

Industrielle Gemeinschaftsforschung auf dem Gebiet der Brennstoffzelle

Ende vergangenen Jahres hat die Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen (FVV) die neue Planungsgruppe Brennstoffzelle ins Leben gerufen. Wichtigstes Ziel ist es, mit den Mitteln der industriellen Gemeinschaftsforschung eine CO₂-neutrale Langstrecken- und Gütermobilität bezahlbar zu machen. Die bislang initiierten Forschungsvorhaben zeigen, dass auf dem Gebiet der Brennstoffzelle noch erhebliches Potenzial für Kostensenkungen vorhanden ist.

1 MOTIVATION

Als Konsequenz aus dem Pariser Abkommen hat die deutsche Bundesregierung einen Klimaschutzplan entwickelt, der für das Jahr 2050 eine „weitgehend Treibhausgas-neutrale Mobilität“ fordert [1]. Allein durch batterieelektrische Antriebe wird dieses Ziel nach heutigem Kenntnisstand nicht zu erreichen sein, da die Energiedichte auch künftiger Akku-Generationen nicht für Langstreckenmobilität und Güterverkehr ausreicht. Um sich dennoch von fossilen Energieträgern und der damit verbundenen Freisetzung von CO₂ unabhängig zu machen, bieten sich chemische Energieträger an, die durch Strom aus regenerativen Quellen wie Sonnen- oder Windenergie gewonnen werden können. Da die derzeit diskutierten Wandlungspfade als ersten Prozessschritt überwiegend die Wasserstoffgewinnung durch Elektrolyse vorsehen, ist es sinnvoll an Energiewandlern zu forschen, die den Wasserstoff direkt in im Fahrzeug nutz-





© Tom Kirkpatrick | BMW

STIMMEN AUS DER FVV



© BMW

Dr. Michael Bauer verantwortet die System- und Komponentenentwicklung für die Brennstoffzelle bei BMW, München, und ist seit Mitte 2017 der designierte Leiter der Planungsgruppe „Brennstoffzelle“ in der FVV. „Für die Brennstoffzelle stehen Entwicklungswerkzeuge nur eingeschränkt zur Verfügung, auch weil nicht alle Wirkzusammenhänge hinreichend erforscht sind. Daher will die neue Planungsgruppe Brennstoffzelle das Thema Simulation zu einem ihrer Schwerpunkte machen.“



© BMW

Dr. Merten Jung leitete ab Gründung die neue Planungsgruppe „Brennstoffzelle“ in der FVV. Bis zum 30. Juni 2017 war er für die Brennstoffzellen-Entwicklung von BMW, München, verantwortlich. „Wir wollen durch anwendungsorientierte Forschung dazu beitragen, die Kosten deutlich zu senken, ohne die mittlerweile hohe Alltagstauglichkeit der Brennstoffzelle negativ zu beeinflussen.“



© FVV

Martin Nitsche ist Stellvertretender Geschäftsführer der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen, Frankfurt am Main. „Weitgehend unerforscht ist bisher auch, wie die im Wasserstoffpfad verwendeten Werkstoffe zur Kontamination der katalytisch wirksamen Oberflächen beitragen können. Daher stellt das Verständnis der Wirkzusammenhänge der Systeme für die Wasserstoff- und die Luftzufuhr einen wichtigen Gegenstand unserer Forschungsvorhaben dar.“



© FVV

Dietmar Goericke ist Geschäftsführer der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen, Frankfurt am Main. „Mit unserem neuen Forschungsschwerpunkt schaffen wir die Voraussetzung dafür, dass auch kleine und mittlere Unternehmen in die Wertschöpfungskette der Brennstoffzellenproduktion einsteigen können. Die Forschungsergebnisse werden der Wettbewerbsfähigkeit der FVV-Mitglieder im neuen Mobilitätszeitalter ähnlich zugutekommen, wie dies bei Motoren und Turbinen seit mehr als 60 Jahren der Fall ist.“



<http://www.fvv-net.de>



BILD 1 Der Energieträger Wasserstoff ermöglicht emissionsfreie und praktikable Langstreckenmobilität (© Tom Kirkpatrick | BMW)

bare Energieformen umwandeln können – also am wasserstoffbetriebenen Verbrennungsmotor sowie an der Brennstoffzelle.

Die On-Board-Stromerzeugung durch eine Brennstoffzelle hat gegenüber einem batterieelektrischen Antrieb diverse Vorteile, die vom schnellen Nachtanken über die hohe Energiedichte bis hin zu einem von den Außentemperaturen unabhängigen Betrieb reichen, **BILD 1**. Allerdings sind die Kosten von für den Fahrzeugeinsatz geeigneten Niedertemperatur-Brennstoffzellen derzeit noch so hoch, dass eine wirtschaftliche Großserienproduktion derzeit noch nicht möglich erscheint. Ein wesentlicher Grund ist die Verwendung des Edelmetalls Platin an den reaktiv wirksamen Zellmembranen. Die von der FVV initiierte, stark anwendungsorientierte Gemeinschaftsforschung an Brennstoffzellen verfolgt daher das Ziel, durch innovative Lösungen die Kosten künftiger Brennstoffzellen-Generationen deutlich zu senken. Im Zentrum stehen dabei folgende technische Ansätze:

- Der Platingehalt soll ohne Einbußen bei Leistung und Gebrauchsdauer verringert werden. Eine wichtige Rolle spielen dabei die Peripherie-Systeme für die Wasserstoff- und Luftzufuhr.
- Regelungstechnische Optimierung des

Gesamtsystemverhaltens sowie der Teilsysteme, etwa des Thermomanagements.

- Entwicklung von geeigneten Simulationsmodellen, mit denen neue Ideen schnell bewertet werden können.
- Die Anfang 2017 ins Leben gerufene Forschungsgruppe verfügt über eine breite Industriebasis. Mehr als 45 Unternehmen aus Deutschland, Österreich, der Schweiz, Luxemburg, Schweden und Japan arbeiten mit. Darunter befinden sich, ganz im Sinn der vorwettbewerblichen Gemeinschaftsforschung, internationale Markt- und Technologieführer sowie kleinere mittelständische Unternehmen. Die Gruppe hat bereits erste Forschungsvorhaben initiiert, die aus Eigenmitteln der FVV finanziert werden. Als Wissensbausteine tragen die zu erwartenden Ergebnisse zu dem übergeordneten Ziel einer emissionsfreien Güter- und Langstreckenmobilität bei.

2 ERSTE PROJEKTE

2.1 KORROSION UND VERUNREINIGUNG IM WASSERSTOFFPFAD

Die Reinheit des Wasserstoffgases hat entscheidenden Einfluss auf die Lebens-

dauer eines mobilen Brennstoffzellensystems. Es ist bekannt, dass kleine Veränderungen der Gaszusammensetzung zu Schäden an den Membranen und zu Korrosion an den gasführenden Bauteilen führen können. Nicht erforscht ist bislang, inwieweit solche Verunreinigungen auch während des Betriebs, etwa durch freigesetzte Nebenprodukte der Reaktion oder als Restschmutz aus Fertigungsprozessen, auftreten. Es ist weder genau bekannt, um welche Produkte es sich dabei handelt, noch welche Schadensmechanismen ausgelöst werden. In einem von Audi, BMW und Bosch initiierten Grundlagenprojekt sollen zunächst im Betrieb die auftretenden Produkte erstmals systematisch erfasst werden. Dabei soll eine Klassifizierung nach den verschiedenen Druckbereichen im Anodenpfad sowie nach Quelle der Verunreinigungen erfolgen. Folgende Quellen werden besonders betrachtet:

- Restschmutz aus dem Herstellprozess, zum Beispiel Schmierstoffe und Partikel
- Emissionsprodukte, zum Beispiel Ausgasungen aus Polymerkomponenten
- Wechselwirkungen mit anderen Medien, zum Beispiel mit de-ionisiertem Wasser.

Ziel des Vorhabens ist nicht nur die Bestimmung der Produkte, sondern

auch die Entwicklung einer Methode, mit der der Einfluss auf die Funktionsfähigkeit der Membranen sowie die korrosive Wirkung zuverlässig untersucht werden kann. Ergänzend sollen Stichproben das Schädigungspotenzial auftretender Produkte aufzeigen. Damit leistet das Vorhaben einen wichtigen Beitrag zum Verständnis der Lebensdauer-beschränkenden Mechanismen in einer Brennstoffzelle.

2.2 KATHODENLUFTQUALITÄT

Ähnlich wie die Gaszusammensetzung auf der Anodenseite hat auch die Luftqualität auf der Kathodenseite großen Einfluss auf die Lebensdauer eines Niedertemperatur-Brennstoffzellensystems. Daher wird die Umgebungsluft vor der Kathode gereinigt. Bislang werden solche Filter auf Basis einzelner Untersuchungen ausgelegt und erprobt. Konzentration und Zusammensetzung von Luftschadstoffen schwanken jedoch in den einzelnen Weltregionen – so lassen sich beispielsweise in Japan schwefelhaltige Gase aus seismischen Aktivitäten nachweisen. Zudem sind die Schädigungsmechanismen, die einzelne Schadstoffe auf die aktiven Membranen sowie auf die luftführenden Bauteile haben, nicht in Gänze bekannt.

Um Luftfiltersysteme für Brennstoffzellen wissenschaftlich auszulegen, wäre ein standardisiertes Verfahren sinnvoll. Die Grundlagen dafür soll ein von Mann+Hummel initiiertes FVV-Vorhaben liefern. Dabei sollen zunächst die kritischen Schadstoffe definiert und dann Höchstkonzentrationen so festgelegt werden, dass zu definierende Einbußen der Brennstoffzellenlebensdauer nicht überschritten werden. Dabei erscheint eine Klassifizierung nach Betriebsregionen analog zum Vorgehen bei Verbrennungsmotoren sinnvoll – sie erlaubt es, einen weltweiten Standard durch Sonderlösungen für Regionen mit schlechter Luftqualität zu ergän-

zen. Darauf aufbauend können die erforderlichen Abscheideleistungen für die einzelnen Schadstoffe definiert werden. Zusätzlich werden geeignete Werkstoffe für die luftführenden Teile festgelegt.

„In diesem Projekt geht es um die Bereitstellung eines allgemein gültigen Auslege-Tools für Kathodenluft-Filter“, erläutert Dr. Michael Harenbrock, Experte für elektrifizierte Antriebe und Brennstoffzellensysteme bei Mann+Hummel. „In anderen, bereits abgeschlossenen Vorhaben ging es hingegen vor allem darum, Schädigungsmechanismen zu verstehen sowie einen exemplarischen Proof-of-Concept für individuelle Filter-Lösungen zu schaffen.“ Damit legt das neue Vorhaben die

Grundlage dafür, Standardlösungen für die Luftaufbereitung zu etablieren, und leistet so einen Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit der Brennstoffzelle.

2.3 OPTIMIERTES THERMOMANAGEMENT

Da Niedertemperatur-Brennstoffzellen in einem Temperaturfenster von 60 °C bis 110 °C arbeiten, entstehen bei Vollast trotz des hohen Wirkungsgrades erhebliche Wärmeleistungen, die der bereitgestellten elektrischen Leistung entsprechen. Diese Leistung fällt aufgrund der niedrigen Abgastemperatur hauptsächlich im Kühlsystem an und muss kontinuierlich abgeführt werden. Es bestehen mehrere Anforderungen, die

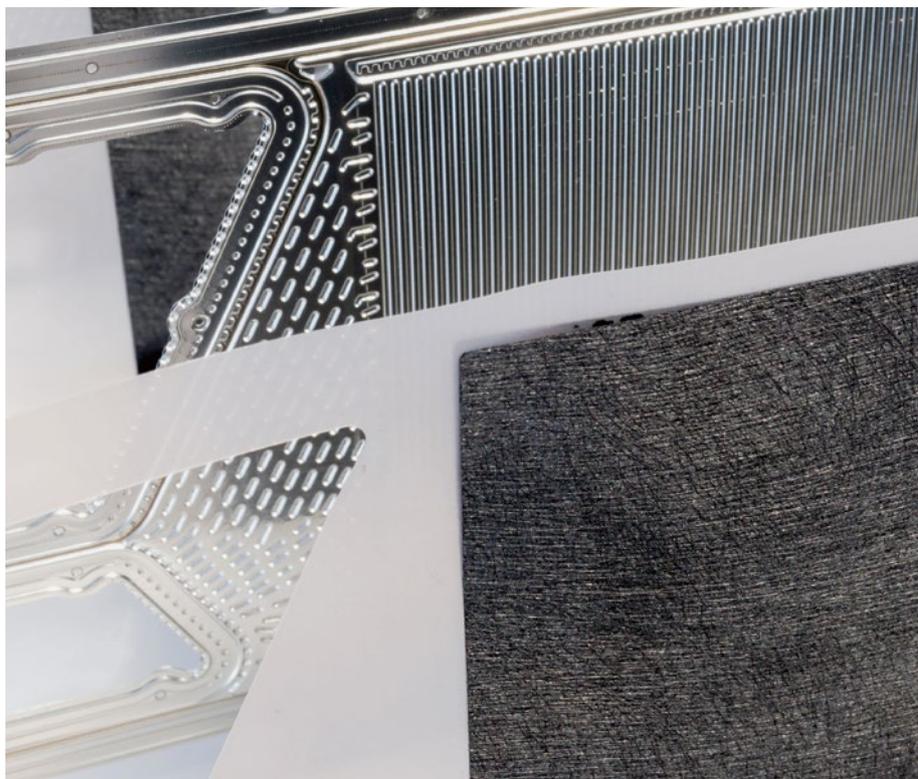


BILD 2 Herausforderung Thermomanagement: Stack-integrierte Kühlung
(© Tom Kirkpatrick | BMW)



mehr Leistung
spart 30% der Lüfter-Antriebsleistung
(Uni Karlsruhe 2013)



weniger Lärm



weniger Verbrauch



CLEANFIX.ORG
Umschalt-Ventilatoren zur Kühlerreinigung



www.youtube.com/cleanfixgf



BILD 3 Herausforderung Systemintegration: Numerische Verfahren müssen weiterentwickelt werden (© Tom Kirkpatrick | BMW)

sich deutlich von den in Verbrennungsmotoren bekannten Kühlsystemen unterscheiden:

- Die für die Kühlung genutzten Kanäle stehen direkt mit den Bipolarplatten im Stack in Kontakt, **BILD 2**, sodass die elektrische Leitfähigkeit des Kühlmittels auf maximal $5 \mu\text{S}/\text{cm}$ beschränkt werden muss, um Kurzschlüsse zu vermeiden.
- Die Wärmemengen im Stack müssen bei sehr geringen Temperaturdifferenzen (Einlass zu Auslass) von weniger als 10 K übertragen werden, was sehr hohe Kühlmittel-Fließgeschwindigkeiten erfordert – und zu hohen Scherkräften im Kühlmittel führt.

Standardisierte Entwicklungswerkzeuge für die Brennstoffzellenkühlung, die auch das Alterungsverhalten des Kühlmittels und dessen Auswirkung auf Kühlsystemkomponenten berücksichtigen, stehen derzeit nicht zur Verfügung. Im Rahmen eines von TheSys – einem mittelständischen Unternehmen aus Kirchentellinsfurt – initiierten FVV-Vorhabens soll daher eine Prüfmethode entwickelt werden, mit der die Serientauglichkeit von Kühlmitteln und Werkstoffen beurteilt werden kann. Wichtigstes Element ist die Erstellung eines Emulators, mit dem das thermische Verhalten bereits in einem frühen Entwicklungsstadium realitätsnah nachgebildet werden kann. Damit leistet das Vorhaben einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung standardisierter Verfahren und somit zur Senkung der Entwicklungskosten von Brennstoffzellensystemen.

3 AUSBLICK AUF WEITERE FORSCHUNGSVORHABEN

Bei klassischen Verbrennungsmotoren ist es gelungen, den schnellen Transfer von Ergebnissen der anwendungsorientierten Forschung, wie sie durch die FVV initiiert wird, in die industrielle Praxis zu sichern. Eine wesentliche Rolle spielen dafür die ebenfalls in Forschungsvorhaben entwickelten und frei verfügbaren Simulationsverfahren [2]. Insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU) profitieren davon, dass Ideen aus der vorwettbewerblichen Gemeinschaftsforschung rasch auf Umsetzung hin getestet werden können.

Für die Brennstoffzelle als weniger reife Technologie stehen solche Entwicklungswerkzeuge nur eingeschränkt zur Verfügung, auch weil nicht alle Wirkzusammenhänge hinreichend erforscht sind. Daher will die neue Planungsgruppe „Brennstoffzelle“ das Thema Simulation zu einem ihrer Schwerpunkte machen. Besonders vielversprechend sind alle Ansätze, die

- kritische Subsysteme wie das Befeuchtungsmanagement der Membranen numerisch abbilden. Der Befeuchtung kommt eine Schlüsselrolle zu, weil bei unzureichender lokaler Feuchte die katalytisch wirksamen Oberflächen beschädigt werden, ein Übermaß an lokalem Wasser jedoch die Reaktionen an der Membran behindern können.
- eine einfache, schnell durchzuführende Simulation des Systemverhaltens ermöglichen. Insbesondere die grundlegende Entwicklung von Komponenten

mit dem Ziel der Kostensenkung könnte davon profitieren, dass das äußerst komplexe System „Niedertemperatur-Brennstoffzelle“ mit seinen zahlreichen Wechselwirkungen numerisch abgebildet werden kann.

- das Verhalten eines Brennstoffzellensystems in einem elektrifizierten Antriebsstrang abbilden. Aufgrund des transienten Verhaltens der Brennstoffzelle werden Fahrzeuge immer auch einen elektrischen Speicher an Bord haben. Die Abstimmung aller Antriebskomponenten kann daher einen wesentlichen Einfluss auf die Wettbewerbsfähigkeit der Brennstoffzelle haben.

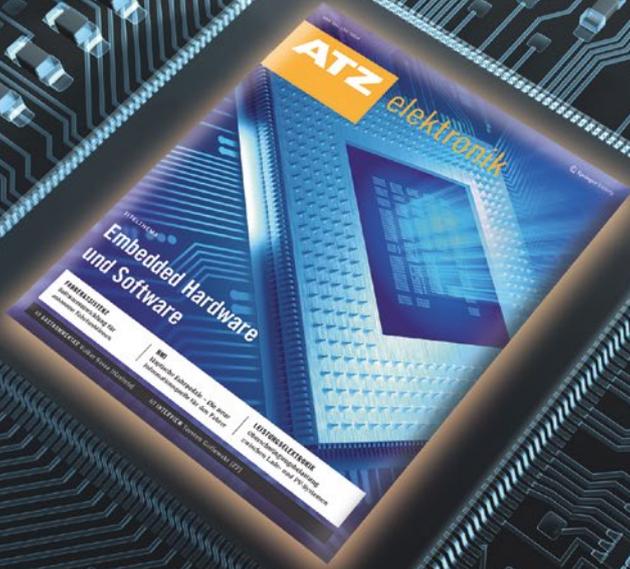
Es liegt im prinzipiellen Wesen jeglicher Art von Forschung, dass Ergebnisse in der Regel neue wissenschaftliche Fragestellungen aufwerfen. Deshalb kann dieser Beitrag nicht alle möglicherweise in der Zukunft relevanten Forschungsfelder abdecken. Es ist jedoch sicher zu erwarten, dass die Ergebnisse anwendungsorientierter, vorwettbewerblicher Gemeinschaftsforschung der Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands auf dem Feld der Brennstoffzelle ähnlich zugutekommen wie dies bei Verbrennungsmotoren und Turbinen seit mehr als 60 Jahren der Fall ist.

LITERATURHINWEISE

[1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Klimaschutzplan 2050. Berlin, 2016

[2] FVV (Hrsg.): MotorenMenschen: Schwerpunkte aktueller Forschung an Motoren und Turbinen. Frankfurt am Main, 2016

MIT DEM NEUESTEN WISSEN SCHLIESST SICH DER KREIS.



© 2017 creative republic / image / stock



**FÜHRENDES FACHWISSEN EINSCHALTEN.
WISSEN, WELCHE ELEKTRONIK DIE AUTOWELT BEWEGT.**

Elektronik ist der Motor für Innovationen im Automobilbau. Die Hintergründe dazu liefert **ATZ elektronik**. Mit dem neusten Wissen über Elektromobilität, Hochleistungselektronik, Testing, Human Machine Interface, Consumer Electronic für Automotive, Energiemanagement. Und allem, was Automobilentwickler sonst noch elektrisiert. Auf wissenschaftlichem Niveau und in einzigartiger Informationstiefe.

Mehr unter www.mein-fachwissen.de/ATZe

ATZ elektronik