

# **FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGS- BEDARF BRENNSTOFFZELLEN- TECHNOLOGIE**

Juli 2017

# 1 Hintergrund

Anlässlich des Statusseminars Brennstoffzelle des Bundesministeriums für Wirtschaft, veranstaltet vom Projektträger Jülich am 27. und 28. Juni 2017 in Berlin wurde das Herr Ulf Groos aufgefordert, den FuE-Bedarf aus der Fachszene aufzunehmen und gegenüber BMWi/PTJ darzustellen. Hierzu wurden bis Ende Juli 2017 konkrete Vorschläge von DLR, FRAUNHOFER, FUMATECH, FZJ, GRAEBENER, HEXIS, HOMEPOWERSOLUTIONS, KIT, MANN+HUMMEL, PLANSEE, SUNFIRE, ZBT und ZEMA eingereicht. Außerdem wurde das Protokoll des Statusseminars mit ca. 80 Teilnehmern ausgewertet, wobei knapp 60% aus der Industrie kamen, und im Folgenden zusammengefasst. Außerdem wurden 15 im Vorfeld des Statusseminars zugestellte Fragebögen hinsichtlich des von Projektleitern benannten Bedarfs für Forschung und Entwicklung berücksichtigt.

Im Folgenden wurden viele Detailvorschläge aggregiert und versucht, den jeweiligen generischen Kerngedanken zu erfassen. Naturgemäß kann diese Zusammenstellung nicht vollständig sein. Es sei darauf hingewiesen, dass nicht immer eine trennscharfe Zuordnung der Vorschläge zu den gewählten Themenclustern möglich ist: so wirkt sich z.B. eine Materialveränderung häufig auch auf die Fertigungsprozesse aus und umgekehrt.

Autor:  
Dipl.-Ing. Ulf Groos  
Abteilungsleiter Brennstoffzellensysteme  
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE  
Heidenhofstraße 2, 79110 Freiburg

Tel. 0761 4588 5202  
Fax 0761 4588 9202  
E-Mail [ulf.groos@ise.fraunhofer.de](mailto:ulf.groos@ise.fraunhofer.de)

Die Leitlinie für die zukünftige FuE-Förderung sollte die Beschleunigung der Industrialisierung sein. Dabei fließen folgende Kernthemen ein, auf die weitergehend noch detailliert eingegangen werden soll:

- Demonstrationsvorhaben zur Validierung der Marktreife und Bestimmung des marktgetriebenen FuE-Bedarfs
- Kosten- und produktionsoptimierte Brennstoffzellen- / Elektrolyse-Komponenten sowie -Stapel
- Kosten- und produktionsoptimierte Systemtechnik
- Skalierbare und hochdurchsatzfähige Produktionstechnik
- Wasserstofferzeugung und Nutzung

Diese Themen sind jeweils technologieneutral zu verstehen und betreffen Hoch- und Niedertemperatur-Brennstoffzellen oder –Elektrolyseure gleichermaßen – wenn auch teilweise auf unterschiedlichen Zeitskalen. Des Weiteren sind jeweils alle Forschungsaspekte von Material- bis hin zur Systementwicklung inklusive Modellierung und Prozessforschung einbezogen. Ebenso wird eine große Bandbreite von Anwendungen adressiert von Mobilität auf Straße, Schiene, Wasser und zu Luft sowohl im Außen- als auch in Innenräumen genauso wie stationäre Großanlagen und oder Kleinstgeräte. Eine Zuordnung zu kurz-, mittel- und langfristigen Zeitskalen ist sehr projektspezifisch und kann daher in dieser Zusammenstellung nicht vorgenommen werden (z.B. kann eine Katalysatorentwicklung aufbauend auf heutigen Legierungskatalysatoren kurzfristig umsetzbar sein, wenn es jedoch um neue Materialien geht, kann die Zeitskala viele Jahre betragen).

Hinsichtlich der Förderungspolitik gab es den Hinweis, dass über Leistungszentren eine wissenschaftliche Kontinuität hinsichtlich fokussierter Technologieaspekte erreicht werden könnte. Hintergrund dieses Vorschlags ist die Beobachtung, dass eine weltweit führende Position nur schwer über wechselnde, immer wieder neu im breiten Wettbewerb zu beantragende Verbundforschungsprojekte zu erreichen ist. Allerdings hat die heute übliche Forschungspolitik zu einem sehr breit an vielen Institutionen verteilten und durchschnittlich guten Wissenschaftsstand geführt. Zusätzlich wünscht sich die angewandte Forschung höhere Förderquoten, um die Anforderungen an den Eigenfinanzierungsanteil zu verringern.

## 2.1

### Demonstrationsvorhaben

Die Industrialisierung erfordert umfassende Feld- und Nutzererfahrung, um die potenziellen Möglichkeiten und die Marktreife der Brennstoffzellen- und Elektrolyse-Technologie aufzuzeigen, aber auch, um Problemfelder zu identifizieren und zukünftigen FuE-Bedarf abzuleiten. Hierzu werden großangelegte Vorhaben über die komplette Wertschöpfungskette von regenerativer Stromerzeugung, über die Wasserstofferzeugung, -speicherung und Nutzung in diversen Anwendungen angeregt. Vor allem sollte dabei eine Sektorenkopplung von Energieerzeugung, -verteilung, Industrie, Haushalt und Mobilität aufgezeigt werden. Diese sollten explizit zur Generierung von Langzeiterfahrungen genutzt werden. Die Einbindung von Planern und Beratern könnte eine Multiplikatorenwirkung entfalten.

Wünschenswert wäre z.B. ein Vorhaben in der Bodensee-Region mit solarer Stromerzeugung und angeschlossener Elektrolyse zur Wasserstoff-Erzeugung. Dieser Wasserstoff könnte in PKW, Bussen, für den Lieferverkehr bzw. der Intralogistik, auf Booten

und/oder Schiffen sowie ggf. sogar auf Kleinflughäfen genutzt werden. Um eine größtmögliche Breitenwirkung zu erzielen bzw. Erfahrung aus der Nutzung durch ungeschulte Personen zu gewinnen, wäre ein Einsatz im Tourismus denkbar. Ein anderes Projekt-szenario könnte die Ankopplung an die Windkraft (z.B. in Ostdeutschland) und Wasserstoffherzeugung über Elektrolyse und Rückverstromung in Brennstoffzellen z.B. zur Strom- und Wärmeversorgung einer Kommune darstellen.

Des Weiteren werden anwendungsorientierte Verbundvorhaben (in Analogie zum in der Bewilligung befindlichen NIP2-Vorhaben Autostack-Industrie) empfohlen, in denen Zulieferer ertüchtigt werden und Systemintegratoren gemeinsame Spezifikationen erarbeiten. Anwendungsgebiete könnten die stationäre Brennstoffzelle oder Notstromaggregate sein.

## 2.2 Brennstoffzellen- und Elektrolyse-Komponenten

Aus dem Ziel der Industrialisierung leitet sich die Anforderung zur Kostensenkung ab. In der Regel führt dies dazu, dass der Katalysatorgehalt als einer der wesentlichen Kostentreiber gesenkt werden muss. Gleichzeitig soll aus Kostengesichtspunkten die Leistungsdichte erhöht werden, um Materialien einzusparen. Dies erfordert weitere Materialanpassungen bis hin zu Neuentwicklungen. Beispiele hierfür sind vor allem die elektrochemisch aktiven Komponenten wie Membran/Elektrolyt, Katalysatorschichten oder poröse Lagen sowie Bipolar-/Separatorplatten inklusive Beschichtung und Fügen bis hin zu Dichtungsmaterialien. Daraus ergeben sich FuE-Bedarfe, damit ggf. bereits für bislang übliche Materialien bekannte Effekte nun für die neuen Materialien neu bewertet werden: dies betrifft Alterungsphänomene durch bestimmte Betriebsbedingungen (insbesondere Start- und Stoppvorgänge sowie Froststarts), Kontaminationseffekte durch Kathoden- oder Anodenschadstoffe, sowie durch Korrosionsvorgänge. Dabei rückt immer stärker in das Bewusstsein, dass eine starke Wechselwirkung zwischen den Materialien und Komponenten besteht, die bei der Entwicklung in der Regel betrachtet werden sollten. Begleitend hierzu müssen Methoden zur schnellen und einheitlichen Bewertung von Materialien und Komponenten entwickelt werden und zwar mit Hilfe von in-situ- wie zukünftig vor allem auch ex-situ-Analytik.

Ebenso werden hinsichtlich einer verbesserten Zusammenarbeit von Zulieferern und Systemintegratoren im In- und Ausland (inter-) national akzeptierte und validierte Normen und Standards benötigt.

## 2.3 Brennstoffzellen- und Elektrolyse-Stapel

Hinsichtlich der Zell-Stapel rückt das Prinzip Design-to-Cost noch stärker in den Vordergrund. Es gilt, das Wechselspiel von Materialien (Membranelektrodeneinheiten, Gasverteilerlagen, Bipolarplatten, Dichtung, Verspanneinheiten, etc.), Konstruktion (z.B. Flussfelder, Dichtkonzept) und Betriebsführung zu verstehen und zu verbessern. Dies geschieht vorzugsweise unter Einbeziehung der Zuliefererkette, von Stackentwicklern und Systemintegratoren bzw. Anwendern. Dabei sollten die Lebenszykluskosten (Total-Costs-of-Ownership, TCO) berücksichtigt werden, also die Aspekte Konditionierung/Einfahren, Lebensdauer, Effizienz, ggf. auch Entsorgung neben den Material- und Produktionskosten beachtet werden.

Konkrete Vorschläge sind für die SOFC neuere Ansätze wie ASC-Konzepte. In Bezug auf PEMFC wird noch Verbesserungspotenzial zum Einfahren und Konditionierung gesehen. Die Automatisierung zum Stapeln erfordert die Anpassungsentwicklung bekannter Montagetechnologien.

Auch hier wird angestrebt, harmonisierte Testverfahren, Standards und Normen mit möglichst internationaler Gültigkeit zu entwickeln und zu validieren.

## 2.4 Systemtechnik

Die oben angesprochenen Material-, Komponenten und Stapelentwicklungen wirken sich auf die Systemkonzepte aus und umgekehrt. Besonders im Fokus stehen die heute kostentreibenden Peripheriekomponenten wie (Hochdruck-) Speicher, Rezirkulation, Kompression / Verdichter, Leistungselektronik und ggf. Gas- oder Wasseraufbereitung / Schadstofffilterung / Befeuchtung.

Des Weiteren sollte Aufmerksamkeit auf das Komplettsystem hinsichtlich Betriebsführung inklusive Froststart, Lebensdauer, Effizienz und Wartung gelegt werden. Dabei gilt es Komplettsystemanalysen durchzuführen, da ggf. der Verzicht auf eine Komponente zielführend sein kann oder der Einsatz einer optimierten Komponente über die Erhöhung von Leistungsdichte und/oder Robustheit die Lebenszykluskosten senken kann. Im Zusammenhang mit der Betriebsführung ist auch FuE zur Kostensenkung und Zuverlässigkeit der Sensorik zu bedenken.

Die anwendungsorientierten Systeme haben in Deutschland gegenüber den Marktführern im weltweiten Vergleich häufig Nachholbedarf. Hierzu zählen neben der Mobilität auch die Mikro-KWK sowie leistungsstarke, stationäre Brennstoffzelle- oder Elektrolyse-Systeme. Daher sollte die FuE für Komplettsysteme von der Brenngaserzeugung und -aufbereitung bis zur Stromerzeugung und Anwendungsintegration bedacht werden. Dabei sollte dies auch zukünftige Konzepte, die z.B. auf strombasierten Kraftstoffen basieren, sowie die Entwicklung von übergeordneten, intersektoralen Energiesystemmodellen und Geschäftsmodellen umfassen. Dies beinhaltet auch das Energiemanagement von Energiesystemen in Haushalten bis hin zu Industriekomplexen, Kommunen oder Regionen inklusive dem Konzept der „virtual power plants“, nämlich dem Zusammenschalten verteilter, dezentraler Strom- und / oder Wärmeerzeuger.

Wiederum ist unter dem Gesichtspunkt der Industrialisierung die Entwicklung und Validierung (inter-) national akzeptierter Regelwerke, Normen und Standards erforderlich.

## 2.5 Produktionstechnik

Mit dem Markthochlauf rückt die FuE zu einer skalierbaren und hochdurchsatzfähigen Produktion von Komponenten, Stapeln, Peripheriekomponenten und Systemen in den Vordergrund. Dieses Feld bietet Möglichkeiten zu innovativen Ansätzen: Während heutige und kurz- bis mittelfristig umsetzbare Konzepte zur Herstellung von Elektroden auf homogene Schichten abzielen, könnten langfristig gezielte Gradienten in der Katalysatorbeladung oder dem Elektrolytgehalt und der Porosität sinnvoll werden, um auf die über die aktive Fläche veränderlichen Gas- und Feuchtekonzentrationen bzw. Temperaturen einzugehen. Somit könnten bei gleicher Leistungsdichte Materialien eingespart werden und gleichzeitig die Lebensdauer der Komponenten erhöht werden. Derartige, neue Konzepte sollten umfassende Kostenanalysen beinhalten, um den möglichen Materialeinsparungen die gegebenenfalls erhöhten Anforderungen an die Produktionsanlagen und die Qualitätssicherung gegenüberzustellen. Des Weiteren gibt es bei PEM-Brennstoffzellen in der Fachöffentlichkeit noch keine abgeschlossene Wertung hinsichtlich der gesamtheitlichen Kosten von graphitischen oder metallischen Bipolarplatten. Hinsichtlich von Systemkomponenten gilt es, heute bereits in großen Stückzahlen ein-

gesetzte Komponenten aus anderen Einsatzgebieten durch eine Anpassungsentwicklung für die Wasserstofftechnologie zu erschließen.

---

FuE-Bedarf zur  
Brennstoffzellentechnologie

---

Insbesondere stellen die hinsichtlich Stückzahlen mehrere Größenordnungen überspringenden Produktionszahlen von Markteinführung bis Massenmarkt besondere Herausforderungen an eine modulare und skalierbare Prozesstechnik. Da während der Markthochläufe für Maschinen- und Anlagenbauer nur sehr geringe Stückzahlen zu erwarten sind, wird hier in besonderem Maße eine Förderung benötigt. Als Beispiel sei das Stapeln der Einzelkomponenten zu einem Stack genannt. Hierzu sollten Lösungen gefunden werden, die unter Kosten- und Qualitätsgesichtspunkten dem Hochlauf der Stückzahlen entsprechen. Ebenso gewinnt die Qualitätssicherung z.B. mit zu entwickelnden online-Messverfahren an Bedeutung. Zur Wareneingang- und -ausgangsprüfung ist FuE für (weltweit) akzeptierte Prüfvorschriften erforderlich.

## 2.6

### Wasserstofferzeugung und -nutzung

Ein bedeutendes Hemmnis bei der Industrialisierung ist die heute noch nicht ausreichende Infrastruktur in Bezug auf Wasserstoff und strombasierte Kraftstoffe. Im Zusammenhang mit der Energiewende treten die Elektrolyse und die Nutzung von Wasserstoff über Power-to-Gas, Power-to-Liquid und Power-to-Chemicals in den Vordergrund. Demgegenüber werden heute die meisten Wasserstoff-Tankstellen mit Reformwasserstoff beliefert.

Die Anforderungen an die Gasreinheit könnten eine Intensivierung der on-site-Wasserstofferzeugung über Elektrolyse auslösen. FuE-Bedarfe bestehen hinsichtlich der Reduktion der Investitionskosten (CAPEX) solcher Anlagen: z.B. durch Erhöhung der Leistungsdichte, durch Optimierung der Hochdrucktanks sowie Verbesserung der Kompression beispielsweise durch elektrochemische Kompression. Ebenso müssen die Betriebskosten gesenkt werden: Beispiele sind die Erhöhung des Anlagenwirkungsgrads und eine Weiterentwicklung der Betankungsprozedur.

Es lässt sich ein Zukunftstrend zur Dezentralisierung und teilweise auch Energieautonomie erkennen, der dann (für die saisonale Energiespeicherung oder die Heimbetankung von Brennstoffzellenfahrzeugen) kleine Wasserstofferzeuger für Wohn- oder Industriegebäude fordert. Diese benötigen kleine Mitteldruckspeicher und ggf. könnten Metallhydridspeicher interessant werden. Im Zusammenhang mit einer dezentralen Nutzung zur Kraft-Wärme-Kopplung wird ein zukünftiger Bedarf an katalytischen Wasserstoff-Brennern genannt.

Im Hinblick auf stationäre Brennstoffzellen zur Kraft-Wärme-Kopplung und vor allem die Mikro-KWK für Wohn- und Industriegebäude liegt FuE-Bedarf vor, um eine möglichst national oder gar europäisch einheitliche Gasqualität zu erreichen bzw. Odorierungsmittel einzusetzen, welche in Brennstoffzellen problemlos eingesetzt werden können.