren Energien zur Entlastung der Stromnetze und zur Bereitstellung eines erneuerbaren Kraftstoffs für den Verkehrssektor		300
Etablierung eines degressiv gestalteten Technologie-Einführungsprogramms für hoch-effiziente, klimafreundliche KWK-Brennstoffzellensysteme, insbesondere für die Hausenergieversorgung		400
	Summe	900
Gesamtmittel der öffentlichen Hand		1.600
Direkte Industriemittel	mindestens	2.300

Mittelbedarf für die NIP-Weiterentwicklung in Mio. Euro (2014-2023)

Den Fördermitteln der öffentlichen Hand in Höhe von etwa 1,6 Mrd. Euro¹⁵ in zehn Jahren (durchschnittlich 160 Mio. Euro pro Jahr) stehen direkte Investitionen der Industrie in Höhe von mindestens 2,3 Mrd. Euro gegenüber. Die Industrie sichert also gegenüber dem laufenden NIP mindestens eine Verdreifachung der Mittel zu, wenn die Absicherung der technologischen Basis und die Marktaktivierung gemeinsam erreicht werden kann.

Darüber hinaus können die öffentlichen Träger andere wichtige Instrumente zur Stimulierung des Marktes, etwa auf dem Gebiet der öffentlichen Beschaffung, initiieren. Gemeinsame Anstrengungen dieser Art, zu denen auch Initiativen in den Ländern hinzuzuzählen sind, ermöglichen den Aufbau einer marktfähigen Wasserstoff- und Brennstoffzellenindustrie in Deutschland, die auch international bestehen kann.

Wichtig ist, dass die Weiterführung des NIP bereits in 2014 ansetzt, um eine kontinuierliche programmatische Fortsetzung mit mehrjährigen Vorhaben über 2016 hinaus sicherzustellen. Entsprechende Vorhaben und Anfragen der Industrie liegen bereits in relevantem Umfang bei NOW vor.

Bewährte Umsetzungsstruktur anpassen und weiterführen

Die Vielfalt und Komplexität der Maßnahmen von Industrie, Wissenschaft und der Bundesregierung zur Weiterentwicklung des NIP erfordern eine ganzheitliche Koordination. Die Strukturen der NOW mit den beteiligten Gremien haben sich hierfür gut bewährt. Sie gewährleisten auch zukünftig, dass eine übergeordnete energie- und technologieoffene Beratung stattfindet. Die Mitglieder des Beirates aus Ministerien (Bund und Länder), Industrie, Verbänden und Wissenschaft wurden von den jeweiligen Interessengruppen vorgeschlagen und entsprechend ihrem fachlichen und unternehmerischen Hintergrund ausgewählt.

Hervorzuheben ist die für NOW wichtige und funktionierende Kooperation mit den beteiligten Ministerien (BMVBS, BMWi, BMBF, BMU), mit den Ländern und der EU über die Doppelungen bei der Förderung aus unterschiedlichen Töpfen vermieden und damit eine effektive Mittelverwendung sichergestellt wird.

Die NOW ist nicht nur Koordinatorin großer Programme der Bundesregierung, sondern steht auch für ein Netzwerk, das Kontakte zu allen relevanten Brennstoffzellen-Akteuren im In- und Ausland unterhält und pflegt. Sie hat sich als Plattform für den Austausch über Entwicklungen in der Branche national und international bewährt und bündelt als Schnittstelle zur Politik die relevanten Themen für schnelle und sachgerechte Entscheidungen.

¹⁵ Zum Vergleich: In 2012 fiel die deutsche Rohölrechnung mit 60,1 Mrd. Euro um 6,4 Mrd. Euro höher aus als in 2011 (das entspricht einer Steigerung um 11,9% bei einer Steigerung der Rohöleinfuhr um 3,2% von 2011 auf 2012); http://www.bafa.de/bafa/de/energie/mineraloel_rohoel/engergieinfo_rohoel/2012/dezember.pdf

VI Fazit

Wasserstoff und Brennstoffzellen stellen Schlüsselkomponenten bei der erfolgreichen Umsetzung der Energiewende und der Ausrichtung der deutschen Industrie auf auch künftig weiter gefragte Produkte dar. Die Integration erneuerbarer Energien in die Energieversorgung stößt ohne die Nutzung von Wasserstoff als Energiespeicher mittelfristig an ihre Grenzen. Im Verkehr und im Bereich der dezentralen, stationären Energieversorgung zeichnen sich Brennstoffzellen durch eine hohe Effizienz sowie besonders geringe Emissionen aus. Durch ihre vielfältigen Anwendungen kann die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie wichtige Beiträge für eine wachsende Wertschöpfung und Beschäftigung in Deutschland und die Zukunftsfähigkeit an diesem Standort leisten.

Das NIP, mit seinen derzeitigen Schwerpunkten in der angewandten Forschung und Entwicklung, sowie der Demonstration, hat eine Laufzeit bis 2016. Aufbauend auf dieser ersten Phase ist zukünftig der Schwerpunkt zusätzlich auf die Marktaktivierung zu legen. Um außerdem eine hohe Qualität, Effizienz und Praxistauglichkeit der Produkte und Anwendungen zu erreichen ist Kontinuität bei den Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten sicherzustellen. Außerdem ist die Weiterentwicklung des NIP mit beiden Elementen – **(1) Absicherung der technologischen Basis** und **(2) Unterstützung der Marktaktivierung** – bereits **ab 2014 im Regierungsprogramm für die nächste Legislaturperiode vorzubereiten**.

In der Weiterentwicklung des NIP sind Aktivitäten in den folgenden Bereichen in den Mittelpunkt zu stellen:

- Brennstoffzellen für elektrische Antriebe im Verkehr und Tankstelleninfrastruktur;
- Wasserstofferzeugung aus erneuerbaren Energien und Integration in das Energiesystem;
- Stationäre Anwendungen von Brennstoffzellen (dezentrale Systeme der Kraft-Wärme-Kopplung im Haus und in der Industrie sowie sichere Stromversorgung).

Diese Bereiche sollen durch eine weitere kontinuierliche Forschung und Entwicklung flankiert werden, um die noch erforderlichen technischen und wirtschaftlichen Optimierungspotenziale zu erschließen und die damit verbundenen Wertschöpfungsketten in Deutschland aktiv zu nutzen. Zusätzlich sind sie mit geeigneten Instrumenten zur Marktaktivierung zu unterlegen, damit gute Produkte auch am Markt ankommen.

Die bestehende Struktur mit NOW als der Umsetzungsorganisation hat sich nach übereinstimmender Meinung der beteiligten Akteure gut bewährt. Daher sollte sie auch künftig mit angepasster Aufgabenstellung und Ausstattung beibehalten werden.