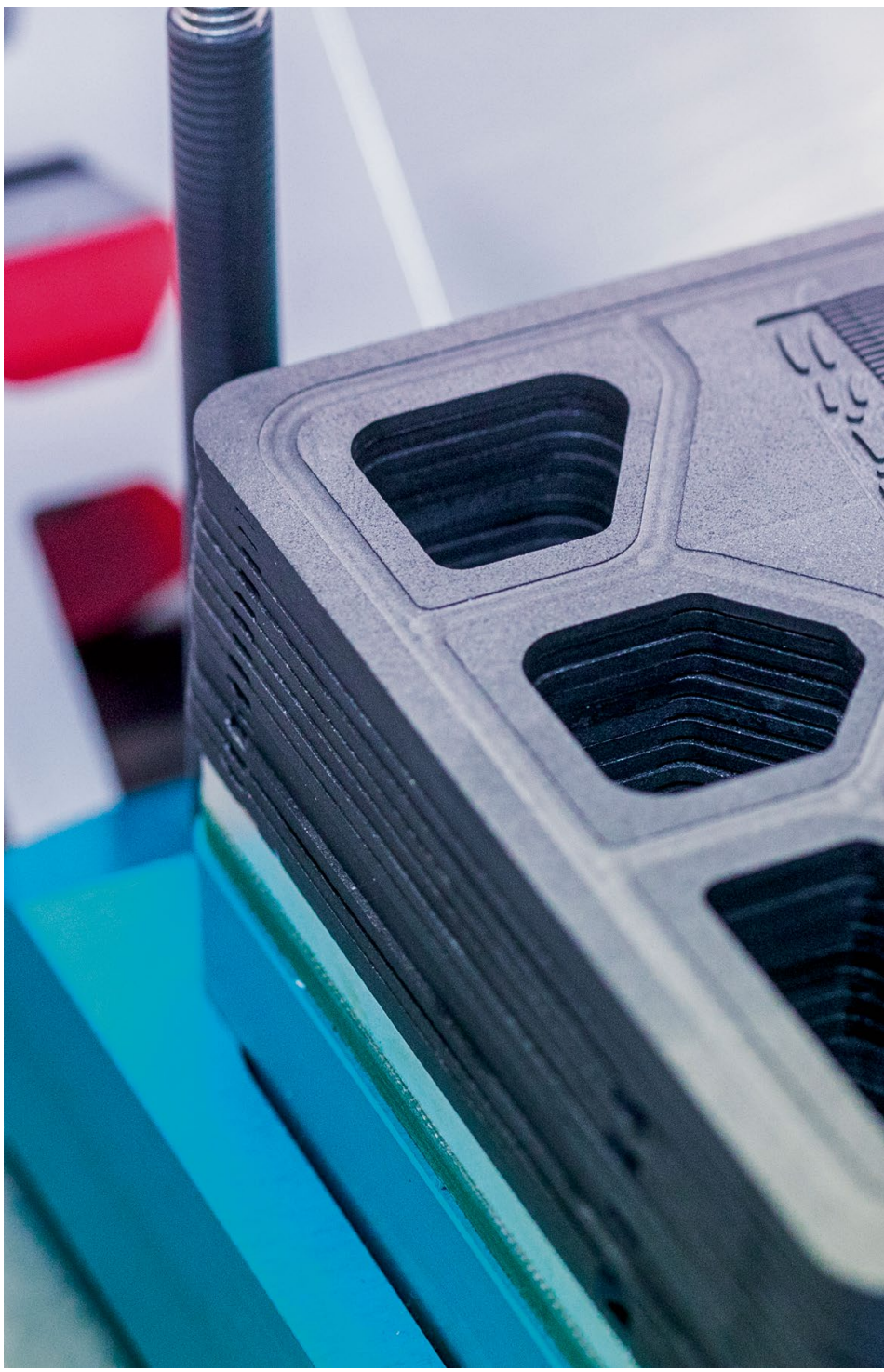
Forschungen für effiziente und wirtschaftliche Brennstoffzellen

Zum breitgefächerten Mix künftiger Konzepte für die Defossilisierung von Industrie und Verkehr gehört auch die Energiewandlung mittels Brennstoffzellen. Die von der FVV initiierten Forschungsprojekte liefern wichtige Grundlagen für die Entwicklung von Brennstoffzellensystemen, die hohe Effizienz und Wirtschaftlichkeit bieten und neue Anwendungspotenziale erschließen.

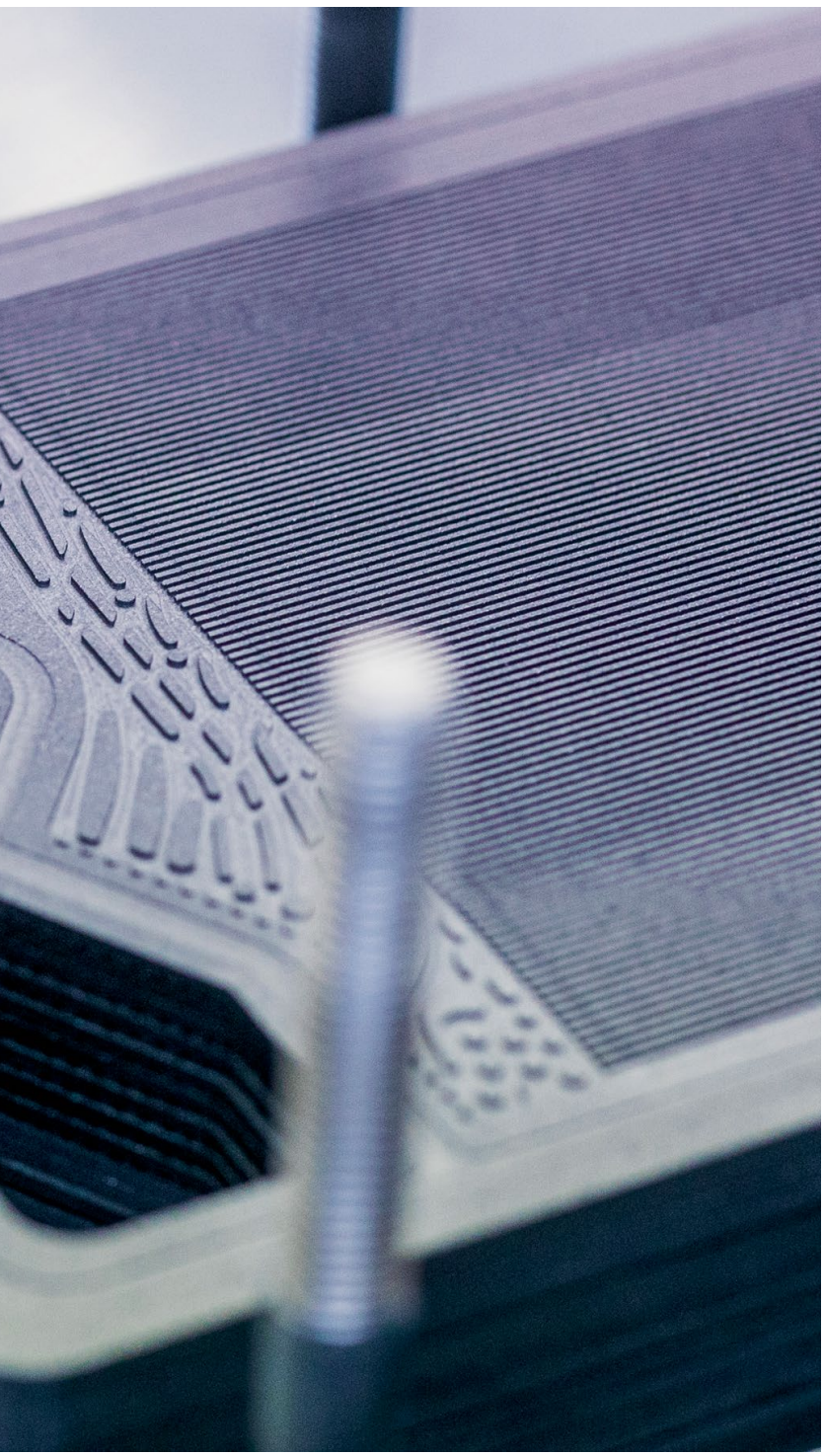


1 VIELFÄLTIGE EINSATZMÖGLICHKEITEN

Brennstoffzellen als Energiewandler können dazu beitragen, die Treibhausgasemissionen in Industrie und Verkehr weiter zu reduzieren. Das Anwendungsspektrum im Verkehrssektor umfasst dabei unter anderem Antriebe für Pkw und Nfz im On- und Off-Highway-Bereich. In der Industrie werden Brennstoffzellen insbesondere für die stationäre Stromerzeugung eingesetzt. Die Forschungsprojekte der FVV beschäftigen sich daher mit der Vielzahl unterschiedlicher Systemkomponenten, um Unternehmen dabei zu unterstützen, für die jeweiligen Einsatzbedingungen anforderungsgerecht abgestimmte Brennstoffzellensysteme entwickeln zu können. Die Forschungsumfänge erstrecken sich beispielsweise auf das Wasserstoff-, Luft- und Thermomanagement der Zelle, die Material- und Bauteileigenschaften sowie die Optimierung auf Stack- und Systemebene.

2 TECHNOLOGIEVERGLEICH

In den vergangenen Jahren hat sich das Einsatzspektrum von Brennstoffzellen



© FVV

STIMMEN AUS DER FVV

© Mann+Hummel

Dr. Michael Harenbrock ist Principal Expert Electric Mobility bei der Mann+Hummel GmbH.
„In der FVV arbeiten die Forschenden an Brennstoffzellenthemen mit hoher Relevanz für die Industrie. Hierbei setzen wir ein Programm um, bei dem die einzelnen Projekte ineinandergreifen – und sich so aus vielen einzelnen Teilen das Gesamtbild ergibt."

© Traton

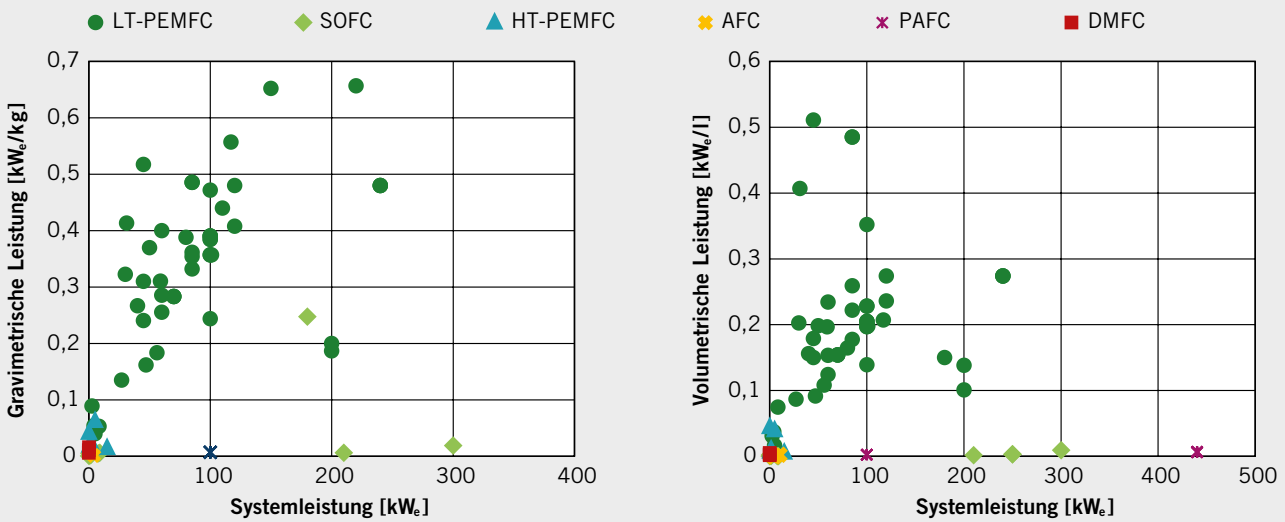
Dirk Weberskirch ist Mitarbeiter im Bereich Advanced Engineering Energy Storage bei der Traton R&D Germany GmbH und koordiniert die Expertengruppe Brennstoffzelle des FVV e. V.
„Die vorwettbewerbliche Gemeinschaftsforschung der FVV bietet die ideale Plattform sowohl für mittelständische als auch für Industrieunternehmen, die vielfältigen grundsätzlichen Herausforderungen bei der Auslegung und dem Betrieb von Brennstoffzellensystemen wissenschaftlich anzugehen."

© FVV

Jana Müller ist Projektmanagerin des FVV e. V. und Expertin für Brennstoffzellensysteme und -komponenten.
„Schon seit 2017 ist die Brennstoffzelle als Energiewandler mit hohem Wirkungsgrad fester Bestandteil der FVV-Forschungsstrategie. Auch künftig werden wir wichtige Forschungsprojekte initiieren, die Unternehmen und Institute dabei unterstützen, die Vision der CO_2-Neutralität und der Zero-Impact-Emissionen durch effiziente Brennstoffzellensysteme Realität werden zu lassen."

http://www.fvv-net.de

Science for a moving society



Hinsichtlich der volumetrischen und gravimetrischen Leistung weisen LT-PEMFC-Systeme im Vergleich zu anderen Technologien wesentlich höhere Werte auf und eignen sich daher am besten für gewichtssensible Anwendungen

BILD 1 Marktreife unterschiedlicher Brennstoffzellensysteme im Jahr 2024 nach ihrer volumetrischen (links) und gravimetrischen Leistung (rechts) (© ICE-2)

sukzessive verbreitert. Daraus resultieren neue Anforderungen an das Brennstoffzellensystem, die eine passgenaue Ausrichtung der Technologieentwicklung erforderlich machen. Auch ergeben sich neue Perspektiven für mögliche Kombinationen von Brennstoffzellentyp und Anwendung, die geprüft werden müssen, um die Vielseitigkeit und Flexibilität der einzelnen Technologien voll auszuschöpfen.

Mit der von der Jülicher Systemanalyse (ICE-2) des Forschungszentrums Jülich durchgeführten FVV-Studie „Technologievergleich Brennstoffzelle“ [1] wurde ein methodischer Rahmen entwickelt, mit dem sich anwendungsszenariobasierte vergleichende Bewertungen solcher Kombinationen schnell und einfach durchführen lassen. Das bietet Unternehmen die Möglichkeit, schon in der Konzeptphase eines Brennstoffzellenprojekts abzuschätzen, welche Technologie für die jeweilige Aufgabenstellung am zielführendsten einzusetzen ist. Ausgangspunkt der Studie bildete eine umfassende Markt- und Literaturrecherche, ergänzt durch Experteninterviews. Ein im Forschungsprojekt entwickeltes Pugh-Matrix-Werkzeug ermöglicht die kontextbasierte Visualisierung der Datensammlung und die Implementierung zusätzlicher Benutzerfunktionen.

Zu den wichtigsten Leistungsindikatoren (Key Performance Indicators, KPIs) bei Brennstoffzellen gehören Systemwirkungsgrade sowie die gravimetrische Leistung [kW/kg] und die volumetrische Leistung [kW/l], **BILD 1**. Wie der Technologievergleich zeigt, weisen Niedertemperatur-Polymerelektrolytmembranbrennstoffzellen (Low Temperature Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells, LT-PEMFCs) und Festoxid-Brennstoffzellen (Solid Oxide Fuel Cells, SOFCs) in Bezug auf die anwendungsspezifischen Leistungsparameter im Vergleich zu anderen Konzepten erhebliche Vorteile auf. Diese Systeme decken bereits ein breites Spektrum heutiger Anwendungen ab und könnten daher weiterhin zu den wichtigsten Brennstoffzellentechnologien gehören. Forschungsprogramme für die LT-PEMFC-Technologie adressieren sowohl Anwendungen im Verkehr als auch in der stationären Stromerzeugung, **BILD 2**. Die netzunabhängige Stromversorgung von Großanlagen ist nach wie vor der wichtigste Anwendungsbereich von Schmelzkarbonatbrennstoffzellen (Molten Carbonate Fuel Cells, MCFCs). Die Notwendigkeit, der Kathode von MCFCs CO_2 zuzuführen, macht diese Technologie für Projekte zur Kohlenstoffabscheidung und somit insbesondere für die Schifffahrt attraktiv. Wie bei der SOFC wird dabei eine optimale Wärmeintegration angestrebt. Bei der Phosphorsäurebrennstoffzelle (Phosphoric Acid Fuel Cells, PAFCs) ist die Systemintegration einer der wichtigsten Aspekte – abgesehen von der potenziellen Markterweiterung auf die Schifffahrt. Direktmethanolbrennstoffzellen (Direct Methanol Fuel Cells, DMFCs) stehen heute weniger im Fokus, was auf die Herausforderungen des Methanolschlupfs, der Lebensdauer und der Kosten zurückzuführen ist. Die Forschung zu alkalischen Brennstoffzellen (Alkaline Fuel Cells, AFCs) konzentriert sich auf membranbasierte Elektrolyte, Elektrokatalysatoren sowie die Verbesserung der CO_2-Toleranz.

Beim Vergleich der aktuellen KPIs mit anwendungsspezifischen Anforderungen wurden MCFCs für die Schifffahrt und Hochtemperatur(HT)-PEMFCs für netzgebundene stationäre Anwendungen als in Zukunft realisierbar identifiziert, sofern angemessene Verbesserungen hinsichtlich einzelner KPIs erzielt werden. Obwohl es sich bei beiden Technologien nach der Technologiebewertung der Studie um Lösungen mit mittlerer Leistungsfähigkeit handelt, könnte jedes dieser Systeme anwendungsbezogene Vorteile aufweisen, die sie gegenüber anderen Brennstoffzellensystemen begünstigt. Vor der Weiterentwicklung dieser Systeme sollte daher das Potenzial der Leistungsverbesserung genauer durchleuchtet werden.

3 BRENNSTOFFZELLEN-REFERENZSYSTEM

Sowohl an Hochschulen als auch in der Industrie sind Brennstoffzellensysteme Gegenstand intensiver Forschung. Diese Arbeiten liefern wertvolle Erkenntnisse, die den technischen Fortschritt weiter vorantreiben, führen jedoch auch dazu, dass viele Ergebnisse durch Patente oder Vergleichbares geschützt sind. Damit ist ein vorwettbewerblicher Austausch – insbesondere von und mit Forschungseinrichtungen – nur eingeschränkt oder gar nicht möglich. Im FVV-Projekt „Referenzsystem mit generischem Brennstoffzellen-Stapel“ [2] soll daher ein Brennstoffzellensystem mit Polymerelektrolytstack (Proton Exchange Membrane, PEM) aufgebaut werden, mit dessen Hilfe die vorwettbewerbliche Forschung erleichtert und der Austausch von Informationen ermöglicht wird. Die vom Institut für Angewandte Wasserstoffforschung, Elektro- und Thermochemische Energiesysteme (H2Ohm) in der Forschungsgruppe Systeme zur Wasserstoffnutzung in stationären Anwendungen in der Energietechnik der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm und vom Institut für Automobilforschung der Technischen Universität Chemnitz gemeinsam durchgeführten Arbeiten bauen auf dem FVV-Projekt „Generischer Brennstoffzellenstapel“ auf. Dort wurde ein entsprechender Stack entwickelt, der im aktuellen Projekt durch die notwendigen Subsysteme (Balance of Plant) zu einem Brennstoffzellengesamtsystem erweitert wird.

Das Konzept des Brennstoffzellensystems, **BILD 3**, beinhaltet einen PEM-Brennstoffzellenstapel (Leistung 100 kW), eine Luftversorgung, eine Wasserstoffrückführung, einen Kühlkreislauf und elektrische Anschlüsse. Es wird als Laborsystem ausgelegt, das zwar nicht für den Einsatz im Fahrzeug vorgesehen ist, jedoch im automobiltypischen Leistungsspektrum betrieben werden kann. Ein entscheidender Faktor für einen hohen Nutzungsgrad des projektierten Brennstoffzellensystems und eine Vergleichbarkeit der erzielten Ergebnisse unterschiedlicher Forschungsstellen ist eine detaillierte Systembeschreibung. Diese wird daher Parameter wie Leistung, Betriebsbedingungen, Durchflusskonfiguration, Gas- und Flüssigkeitsspezifikationen, Leckraten und Stack-Schnittstellen umfassen. Darüber hinaus werden Eigenschaften wie Betriebsgrenzen für Druck, Massenstrom, Temperatur, Stackspannung sowie Druckverluste, Wärmeerzeugung, Wasserproduktion, Inertisierungsraten sowie Betriebsrichtlinien wie An- und Abfahren des Systems, Normalbetrieb, Stand-by, Lagerung, Spülen und Entleeren definiert.

Die Forschungsinhalte umfassen neben der Auslegung und Beschreibung der Hardwarekomponenten auch die Entwicklung der Software für die Steuerung des Brennstoffzellensystems. Damit Aufbau und Betrieb leicht realisierbar sind, soll das System bevorzugt aus kommerziell erhältlichen Komponenten mit einem ausreichend hohen technischen Reifegrad bestehen. Es soll aber auch flexibel konfigurierbar sein, um vielfältige Forschungen unterschiedlicher Ausrichtungen zu ermöglichen. Ein digitaler Zwilling des Brennstoffzellensystems erleichtert dabei die System- und Komponentenauslegung, **BILD 4**. Der modulare Aufbau gewährleistet den einfachen Austausch einzelner Bausteine in der Simulation. Das Projekt ist Anfang 2025 gestartet und soll bis Ende 2026 laufen.

4 LEBENSDAUERSIMULATION VON IONENAUSTAUSCHFILTERN

Um die in der Brennstoffzelle entstehende Wärme effizient abführen zu können, ist das Durchströmen der Bipolarplatten mittels integrierter Kühlkanäle Stand der Technik. Um Kurzschlüsse zu vermeiden, kommen dielektrische Kühlmedien zum Einsatz, die sich durch eine geringe elektrische Leitfähigkeit auszeichnen. Über die

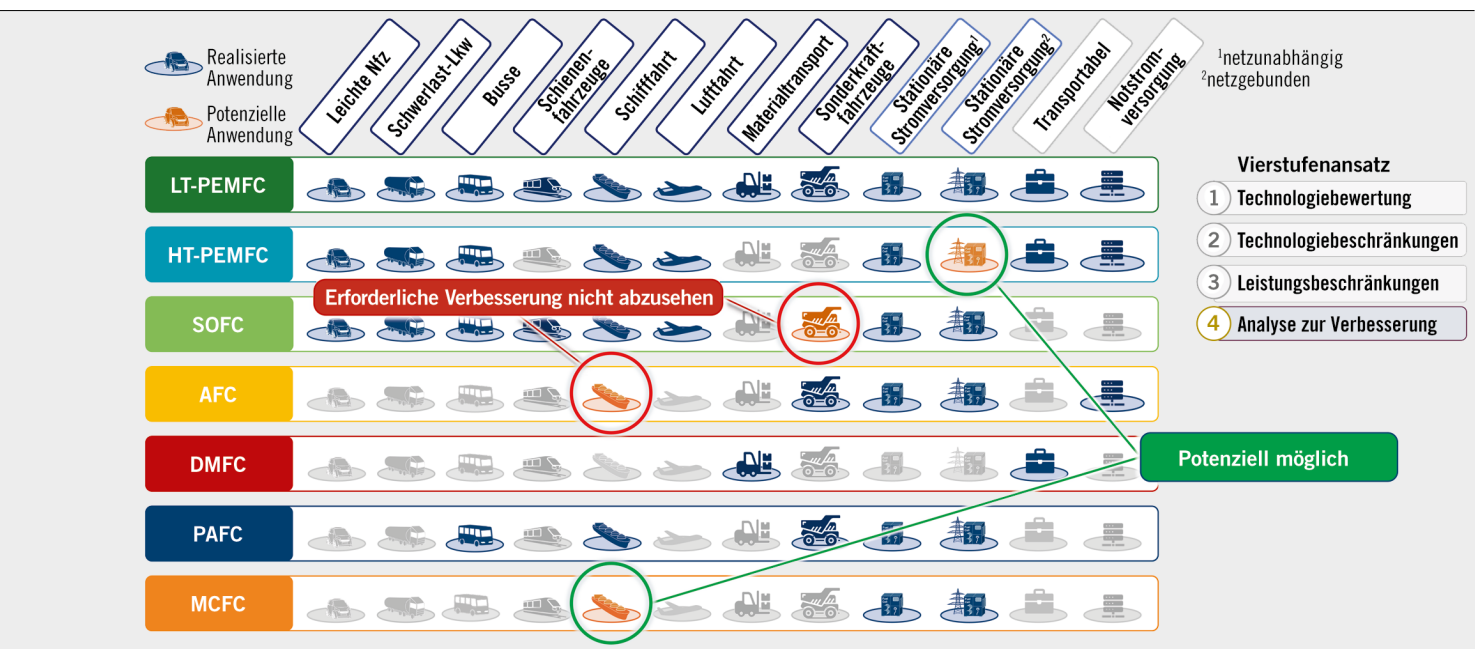


BILD 2 Heutige und künftige Einsatzbereiche von Brennstoffzellensystemen ermittelt aus dem Technologievergleich [1] und vier identifizierte potenzielle Technologieanwendungspaarungen (© ICE-2)

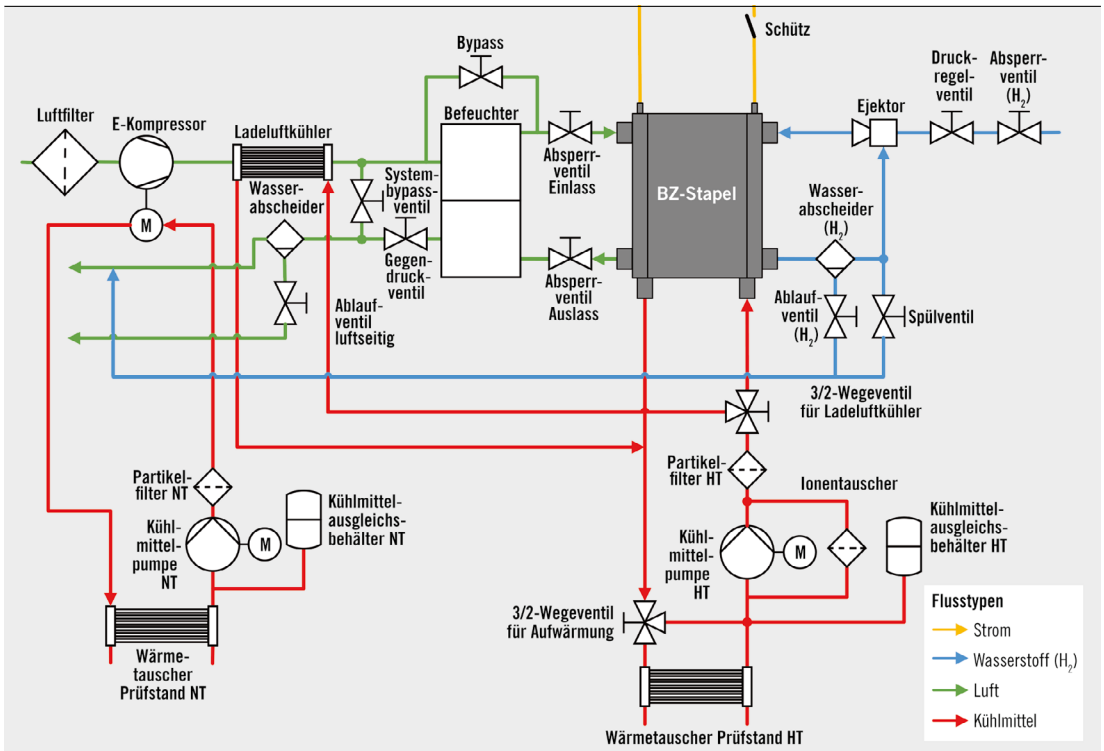


BILD 3 Konzept des in [2] entwickelten Brennstoffzellen(BZ)-Systems inklusive Balance of Plant (vereinfachte Darstellung); HT-/NT-Kühlung = Hochtemperatur/Niedertemperaturkühlung (© H2Ohm)

Laufzeit werden Ionen aus den Komponenten des Kühlkreislaufs ausgewaschen, die das Kühlmittel verunreinigen und seine Leitfähigkeit erhöhen können. Unter anderem können die Zusammensetzung des Kühlmittels, dessen Temperatur, die Strömungsgeschwindigkeit und die verwendeten Materialien diesen Effekt beeinflussen. Um eine dauerhaft geringe Leitfähigkeit sicherzustellen, werden Ionenaustauschfilter mit einer definierten Kapazität in die Kühlkreisläufe integriert. Allerdings sind die genauen Mechanismen, die zur Erhöhung der Leitfähigkeit führen, bisher unbekannt oder nicht quantifiziert.

Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) im Rahmen der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) geförderte Forschungsprojekt „Lebensdauersimulation von Ionenaustauschfiltern“ [3] verfolgt das Ziel einer wissensbasierten Prognose der Lebensdauer des Ionen-

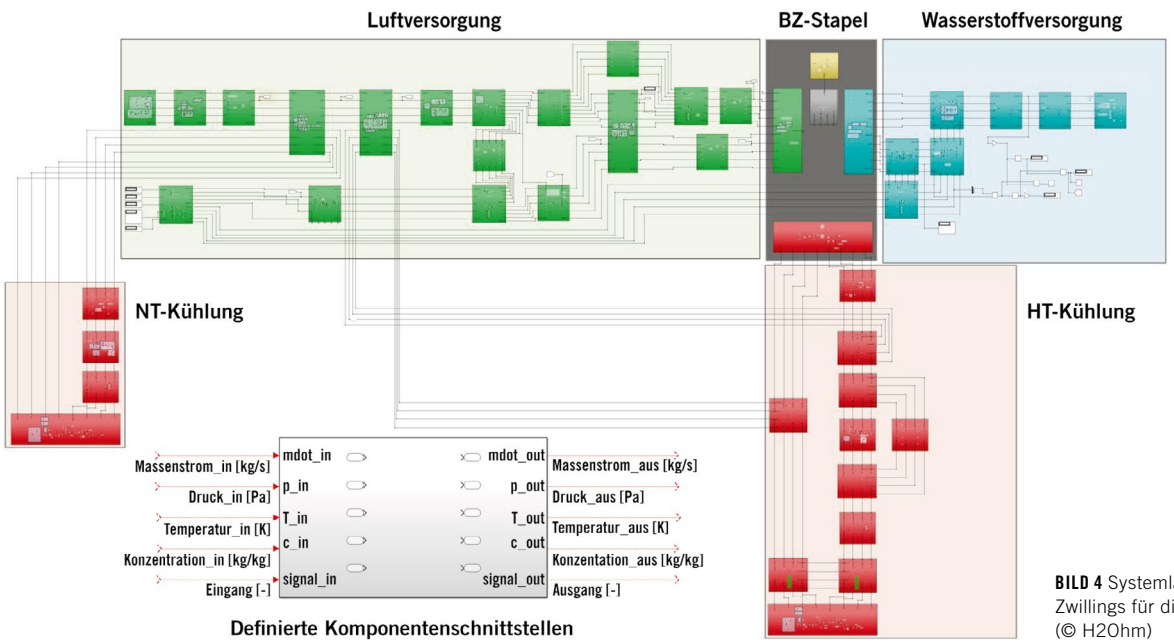


BILD 4 Systemlayout des digitalen Zwillings für die Simulationen (© H2Ohm)

austauschfilters. Dafür wurde ein Simulationsmodell erstellt, das den Einfluss der verschiedenen Parameter wie Temperatur, Kühlmittelzusammensetzung, Strömungsgeschwindigkeit und verwendete Materialien berücksichtigt. Die Forschungen wurden am Lehrstuhl für Thermodynamik mobiler Energiewandlungssysteme (TME) der RWTH Aachen und von OWI Science for Fuels durchgeführt.

Um die grundlegenden Einflussparameter des Ionenaustrags zu quantifizieren, mussten zu Beginn der Arbeiten die Rahmenbedingungen für die Versuche festgelegt werden. Nach einigen Vortests wurde als Kühlmittel eine Mischung aus Ethylenglykol und vollentsalztem Wasser (50/50 Vol.-%) eingesetzt. Die statischen Auslagerungsversuche mit Werkstoffen wie Polypropylen, Aluminiumguss und Stahl erfolgten bei unterschiedlichen Temperaturen. Diese dienten zur Ermittlung der Temperaturabhängigkeit des Ionenaustrags. Des Weiteren wurden Tests an Einzelkomponenten unter laminaren und turbulenten Strömungsbedingungen durchgeführt. Abschließend erfolgte der Aufbau eines systemähnlichen Kühlkreislaufs, um den Einfluss der Strömungsgeschwindigkeit auf den Anstieg der Leitfähigkeit zu messen, **BILD 5**.

Auf Basis der Erkenntnisse aus Literaturrecherche und physischen Tests wurde das Modell zur Berechnung der Ionenstärke entwickelt. Mit dessen Hilfe können individuelle Kühlmittelkreisläufe aufgebaut und Einflüsse wie die Materialauswahl, die Betriebstemperatur, die Strömungsgeschwindigkeit und die Kühlmittelzusammensetzung auf die Lebensdauer des Ionentauschers abgeschätzt werden, **BILD 6**. Eine Materialdatenbank ergänzt das Simulationsmodell und unterstützt die zielgerichtete Materialauswahl bei der Konzeption eines Kühlsystems. Integrierte Werkzeuge sollen künftig eine Hilfestellung bei der Entwicklung, Auslegung und Optimierung von Ionenaustauschfiltern geben.

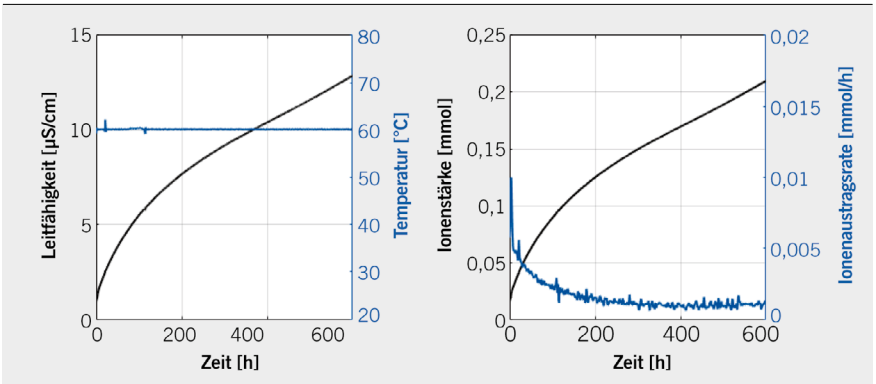


BILD 5 Messung des Anstiegs der Leitfähigkeit (links) und Berechnung der Ionenstärke sowie Bestimmung der Ionenaustragsrate (Gradient der Ionenstärke) (rechts) (© TME)

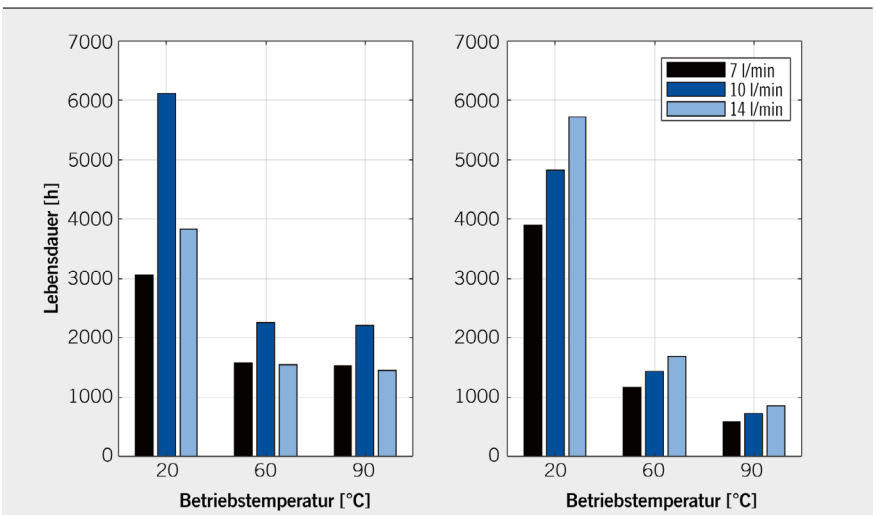


BILD 6 Lebensdauer eines typischen Ionenaustauschfilters bei 20, 60 und 90 °C Kühlmitteltemperatur und 7, 10 und 14 l/min Durchflussmenge als Ergebnis der datenbasierten Simulation (links) und der rein physikalischen Ermittlung (Diffusionsgesetz) (rechts) (© TME)

5 FAZIT

Brennstoffzellen könnten eine Schlüsselrolle bei der Defossilierung des Verkehrs und der Industrie spielen. Für den marktbreiten Einsatz dieser Technologie sind einige Entwicklungshürden zu meistern. Die FVV schafft mit den Ergebnissen der Forschungsprojekte die Voraussetzungen für eine anwendungsoptimierte Entwicklung künftiger Brennstoffzellen. Die Ergebnisse der Forschungen ermöglichen Unternehmen jeder Größe, vor allem jedoch kleinen und mittelgroßen Unternehmen (KMU), die Effizienz und Wirtschaftlichkeit künftiger Brennstoffzellen zu steigern und deren Einsatzspektrum zu vergrößern.

LITERATURHINWEISE

[1] FVV-Forschungsvorhaben „Vergleich unterschiedlicher Brennstoffzelltechnologien unter Berücksichtigung verschiedener Anwendungen, KPIs, Kraftstoffe und Topologien.“ Projektleitung: Christian Altenhofen (Gamma Technologies GmbH). Wissenschaftliche Leitung: Univ. Prof. Dr.-Ing. Detlef Stolten (ICE-2, Forschungszentrum Jülich)

[2] FVV-Forschungsvorhaben „Auslegung eines Referenzsystems mit dem generischen Brennstoffzellenstapel der FVV sowie Darstellung der wichtigsten Betriebsparameter und eines Referenzzyklus.“ Projektleitung: Dirk Weberskirch (Traton R & D Germany GmbH). Wissenschaftliche Leitung: Prof. Dr. Florian Uhrig (H2Ohm, TH Nürnberg) und Prof. Dr. Thomas von Unwerth (Institut für Automobilforschung, TH Chemnitz)

[3] FVV-Forschungsvorhaben „Entwicklung und Validierung eines Simulationsmodells zur Vorhersage der Lebensdauer eines Ionenaustauschfilters mit einer definierten Kapazität unter typischen Betriebsbedingungen.“ Projektleitung: Dr. rer. nat. Michael Harenbrock (Mann+Hummel GmbH). Wissenscftliche Leitung: Prof. Dr.-Ing. Stefan Pischinger (TME, RWTH Aachen) und Dr. Wilfried Plum (OWI)

READ THE ENGLISH E-MAGAZINE
Test now for 30 days free of charge:
www.mtz-worldwide.com