

Chemisches Kraftwerk

Brennstoffzellen verwandeln chemische Bindungsenergie unmittelbar in elektrische Energie.

Michael Vogel

Brennstoffzellen versorgten bereits in den 1960er-Jahren die Gemini- und Apollo-Raumfahrzeuge mit Strom, später auch die Spaceshuttles. In Zukunft könnten sie die Antriebsenergie für bemannte Fahrzeuge auf dem Mond bereitstellen. Gleichzeitig fassen sie immer mehr auf der Erde Fuß: bei der stationären und mobilen Stromerzeugung.

In Brennstoffzellen setzt eine Redoxreaktion chemische Energie frei, die unmittelbar in elektrische Energie umgewandelt wird. Der Umweg über Wärme und mechanische Energie wie bei der konventionellen Stromerzeugung entfällt, sodass Brennstoffzellen einen höheren Wirkungsgrad besitzen. Dafür ist es erforderlich, kontinuierlich Brennstoff und ein Oxidationsmittel wie Sauerstoff zuzuführen. Mit Wasserstoff als Brennstoff ergibt sich Wasser als Reaktionsprodukt. Bei Methan oder methanhaltigen Brennstoffen – etwa Erd-, Bio- oder Grubengas – entsteht Kohlendioxid; allerdings deutlich weniger als bei konventioneller Stromerzeugung.

Die genauen Abläufe in einer Brennstoffzelle unterscheiden sich je nach Typ und Brennstoff. Das Prinzip lässt sich am Beispiel der PEMFC (Polymer-Elektrolyt-



Brennstoffzellen für den Antrieb von Pkw kommen bisher nicht ohne Handarbeit aus. Das macht die Modelle teuer, sodass nur Kleinserien in Produktion sind.

Membran-Brennstoffzelle) erklären (Abb. 1), die aktuell in Pkw zum Einsatz kommt. Diese nutzt Wasserstoff als Brennstoff, der unter Druck auf die Anode trifft. Dort befindet sich Platin als Katalysator, sodass die Wasserstoffmoleküle in Protonen und Elektronen aufspalten. Als Elektrolyt zwischen Anode und Kathode dient eine Polymermembran: Sie ist für Protonen durchlässig, aber nicht für Elektronen. Diese können daher nur über den äußeren Stromkreis von der Anoden- zur Kathodenseite der Zelle gelangen. Die Protonen wandern dagegen durch die Membran Richtung Kathode und treffen dort

auf Sauerstoffmoleküle aus der Luft. Weil die ebenfalls platinbedeckte Kathode Elektronen liefert, entsteht nun Wasser. Die gewünschten Spannungen und Leistungen ergeben sich durch das Stapeln einzelner Zellen.

Während früher vor allem Fahrzeuge in der Lagerlogistik eine Brennstoffzelle als Antrieb nutzten, sind heute auch Züge und Schiffe damit ausgerüstet. Ende 2019 befanden sich Brennstoffzellen weltweit in mehr als 25 000 Pkw und Bussen. Aktuell bieten in Europa Toyota und Hyundai entsprechende Serienfahrzeuge an. Die Zellstapel des Hyundai Nexo bestehen zum Beispiel aus insgesamt 440 PEMFCs, die in Summe eine Ausgangsleistung von 95 kW liefern.

Fahrzeuge mit Brennstoffzellen werden bislang nur in Kleinserien gefertigt; vieles geht nur in Handarbeit. Das macht den Antrieb im Vergleich zu einem batterie-elektrischen System recht teuer. Eine besondere Herausforderung ist der hohe Bedarf an Platin: Die geringe Arbeitstemperatur

Brennstoffzellen lassen sich als modulare Systeme für die Ersatzstromversorgung einsetzen.



der Zelle von maximal 80 °C an beiden Elektroden macht das Edelmetall als Katalysator erforderlich. Für geringere Kosten gilt es, die gesamte Menge pro Elektrode zu reduzieren und die aktive Fläche des Platins möglichst zu vergrößern, weil die Reduktion nur am Platin stattfindet. Ein Ansatz besteht darin, Kohlenstoff oder unedle Metalle beizumischen; alternativ kommen Nanostrukturen mit platinreicher Schale und unedlem Metallkern infrage. Der Toyota Mirai – seit mehreren Jahren im Verkauf – enthält etwa 35 Gramm Platin pro Fahrzeug. Die nächste Generation der Brennstoffzellen sollte mit 10 bis 20 Gramm Platin pro Fahrzeug auskommen. Das finale Ziel der Automobilindustrie ist es, mit 5 Gramm eine ähnliche Masse zu erreichen, wie sie heutige Abgaskatalysatoren benötigen.

Neben der PEMFC gibt es weitere Zelltypen, die sich in Brennstoff, Arbeitstemperatur und Kosten unterscheiden. Niedertemperaturzellen arbeiten unter 200 °C, teils unter 80 °C, während Hochtemperaturzellen zwischen 600 und 1000 °C benötigen. Bei höherer Arbeitstemperatur steigt der Wirkungsgrad der Zelle, aber auch die Kosten für Material und periphere Systeme. Gleichzeitig braucht es weniger reinen Brennstoff, und als Katalysatoren kommen günstigere Materialien wie Nickel infrage.

Mehr als eine Anwendung

Die Brennstoffzelle hat neben dem Fahrzeugantrieb drei weitere Anwendungen, für die es weltweit eine bedeutende Anzahl von Systemen gibt: die dezentrale Stromerzeugung in der Industrie, die häusliche Energieversorgung durch Kraft-Wärme-Kopplung sowie die Notstrom- und mobile Stromversorgung.

In der industriellen dezentralen Stromerzeugung liefern sowohl Niedertemperatur- als auch Hochtemperaturzellen Elektrizität, zum Beispiel für einzelne Produktionsstätten oder ganze Industriegebiete. Die größten installierten Leistungen gibt es in den USA und Südkorea. Wichtige

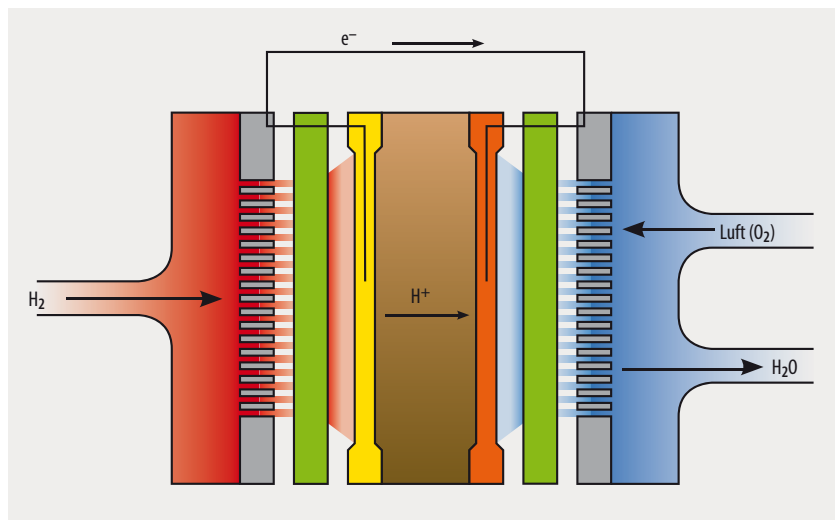


Abb. 1 Molekularer Wasserstoff ist der Brennstoff einer Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzelle, molekularer Sauerstoff das Oxidationsmittel. Über eine Bipolarplatte (grau) und eine Gasdiffusionslage (grün) erreichen sie die Anode (gelb) bzw. die Kathode (orange). Dort findet mit Platin als Katalysator eine Reduktion statt: Die H⁺-Ionen können die Membran (braun) passieren und mit dem Sauerstoff zu Wasser reagieren, während die Elektronen im äußeren Stromkreis zur Verfügung stehen.

Zelltypen sind hierbei die Festoxidbrennstoffzelle (SOFC), die Schmelzcarbonatbrennstoffzelle (MCFC) und die Phosphorsäurebrennstoffzelle (PAFC).

Bei der SOFC dient eine Membran aus oxidkeramischem Werkstoff als Elektrolyt und wird erst bei hohen Arbeitstemperaturen für die Sauerstoffionen durchlässig. In den USA sind beispielsweise 300 MW Leistung dieses noch relativ neuen Zelltyps installiert. Bei der Hochtemperaturzelle MCFCs agiert (CO₃)²⁻ als mobiles Ion; der Elektrolyt ist eine Alkali-Carbonat-Schmelze. Derzeit sind damit in den USA und Südkorea jeweils 150 MW Leistung installiert. Die PAFC nutzt Phosphorsäure als Elektrolyt und (H₃O)⁺ als bewegliches Ion. Sie versorgt Südkorea mit 210 MW Leistung; weitere 220 MW befinden sich im Bau.

Brennstoffzellen für die häusliche Energieversorgung finden sich vor allem in Japan. Dort sorgen mehr als 300 000 Systeme im Rahmen der Kraft-Wärme-Kopplung in Haushalten für Heizung und Elektrizität. Ein Großteil dieser Systeme verwendet PEMFC, aber auch SOFC sind zunehmend zu finden. Auch andere Staaten setzen bei der Kraft-Wärme-Kopplung vermehrt auf Brennstoffzellensysteme. In Deutschland ist ihre

Zahl derzeit zwar nur fünfstellig, aber die Tendenz ist steigend.

Bei der Direkt-Methanol-Brennstoffzelle (DMFC) lässt sich der Brennstoff einfach handhaben und auffüllen. Das prädestiniert sie für die Notstromversorgung und die mobile Stromversorgung, beispielsweise in Reisemobilen. Diese Niedertemperaturzelle kommt auch beim Militär und bei der Notstromversorgung geschlossener Funknetze von Sicherheitsbehörden zum Einsatz. Sie nutzt Methanol als Brennstoff, das sich flexibel per Kanister nachfüllen lässt. Als Elektrolyt dient auch hier eine Polymermembran.

Ob die beschriebenen Zelltypen ihre heutige Bedeutung und Anwendung behalten, bleibt abzuwarten. Entscheidend ist, ob die Gesamtsysteme wirtschaftlich konkurrenzfähig sind. So entwickelten japanische Elektronikkonzerne einst Brennstoffzellen, um mobile Geräte mit Energie zu versorgen. Diese kamen aber nicht auf den Markt, weil die sich rasch verbessernden Lithium-Ionen-Akkus deutlich preisgünstiger waren. Unabhängig von einzelnen Entwicklungen gilt die Brennstoffzelle in Forschung und Industrie als wichtiger Baustein eines neuen Energiesystems, bei dem Strom flexibel und dezentral zur Verfügung stehen muss.^{§)}

§) Ich danke Remzi Can Samsun vom Forschungszentrum Jülich für hilfreiche Erläuterungen.