

Der Widerspenstigen

Zähmung



In Shakespeares Komödie „Der Widerspenstigen Zähmung“ widersetzt sich die wilde Schöne fremdem Willen: Katharina, in dieser englischen Inszenierung dargestellt von Ruth Eglsaer, will sich Petruccio, gespielt von Gregory Derelian, zunächst nicht fügen.

© Gerry Goodstein. The Shakespeare Theatre of New Jersey

Brennstoffzellen offenbaren ihre Vorzüge nur bei tiefem Systemverständnis

Von Dr.-Ing. Josef Kallo

Als im Jahre 1993, 400 Jahre nach Entstehen von Shakespeares Komödie „Der Widerspenstigen Zähmung“, das Brennstoffzellen-Elektrofahrzeug Necar 1 auf Deutschlands Straßen demonstriert wurde, war man zuversichtlich, eine schwierige Technologie auf den Weg gebracht zu haben. Zu dem Zeitpunkt hatte es schon viele Versuche gegeben, die Brennstoffzelle beherrschbar, sicher, leistungsfähig und natürlich auch kostengünstig zu entwickeln. In der mehr als hundertjährigen Geschichte seit ihrer Erfindung hat es die Brennstoffzelle sogar schon in den Weltraum geschafft. – Unvergessen die Szene im Film „Apollo 13“, in welcher das Überleben der Mannschaft vom Einschaltalgorithmus für die eingefrorene Brennstoffzelle abhing. Trotz dieser Lorbeeren waren die Erfolgsaussichten für den Massenmarkt auch nach langer Entwicklungszeit bescheiden. Bis zum besagten Dezember 1993: Ein frischer Wind wehte durch die Entwicklungsgemeinschaft. Studenten hatten Herzklopfen bei der Vergabe von Diplomarbeiten und es schien alles machbar. Gepaart mit Hoffnungen von der einfachen Wasserstoffspeicherung durch so genannte Nanotubes, die umweltfreundlichen Kraftstoff für Reichweiten von bis zu 10.000 Kilometern pro Tankfüllung erlauben sollten, sprach man schon von der flächendeckenden Umstellung auf die Brennstoffzellentechnologie und datierte sie auf kurz nach der Jahrtausendwende.

Eine zu optimistische Annahme, wie wir heute wissen. Doch der gelegte Samen begann zu treiben. 15 Jahre, viele Visionen, Enttäuschungen, Hoffnungen und neunstellige Investitionssummen später entstand daraus ein tragfähiges Gebilde, das die Aussicht auf einen sauberen Energiewandler in greifbare Nähe rückt. Schritt für Schritt wurde die Widerspenstige gezähmt. Zwei Faktoren haben entscheidend dazu beigetragen. Erstens: Die in der Brennstoffzelle verwendeten Materialien wurden weiterentwickelt. Zweitens: Es gab mutige, kostspielige Entscheidungen, diese Materialien auch im Gesamtsystem zu testen, um so die Vor- und Nachteile nicht nur im Labor, sondern unter den jeweiligen Einsatzbedingungen zu erfahren.

Dieses Zusammenspiel brachte eine noch nicht dagewesene Geschwindigkeit in die Entwicklung. Doch anders als Katharina, die in Shakespeares Werk die Missachtung erduldet, unterwirft sich die Brennstoffzelle nicht so einfach.

Anspruchsvoll ...

Die Brennstoffzelle ist eigen. Bei schlechter Behandlung quittiert sie den Dienst. Es ist das dazugehörige System, das dafür sorgen muss, dass die Betriebsparameter optimal bleiben und die theoretisch hohen Umwandlungseffizienzen sowie eine lange Lebensdauer erreicht werden. So braucht die Alkalische Brennstoffzelle (AFC) stets ein



F-Cell Power Pack – das Brennstoffzellensystem mit 400 Watt elektrischer Leistung ist für Freizeit und Handwerk ein interessanter Stromspender.

kohlendioxid (CO₂)-freies Gas an der Kathode, um nicht zu „verkalken“, angesichts des Kohlendioxid-Gehalts der Luft eine Herausforderung. Die Niedertemperatur-Polymer-Elektrolyt-Brennstoffzelle (PEFC) benötigt stets CO-freien Wasserstoff als Kraftstoff, um leistungsfähig zu sein. Und Wasser heißt das Elixier für die Leitfähigkeit des Polymer-Elektrolyts. All das stellt hohe Anforderungen an das Versorgungs- und Kühlungssystem, das die gesamte Dynamik der Lastanforderung beispielsweise in einer mobilen Anwendung abfangen muss.

Verlängern kann man die Lebensdauer durch die Kopplung mit anderen Energiezwischenspeichern in Form von Kondensatoren oder Akkumula-



Der Wasserstoff-Motorsegler des DLR mit Brennstoffzellenantrieb – er basiert auf der Antares 20E der Firma Lange Aviation.

Anforderungen während der jeweiligen Flug- oder Landephase maßgeschneidert abbildet. Schließlich kann die elektrische Energie sowohl für den Betrieb der Klimaanlage als auch für die Steuerung des Flugzeugs im Notfall oder für den emissionslosen Antrieb mittels Bugrad am Flughafen eingesetzt werden. Für Flugzeuge rangiert dabei die Multifunktionalität vor der Effizienz.

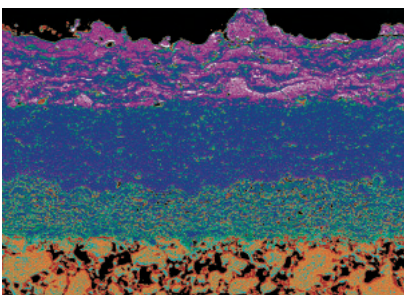
Langlebig ...

Anders bei stationären Anlagen: Dort kommt es entscheidend auf die Ausbeute aus dem Kraftstoff und die Langlebigkeit an. Für Hochtemperatur-Brennstoffzellen des Typs Molten Carbonate (MCFC) und Solid Oxyde (SOFC) werden Systeme entworfen, die der Zelle für zigtausend Stunden bei geringer Lastschwankung optimale Bedingungen bieten. Die Start- und Stopp-Prozeduren sind dabei genauso wichtig, bedenkt man die verwendeten keramischen Materialien und die Betriebstemperaturen. Sie liegen bei der MCFC bei 650 Grad Celsius (°C) und bei der SOFC bei bis zu 950 °C. Die elektrische Ausbeute für den eingesetzten Kraftstoff erreicht dann aber mehr als 50 Prozent. Es wurden schon Systeme für mehr als 30.000 Stunden betrieben. Ein System-Upgrade mit einer Gasturbine oder einer Wärme-Kraftkopplungsmaschine (Hybridkraftwerk) verspricht sogar Effizienzen von mehr als 60 Prozent.

Die Arbeiten des DLR halten hiermit Schritt und weiter noch: Sie treiben die Entwicklung voran. Auf dem Gebiet der Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle ist das DLR führend für Systeme in der Luftfahrt. Für den Bereich mobile Anwendungen kann das DLR mit dem Aufbau eines eigenständigen

toren. Reicht dies jedoch noch nicht aus, um einen wirtschaftlichen Einsatz als elektrischen Energielieferant zu rechtfertigen, so wird ein System benötigt, das alle Produkte und Vorteile der Brennstoffzelle ausnutzt. In der Luftfahrt beispielsweise ist das Produktwasser, das bei der elektrochemischen Reaktion entsteht, wertvoll, weil sich damit die beim Start mitzunehmende Menge Wasser verringern lässt. Das Kathoden-Abgas besteht aus sauerstoffabgereicherter Luft. Das ist ideal, um die Entflammbarkeit des Kerosin-Luftgemischs im Tank (Kerosintankinertisierung) herabzusetzen, und somit der Flugsicherheit förderlich.

Um diese positiven Effekte zu nutzen, wird ein System benötigt, das alle



Die Aufnahme mit dem Elektronen-Mikroskop macht die funktionalen Schichten einer Brennstoffzelle sichtbar. Unten: Substratträger, darauf folgen die Anode, der Elektrolyt und die Kathode.

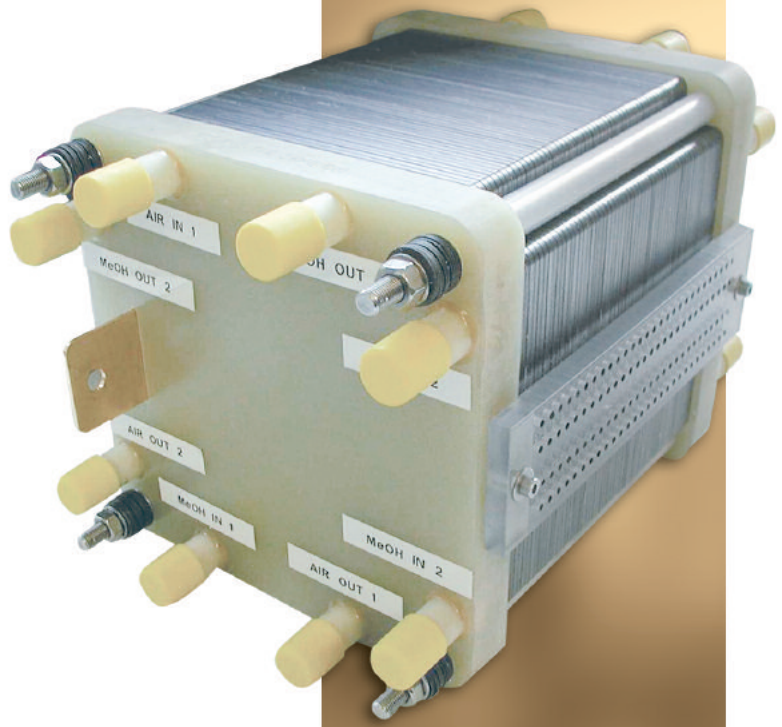


Brennstoffzellenfahrzeugs punkten und auf dem Geschäftsfeld der Kleinsysteme hält das DLR zusammen mit industriellen Partnern den Leistungs-dichte-Weltrekord für Wasserstoff-Luft Systeme. Es ist außerdem beteiligt an dem virtuellen Institut Hybridkraftwerk, das die stationäre Kopplung der SOFC mit einer Gasturbine untersucht. Mit seiner Laborausstattung und den Entwicklungsumgebungen, gepaart mit dem Grundlagenwissen steht das DLR an der Spitze der dies-bezüglichen Forschung und Entwicklung.

Maßgeschneidert ...

Der Vollständigkeit halber sollten die Direkt-Methanol-Brennstoffzelle (DMFC bis 70 °C) und die Hochtemperatur-Polymer-Elektrolyt-Brennstoffzelle (HT-PEM für bis zu 180 °C) erwähnt werden. Bei der DMFC ist die Kraftstoffversorgung und Betankung einfacher, da Methanol flüssig direkt in die Zelle eingebracht wird. Der verlustbehaftete Durchtritt des Methanols von der Anode zur Kathode, die so genannte Permeation, muss jedoch gering gehalten werden. Bei der HT-PEM muss vom System vor allem das Wasser- und Gasmanagement während der Start- und Stopp-Phase sehr genau geregelt werden. Die Betriebstemperatur ist so schnell und effizient wie möglich auf über 140 °C zu bringen, sonst funktioniert die innere Leitfähigkeit der Brennstoffzelle nicht.

Das DLR-Versuchsfahrzeug Hylite mit Brennstoffzellenantrieb.



Brennstoffzellenstack mit einer im DLR entwickelten Membran-Elektroden-Einheit (MEA).

Für alle Brennstoffzellenarten ist die Auslegung des Systems wichtig. Jede Anwendung und jede Anforderung erfordert ein maßgeschneidertes System. Nur so kann man die Brennstoffzelle erfolgreich betreiben. Die „Zähmung der Widerspenstigen“ könnte 400 Jahre später und unter dem Einfluss der Emanzipation vielleicht doch noch gelingen. Doch anders als bei Shakespeares Katharina braucht es dazu viel Aufmerksamkeit und tiefes Verständnis.

Autor:

Dr.-Ing. Josef Kallo leitet im DLR-Institut für Technische Thermodynamik den Fachbereich Elektrochemische Systeme.

