

# Testen von Brennstoffzellen für den automobilen Einsatz

Die Antriebstechnologie für Fahrzeuge, insbesondere von Personenkraftfahrzeugen, unterliegt derzeit einer hohen Entwicklungsdynamik. Diese Dynamik wird getrieben von den sich verschärfenden politischen Vorgaben zur Verringerung von CO<sub>2</sub> Emissionen, sowie von der absehbaren Endlichkeit fossiler Energieträger. Dies führt zu verstärkten Anstrengungen bei der Entwicklung und Markteinführung elektrischer Antriebskonzepte. Zum einen umfasst das die reine batteriebasierte Traktion (battery electric vehicle, BEV) und zum anderen den Brennstoffzellenantrieb (fuel cell electric vehicle, FCEV).

**W**ährend das kurzfristig realisierbare BEV entscheidende Einschränkungen wie verminderte Reichweite und nicht vorhandene Schnell-Ladefähigkeit aufweist, kann nur das FCEV vollständig nutzerkonforme Fahrzeugeigenschaften abbilden. Der breiten Markteinführung stehen jedoch derzeit noch Kostenprobleme und eine nur in Ansätzen vorhandene, nachhaltige Wasserstoffversorgungs-Infrastruktur gegenüber. Aufgrund der perspektivischen Bedeutung von FCEV existieren bei allen führenden OEM umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsprogramme für auf Polymer-Elektrolyt-Membranen (PEM) basierende Brennstoffzellenantriebe, die die Markteinführungen von FCEV im Zeitraum zwischen 2015 und 2020 zum Ziel haben. Nachfolgend wird ein systematischer Überblick über entsprechend notwendige Test- und

Prüfaufgaben für Brennstoffzellenstapel und – Systeme sowie die zugehörige Prüfstandstechnik gegeben.

Ein Brennstoffzellensystem besteht aus dem Stapel, allen notwendigen Komponenten zur Zuführung und Konditionierung von Wasserstoff und Luft einschließlich deren Re-Konditionierung, der Systemdruckregelung und dem Kühlsystem. Diese Komponenten werden unter dem Begriff „balance-of-plant“ (BoP) zusammengefasst. Der Stapel – das Basiselement des Brennstoffzellensystems – besteht aus einer Aneinanderreihung elektrisch seriell verschalteter Einzelzellen, den sogenannten Membrane-Elektrode-Assemblies (MEA). Abhängig vom Design der MEA und des Stapels ist eine Befeuchtung von Anoden- und / oder Kathodengas notwendig. Mittelbar zum Brennstoffzellensystem gehören außerdem ein Wasserstoffspeicher sowie ein DC-DC-Wandler zur Übertragung der elektrischen Energie in das Antriebssystem.

## Für das Testen der verschiedenen Bestandteile eines Brennstoffzellensystems gibt es folgende Prüfaufgaben:

- » MEA (Zellen) Test
- » Stapeltest
- » Test von BoP-Komponenten
- » Systemtest

Prinzipiell muss dabei der Prüfstand die Konditionierung der Anoden- und Kathodengase, die Abgasbehandlung und Systemdruckregelung, die Kühlung sowie die elektrische Belastung durch den Antrieb simulieren. Für Validierungstests sind zusätzlich noch Umgebungsbedingungen wie Temperatur, Klima, Vibration oder Lage zu variieren.

## Die Prüfstandsbedien- und -automation umfasst neben der Schnittstelle zum Versuchstechniker in Form einer windowsbasierten Softwareoberfläche folgende Aufgaben:

- » Datenerfassung
- » Regelfunktionen
- » Sicherheitssystem
- » Automatische Ablaufsteuerung

An derartigen Prüfständen existiert vor allem durch das Vorhandensein von Wasserstoff und Luft ein hohes Gefahrenpotential. Dem Sicherheitssystem und dem zugrundeliegenden Sicherheitskonzept kommt daher insbesondere bei automatischen Prüfabläufen eine hohe Bedeutung zu. Prüflinge werden zumeist in geschlossenen Prüfumgebungen (Prüfkammer) angeordnet, die mit überwachten Absaugeinrichtungen versehen sind.

Systemteststände widmen sich vorrangig der Optimierung von Systemregelkreisen und der Ableitung von Diagnosestrategien oder dienen der Durchführung von Validierungs- und Abnahmeversuchen sowie dem Lieferantenbenchmark. Die meisten der im obigen Prüfstands-Systemschema aufgeführten Komponenten sind bereits Bestandteil des Brennstoffzellensystems. Die Verfahrenstechnik kann daher häufig deutlich reduziert werden.

## Der Prüfstand erfüllt folgende Aufgaben:

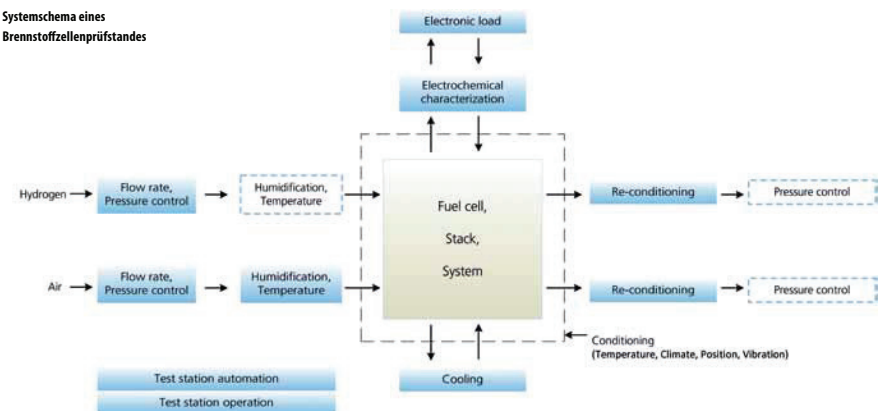
- » Simulation der Wasserstoffversorgung (Vordruckregelung, Temperierung)
- » Abbildung des Fahrzeugkühlsystems
- » Nachbildung des elektrischen Antriebsstranges über eine elektrische Last
- » Medienkonditionierung (Ansaugluft, Kühlmedium)
- » Klimasimulation
- » Vibration und Lageänderung

Das Steuergerät des Brennstoffzellensystems bildet die Schnittstelle zur Prüfstandsautomatisierung. Über die Schnittstelle erfolgt der Austausch von Soll- und Istwerten, die Restbussimulation und die Übergabe von Status- und Diagnoseinformation.

Genau wie bei konventionellen Verbrennungsmotoren werden Brennstoffzellensysteme drehmomentgeführt. Hauptstellgrößen in Brennstoffzellensystemen sind dabei die Wasserstoffmenge und die Luftmenge. Neben den beiden Hauptstellgrößen existieren innerhalb des komplexen Regelungskonzeptes weitere interne Stellgrößen wie Systemdruck, Stapeltemperatur oder Zell- bzw. Stapelspannung. Die einzelnen für die

**FuelCon ist ein weltweit führender Anbieter von Test-, Fertigungs- und Diagnosesystemen.**

Systemschema eines Brennstoffzellenprüfstandes





nären Bereich von 5% sowie im dynamischen Betrieb von 10-15%. Diese Größen sind ausreichend genau für einen Fahrzeugeinsatz.

Wie bereits erwähnt, ist ein weiteres Anwendungsfeld von Systemtestständen die Ableitung und Testung von Diagnoseinformationen. Für eine modellgestützte Zustandsdiagnose des Brennstoffzellenstapels werden typischerweise Informationen aus den an MEA-Testständen aufgenommen Impedanzspektren verwendet. Aus reduzierten Informationen (Messungen an Einzelfrequenzen) lassen sich Informationen zum Wasserhaushalt innerhalb des Stacks, zu Katalysatorvergiftungen, zu Austrocknungseffekten oder zu Kontaktierungsproblemen gewinnen.

Häufig stehen an Systemtestständen Prüflinge zur Verfügung, die aufgrund unterschiedlicher Entwicklungsverantwortlichkeiten nicht mit allen Systemkomponenten ausgestattet sind. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, nicht nur die Restfahrzeugsimulation und Modellierung der Drehmoment-Stromkennlinie abzubilden, sondern auch nicht vorhandene Komponenten zu simulieren. Daher sind Systemprüfstände teilweise mit verfahrenstechnischen Komponenten aus Stapelprüfständen (z.B. Kathodengasversorgung) ausgestattet. Über eine mit der Prüfstandsautomatisierung gekoppelte Echtzeitsimulationsumgebung wird in diesem Fall anstelle des fehlenden Kompressors die Kathodengasversorgung mit dem Systemmodell des Kompressors überlagert und somit die fehlende Systembaugruppe mit ihren stationären und dynamischen Eigenschaften vom Teststand simuliert.

Eine wichtige Funktion der Restfahrzeugsimulation ist die Abbildung des Fahrzeugkühlkreislaufes, insbesondere unter Verwendung der Klimasimulation und der Medienkonditionierung. Wichtige Versuchstypen sind z.B. Kaltstarts und Heiß-Abstellversuche. Hier wird das Systemmodell des Fahrzeugkühlkreislaufes mit dem Kühlkreislauf des Systemteststandes überlagert.

In Systemtestständen können Brennstoffzellensysteme auf Verschwenkeinheiten zur dynamischen Lageänderung angeordnet werden. Die Verschwenkeinheiten gestatten eine automatische Lageänderung des gesamten Systems in zwei Koordinatenachsen. Bei den dadurch simulierten Bergab- Bergauffahrten bzw. Kurvenneigungen können z.B. Schwachstellen im Befeuchtungsmanagement des Brennstoffzellensystems aufgedeckt werden. ■

*Autor: Dipl.-Ing. Michael Bode, Vorstand FuelCon AG*

Regelstrategie relevanten Größen sind durch unterschiedliche dynamische Eigenschaften gekennzeichnet.

Typischerweise werden an Systemprüfständen Standardfahrzyklen über entsprechende Modelle in Stromanforderungen umgerechnet und die dazugehörigen Sollwerte an die elektrische Last übertragen. Das Steuergerät des Brennstoffzellensystems führt selbständig die oben genannten Stellgrößen nach, um den Lastanforderungen zu folgen.

Innerhalb dieser Tests erfolgt die Optimierung des Systemregelkreises. Neben der Optimierung von Regelkreisparametern werden zur Erreichung einer besseren Regelgüte Zustandsbeobachter und virtuelle Sensoren definiert. Ein Zustandsbeobachter ist ein System, das aus bekannten Eingangsgrößen (z. B. aus Stellgrößen oder messbaren Störgrößen) und Ausgangsgrößen (Messgrößen) eines beobachteten Referenzsystems nicht-messbare Größen (Zustände) rekonstruiert. Dazu bildet er das beobachtete Referenzsystem als Modell nach und beinhaltet einen Regler, der die messbaren Zustandsgrößen nachführt.

Ein weiteres Beispiel ist die beschriebene Realisierung eines virtuellen Stickstoffkonzentrationsensors im Anodenrezirkulationskreis. Hier wird die nicht messbare Stickstoffkonzentration aus einem Strömungsmodell entwickelt. Die Eingangsgrößen sind dabei die Druckdifferenz zwischen Eingang und Ausgang der Rezirkulationspumpe, die Pumpendrehzahl sowie Druck und Temperatur am Anodeneintritt. Die Validierung des Modells an einem Systemteststand ergab einen Fehler im statio-

## Apple integriert iOS ins Auto

**M**ercedes-Benz, Volvo und Ferrari machen noch in diesem Jahr den Anfang, andere Autohersteller wie BMW, Ford, Opel und Toyota werden folgen: Apple drängt mit seinem Betriebssystem iOS jetzt als „CarPlay“ auch in die Armaturenbretter der Autos. CarPlay bedeutet die Übertragung des Smartphones auf einen Touchscreen-Display an der Auto-Mittelkonsole. Mit einer Berührung oder einem Wort können die Nutzer Telefonanrufe tätigen, Karten nutzen, Musik hören und auf Nachrichten zugreifen. Gesteuert wird CarPlay über die ursprüngliche Benutzeroberfläche des Autos oder den Sprachsteuerungsknopf des Lenkrads. ■

bremsung muss schon erfolgen, bevor der Fußgänger die Straße betritt. Gleichzeitig muss die Wahrscheinlichkeit für unnötige Vollbremsungen extrem gering gehalten werden, damit die Fahrer das System als zuverlässig empfinden und benutzen. Dem Team an der TUM gelang es, die Messfehler bis auf wenige Pikosekunden (Billionstel Sekunden) zu reduzieren. Um ein Smartphone oder Handy zum Transponder zu machen, bedarf es laut TUM lediglich kleiner Änderungen an der Geräte-Hardware. Ein großer Hersteller von Mobiltelefonen habe bereits Interesse an dem System gezeigt. Um welches Unternehmen es sich dabei handelt, verrät die Uni nicht. Alternativ sei es auch möglich, zum Beispiel kleine Sender in die Kleidung oder Schulranzen einzunähen. ■

## Großes Interesse an autonomen Autos

**S**elbstfahrende Autos stoßen in Deutschland auf großes Interesse. Obwohl die entsprechenden Technologien noch in einem frühen Stadium sind, können sich bereits 26 Millionen Deutsche (37%) vorstellen, ein solches Fahrzeug künftig selbst zu nutzen, so das Ergebnis einer repräsentativen Umfrage im Auftrag des Branchenverbandes BITKOM. Insbesondere die Jüngeren sind den selbstfahrenden Autos gegenüber aufgeschlossen: 41% der unter 30-Jährigen können sich vorstellen, ein solches Fahrzeug künftig selbst zu nutzen. Bei den über 65-Jährigen sind es immer noch 36%. Männer vertrauen den computergesteuerten Fahrzeugen stärker als Frauen. 40% der Männer würden auch den Computer das Fahrzeug fahren lassen. Bei den Frauen sind es dagegen 35%. „Schon heute sind viele Autos rollende Computer. Die zahlreichen elektronischen Hilfsysteme haben die Sicherheit deutlich erhöht und bei den Autofahrern Vertrauen in diese Systeme geschaffen“, sagt Johannes Weickel, Verkehrs-Experte beim BITKOM. Insgesamt kennen bereits rund zwei Drittel selbstfahrende Autos oder haben von ihnen gehört. Die Integration der Informationstechnik ins Kfz spielt für die Autohersteller eine immer bedeutendere Rolle. So ist der Smartphone-Anschluss Autofahrern mittlerweile wichtiger als eine hohe PS-Zahl. Insbesondere Autofahrer zwischen 18 und 29 Jahren legen auf die technische Ausstattung viel Wert. 66% von ihnen möchten ihr Smartphone mit dem Auto verbinden können, 59% eine Bluetooth-Freisprecheinrichtung und 33% eine Online-Anbindung an soziale Netzwerke nutzen können. Die PS-Zahl hat hingegen nur für 42% der Autofahrer in dieser Altersklasse größere Bedeutung. ■

## AUTOS ENTDECKEN FUSSGÄNGER

**B**ei dem System, das Forscher der Technischen Universität München (TUM) jetzt vorstellten, dienen die Mobiltelefone der Fußgänger und Radfahrer als Transponder. Das Ortungssystem im Auto berechnet die Bewegungsbahn des Transponders voraus und leitet notfalls eine Vollbremsung ein, wenn sich ein Fußgänger oder Radfahrer direkt vor das Auto bewegt. Die Abstandsmessung erfolgt dabei wenige Zentime-



ter genau, so die TUM. Um das zu erreichen, sendet das Ortungssystem im Auto eine einzigartige Code-Folge an den Transponder. Dieser modifiziert die Code-Folge und schickt sie in einem sehr präzisen zeitlichen Schema zurück. Herausforderung für die Wissenschaftler: Die Warnung an den Fahrer oder die Auslösung einer Not-