

Brennstoffzellen für Elektrofahrzeuge

Neu entwickelte Komponenten ermöglichen Herstellung von leistungsfähigeren und günstigeren Stacks



Brennstoffzellen, die in Fahrzeugen eingesetzt werden sollen, müssen besonders hohe Anforderungen erfüllen. Sie sollen eine große Leistungsdichte erreichen sowie kompakt und widerstandsfähig gegen Erschütterungen, Vibration und Temperaturschwankungen sein. Außerdem sollen sie sehr zyklenfest, kaltstartfähig und langlebig sein. Forscher eines Fahrzeugherstellers und mehrerer Zulieferfirmen untersuchen, wie sie mobile Brennstoffzellen-Systeme günstiger produzieren und reif für den Massenmarkt machen können.

Mit Wasserstoff betriebene Brennstoffzellen-Fahrzeuge fahren praktisch emissionsfrei, sie stoßen lediglich Wasserdampf aus. Sie sind schnell aufzutanken und haben hohe Reichweiten. Doch um gegenüber Verbrennungs- und Batterieantrieben wettbewerbsfähig zu werden, muss die Technologie sich bei den Kosten an diese annähern. Aufgabe der Forscher ist es deshalb, die Herstellungskosten von Brennstoffzellenstapeln zu reduzieren sowie Komponenten und Herstellungsverfahren an die Anforderungen industrieller Serienfertigung anzupassen. Für den Einbau in Fahrzeugen muss das gesamte System außerdem möglichst kompakt und leicht sein.

Die Zulieferer ElringKlinger, Greenerity, Freudenberg und Umicore entwickelten gemeinsam mit dem Automobilhersteller Volkswagen einen Brennstoffzellenstapel mit metallischen Bipolarplatten für den Einsatz in Fahrzeugen. Ein Hauptziel des Projekts HyMotion5 war es, die Katalysatorschichten zu verbessern, den Platin-Einsatz deutlich zu verringern und die Degradationsstabilität zu optimieren.

Dieses Forschungsprojekt wird gefördert vom

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)

Der Koordinator des Projekts, Dr. Gerold Hübner vom Bereich Forschung Antriebs- und Energiesysteme der Volkswagen AG, verdeutlicht: „Unser Ziel ist es, die eigene Entwicklungskompetenz für Brennstoffzellenstapel und -bauteile zu stärken und eine Fertigungskompetenz sowie eine deutsche Zulieferlandschaft aufzubauen.“ Er sieht dabei die Herausforderungen insbesondere darin, niedrige Edelmetallbeladungen mit hoher Stabilität und Dauerhaltbarkeit zu verbinden sowie die erforderliche externe Befeuchtung des Stacks zu reduzieren.

Beim BMWi-Statusseminar zur Brennstoffzellenforschung 2016 in Berlin äußerten Experten die Erwartung, dass die Brennstoffzelle ab 2025 / 2030 eine wichtige Rolle als Automobil-Antrieb spielen wird; sie schätzen, dass 2025 etwa 50.000 Fahrzeuge gebaut werden. Im Jahr 2016 waren es etwa 5.000. Vom Ausbau der Wasserstoff-Infrastruktur hängt ab, wie schnell sich die Brennstoffzellen-Technologie, ausgehend von einigen Metropolen, ausbreiten kann.

In der Startphase können Serienproduktion und Verbreitung der emissionsfreien Antriebe zum Beispiel durch den Einsatz lokal verkehrender Nutzfahrzeuge, Busse und Taxen mit Brennstoffzellen angekurbelt werden.

Ein neuer Brennstoffzellenstapel für mobile Anwendung

Die Konstrukteure entwickelten einen auf den mobilen Einsatz zugeschnittenen Niedertemperatur-PEM-Brennstoffzellen-Stack. Dieser hat ein ganzes Paket an Anforderungen zu erfüllen: Er muss besonders robust sein; zugleich sind aber auch geringes Gewicht und kompakte Abmessungen sowie Skalierbarkeit der Leistung gefordert.

Der Stack setzt sich aus einer dicht gepackten Folge von Funktionsschichten zusammen, die jeweils hohen wechselnden mechanischen und thermischen Belastungen ausgesetzt sind. Mit dem Ziel, eine kontinuierliche preisgünstige Großserienproduktion vorzubereiten, verbesserten die Projektpartner die Komponenten Membran-Elektroden-Einheit (MEA), Katalysator, Gasdiffusionsschicht (GDL Gas Diffusion Layer), Bipolarplatte und Dichtung und passten sie für eine optimale Funktion aufeinander an.

Höhere Leistungsdichte mit weniger Platin

Zu Projektbeginn wurden Referenz-MEAs mit einer Platinbeladung von 0,5 mg/cm² eingesetzt. Diese entsprechen dem Stand der Technik für seriennahe Produkte. Im Laufe des Projektes konnte bei gleichzeitiger Steigerung der Leistungsdichte die Edelmetallbeladung der MEAs auf 0,2 mg/cm² reduziert und somit mehr als halbiert werden.

Die Entwickler verbesserten die Betriebsstabilität des Stacks im Fahrzeug, unter anderem indem sie die externe Befeuchtung der Zellen minimierten. Ziel war, bei der Anode eine konstante Feuchte, bei der Kathode maximal 30 % Eingangsfeuchte zu erreichen.

Dafür gestalteten sie die Flussfeldauslegung und das Design der MEA neu. Nun reicht eine geringe Eingangsfeuchte aus. Das an der Kathode entstehende Wasser wird effizient intern auf die Anode überführt. Zu diesem Zweck setzten die Forscher auch dünnere Membranen mit besserem Wassertransportvermögen und höherer Leitfähigkeit ein. Durch den Einsatz der weiterentwickelten MEAs konnte bei gleichzeitiger Reduktion der

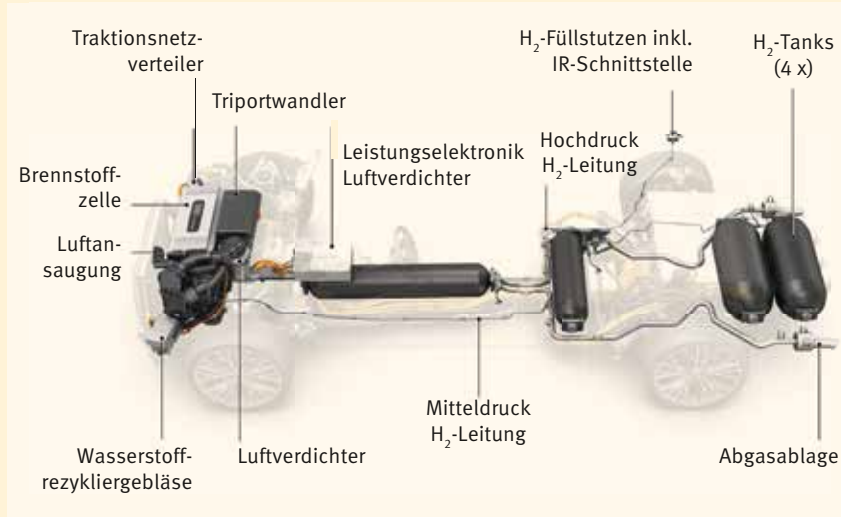


Abb. 1 Übersicht: Das BZ-System im Fahrzeug

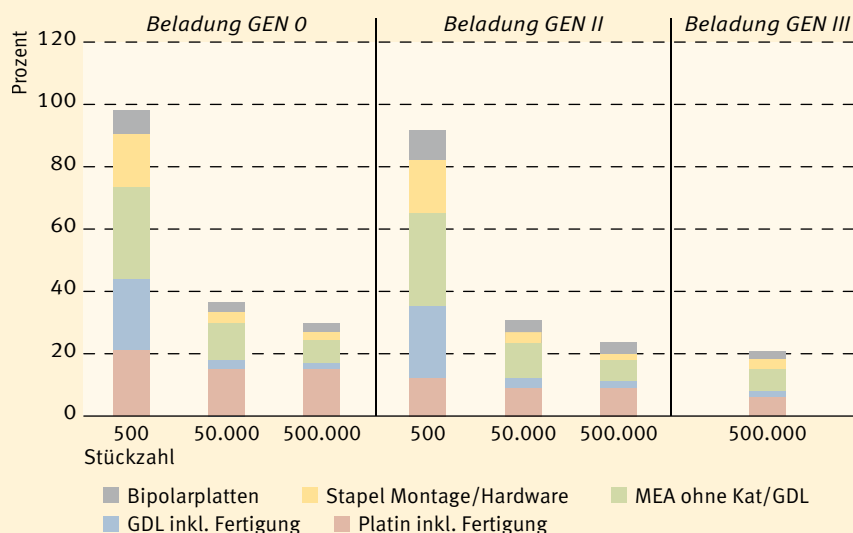


Abb. 2 Ergebnisse der Kostenstudie

(Basis MEA: Greenerity (0,294 g Pt/kW), Platinpreis (2015): 33 Euro/g)

Stackbefeuchtung die Leistung (Stromstärke) bei konstanter Spannung um bis zu 40 % (von 0,95 A/cm² auf 1,43 A/cm²) gesteigert werden.

Im Projektverlauf wurde auch das Dichtungskonzept für den Brennstoffzellenstapel optimiert. Um einen schnellen und reproduzierbaren Stapelaufbau zu ermöglichen, befindet sich die neue Dichtung auf dem Rand der MEA.

Neue Gasdiffusionsschichten verbessern Transport von Wasser und Gasen

Die Gas-Diffusions-Schichten (GDL) liegen in der Brennstoffzelle zwischen MEA und Bipolarplatten. Sie sind zuständig für den Gas- und Wassertransport. Das Substrat der GDL bestimmt hauptsächlich die mechanischen Eigenschaften, die mikroporöse Schicht (MPL) beeinflusst die elektrischen Eigenschaften sowie den Transport von Wasser (Wasserdampf) und Betriebsgasen. Die neuen GDLs sollen einen höheren Wirkungsgrad haben und außerdem auch kostengünstiger und haltbarer sein.

Die Forscher untersuchten unterschiedliche GDL-Materialien darauf, wie gut sie die wechselnden Einsatzbedingungen hinsichtlich Temperatur, Druck, Stöchiometrie und Befeuchtung verkraften und wie sie sich für den Einsatz im Stapel eignen. Sie entschieden, den Brennstoffzellenstapel mit einem dünnen GDL-Substrat auszustatten, das Vorteile beim Wassermanagement



PEM-Brennstoffzelle und Membran-Elektroden-Einheit MEA

Zentrales Element der PEM-Brennstoffzelle ist die Protonenaustausch-Membran (PEM) in der Membran-Elektroden-Einheit (MEA, Membrane Electrode Assembly). Diese protonenleitende Elektrolytmembran sitzt zwischen katalysatorbeschichteter Anode und Kathode, Gasdiffusionslagen (GDL) und Bipolarplatten. Um hohe Leistungsdichten zu erzielen, müssen alle diese Komponenten (Membran, Katalysatorschichten, GDL und Bipolarplatten) optimal aufeinander abgestimmt werden. Den Schichtaufbau von Brennstoffzelle und MEA zeigt Abb. 4.

Die Stromerzeugung durch die kalte Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff wird möglich durch die verschiedenen aufeinander abgestimmten Funktionsschichten in der PEM-Brennstoffzelle. In der Mitte sitzt die für Protonen durchlässige Polymermembran (PEM). Die Katalysatorschichten bestehen aus Kohlenstoffpartikeln mit feinstverteiltem Platinpulver, das die Reaktion fördert. Die Gasdiffusionsschicht sorgt dafür, dass immer genug Wasserstoff bzw. Luft an den Elektroden umgesetzt werden kann und kondensiertes Wasser abgeleitet wird. Die metallischen Bipolarplatten enthalten Kanäle für Wasserstoff und Sauerstoff sowie für Kühlmittel; außerdem dienen sie als elektrische Leiter für den Ladungstransport.

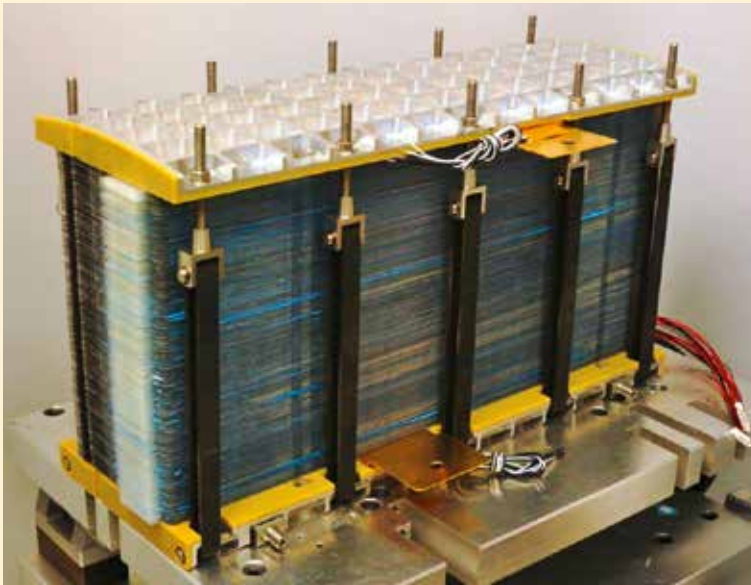


Abb. 3 Der im Projekt entwickelte 260-Zellen 100 kW Brennstoffzellenstapel

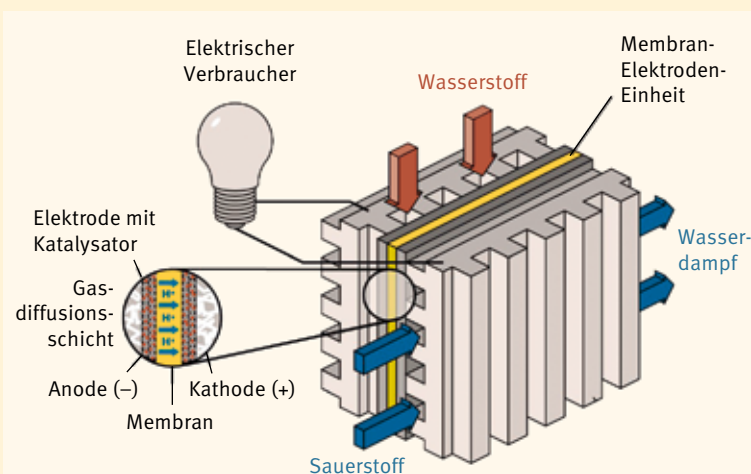


Abb. 4 Aufbau einer PEM-Brennstoffzelle, besonders hervorgehoben ist die MEA mit der zwischen Anode und Kathode sitzenden Membran.

sowie niedrigere Durchtrittswiderstände bietet. Und es hilft, den Bauraum des Stapels kompakt zu halten. Die ausgewählte GDL-Materialvariante zeigte gegenüber dem Referenzmaterial einen deutlichen Leistungsgewinn von fast 20 %. Hochgerechnet auf einen 100 kW-Stapel erreichten die Forscher mit einer aktuellen Platin-Beladung von 0,3 mg/cm² pro MEA eine Leistungsdichte von etwa 0,26 g Pt/kW.

In der Konzeptphase verglichen die Entwickler mehrere Designkonzepte für Bipolarplatten. Entscheidende Kriterien waren Kontaktfläche, Dicke der Bipolarplatten, Kühlmittelmenge und Versorgung der MEA mit Reaktionsmedien. Sie entschieden sich für metallische Bipolarplatten mit länglichen, geschwungenen Kanälen.

Neu entwickelte Hybridendplatten halten den Stack zusammen. Sie bestehen aus einem Kunststoffrahmen mit Metalleinsatz und sind als mechanisch hoch belastbare Leichtbaulösung für eine spätere industrielle Serienfertigung konzipiert.

Der Brennstoffzellenstapel ist reif für die Serienfertigung

Mit diesen aktuellen Stack-Komponenten wurde ein erster Kurzstapel im finalen Design mit 9 Zellen aufgebaut und in Betrieb genommen. Er erreicht mit 0,26 g Pt/kW eine sehr hohe und stabile Leistungsdichte. Der Langzeit-

test des Stapels belegte das gute mechanische Zusammenspiel sowie die elektrochemische Beständigkeit der Komponenten MEA und Bipolarplatten. Bedingt durch den Einsatz von dünneren Membranen waren beim Aufbau des Stacks strengere Anforderungen zu erfüllen. Dies gilt sowohl bei Bauteiltoleranzen als auch hinsichtlich Staubfreiheit im Montagebereich. Als kritisch erwiesen sich neben Staubpartikeln vor allem Unebenheiten der GDL-Fasern, die die Membran lokal stärker belasten, wenn sie ungenügend von der mikroporösen Schicht (MPL) abgeschirmt werden. Der im Projekt entwickelte 260-Zellen 100 kW Stapel wurde im Oktober 2018 aufgebaut (Abb. 3).

Skaleneffekt senkt Kosten

Wenn die Produktion von 500 auf 500.000 Stück steigt, sinken die Kosten pro Stapel auf etwa 30 % des heutigen Wertes. Dabei macht der Pt-Anteil beim im Projekt entwickelten Stapel 38 % aus, beim Folgemodell mit verbesserten MEA noch 29 % (Abb. 2).

Die Projektpartner nutzen die erworbenen Erkenntnisse über Metall-Bipolarplatten und MEA dafür, die Technologie in Richtung einer Fertigungsreife weiter zu entwickeln. Schwerpunkt eines Folgeprojektes sollten deshalb verstärkt Lebensduraspekte der Komponenten sein, insbesondere der MEAs und Bipolarplatten. Für den Serieneinsatz von Brennstoffzellen kommen bei Volkswagen zunächst höhere Fahrzeugklassen und leichte Nutzfahrzeuge in Betracht.

Mit dem HyMotion4 Projekt präsentierte der Konzern die Vorteile der neuen Antriebstechnologie. Damals wurden neun Brennstoffzellenfahrzeuge aufgebaut und mit einem ersten selbstentwickelten Stapel ausgerüstet. Durch den Einsatz skalierbarer Brennstoffzellen-Systeme in verschiedenen Leistungsklassen lassen sich Kosteneinsparpotenziale erschließen.



Brennstoffzellenstacks für die Autoindustrie

Im Verkehr der Zukunft werden Elektroautos eine bedeutende Rolle spielen. Für die Antriebe bieten sich neben Batterien auch verstärkt Brennstoffzellen an. Um die Elektromobilität voranzutreiben und die Brennstoffzellentechnologie weiterzuentwickeln, fördert die Bundesregierung Projekte für Forschung, Entwicklung, Demonstration, Marktvorbereitung sowie Marktaktivierung. Diese sollen dazu beitragen, die Brennstoffzellen-Technologie in Deutschland reif für die Serienproduktion und international wettbewerbsfähig zu machen. Mit dem Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologien (NIP) unterstützt sie die Entwicklung der nächsten Generationen von Brennstoffzellen.

Ein weiteres gefördertes Projekt ist das Vorhaben AutostackIndustrie. In ihm haben sich Wissenschaftler, Automobilhersteller und Komponentenzulieferer zusammengeschlossen. Gemeinsam wollen sie die technischen und technologischen Voraussetzungen für die kommerzielle Einführung von Brennstoffzellen-Fahrzeugen in Deutschland schaffen. Die elf Projektpartner entwickeln ein Hochleistungs-Stack für automobiler Anwendungen. Ihr Ziel ist, bei der Entwicklung und Fertigung bestmögliche Skaleneffekte zu erreichen, indem sie Hauptkomponenten gemeinsam nutzen. Als Grundlage dafür erarbeiten sie gemeinsame Konstruktions- und Qualitätsrichtlinien für Komponenten und Stacks.

Damit die Hersteller die Stacks für unterschiedliche Fahrzeuge und Fahrzeugplattformen einsetzen können, soll die Leistung in einer Art Baukastenprinzip skalierbar sein. Die breitere Einsetzbarkeit ermöglicht es dann auch, eine kostengünstige industrielle Massenfertigung aufzubauen.

Projektbeteiligte

- » **Projektleitung , Stapelentwicklung:** Volkswagen AG, Wolfsburg, Dr. Gerold Hübner, gerold.huebner@volkswagen.de
- » **Entwicklung von Membran- Elektroden-Einheiten (MEAs):** Greenerity GmbH, Hanau, Armin Bayer, armin.bayer@greenerity.com
- » **Entwicklung von Elektro-Katalysatoren:** Umicore AG & Co. KG, Hanau, Dr. Daniel Herein, daniel.herein@eu.umicore.com
- » **Gasdiffusionsmedien und Dichtungen für Brennstoffzellenstapel:** Freudenberg & Co. KG, Weinheim, Dr. Jochen Zabold, jochen.zabold@freudenberg.de, Achim Bock, achim.bock@freudenberg.de
- » **Abdichtungskonzept für die Bipolarplatte:** ElringKlinger AG, Dettingen, Manuel Morcos, manuel.morcos@elringklinger.com
- » **Charakterisierung von GDJs und Simulation der Flüssigwasserverteilung:** Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Stuttgart | www.zsw-bw.de

Links

- » Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) www.now-gmbh.de/de/bundesfoerderung-wasserstoff-und-brennstoffzelle
- » Clean Energy Partnership | cleanenergypartnership.de/home/
- » Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg | www.zsw-bw.de/
- » CEP-Video: Erklärung Funktion Brennstoffzelle | <https://youtu.be/SOs9AjJIB18>
- » Video der Deutschen Welle: Wasserstoffvisionen von VW und Audi | <https://youtu.be/xndtriH2D7M>
- » Video von NuCellsSys: Die Funktionsweise des Elektrofahrzeugs mit Brennstoffzelle <https://youtu.be/1G0QRxVr9c4>

Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Elektromobilität – Was uns jetzt und künftig antreibt. BINE-Themeninfo 1/2017
- » Brennstoffzelle erzeugt Strom und Wärme fürs Haus. BINE-Projektinfo 10/2016
- » Emissionsarme Energieversorgung auf dem Rastplatz. BINE-Projektinfo 2/2013
- » Dieses Projektinfo gibt es auch online und in englischer Sprache unter www.bine.info/Projektinfo_12_2018.

BINE Informationsdienst berichtet aus Projekten der Energieforschung in seinen Broschürenreihen und dem Newsletter. Diese erhalten Sie im kostenlosen Abonnement unter www.bine.info/abo

Impressum

Projektorganisation
Bundesministerium
für Wirtschaft und Energie (BMWi)
11019 Berlin

Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
Dr. Matthias Laske
Zimmerstr. 26 – 27
10969 Berlin

Förderkennzeichen
03ET2058A-G

ISSN
0937-8367

Herausgeber

FIZ Karlsruhe · Leibniz-Institut
für Informationsinfrastruktur GmbH
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Autor

Gerhard Him

Urheberrecht

Titelbild, Abb. 2–3: Volkswagen AG
Abb. 1: Audi AG
Abb. 4: Energieagentur NRW

Eine Verwendung von Text und
Abbildungen aus dieser Publikation
ist nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion
gestattet. Sprechen Sie uns an.

Kontakt · Info

Fragen zu diesem Projektinfo?
Wir helfen Ihnen weiter:

0228 92379-44
kontakt@bine.info

BINE Informationsdienst

Energieforschung für die Praxis
Ein Service von FIZ Karlsruhe

Kaiserstraße 185–197
53113 Bonn
www.bine.info

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages