

# Brennstoffzellen zur nachhaltigen Energieerzeugung

Eine Zukunft ohne erneuerbare Energien ist heute kaum noch denkbar – Brennstoffzellen sind einer der vielen Wege die dorthin führen.

FRANK LUCKAU / NICOLE DANZEISEN

1839 erfanden Sir William Grove und Christian Friedrich Schönbein fast zeitgleich die Brennstoffzelle. Mittlerweile werden mit Hilfe dieser Technologie U-Boote, Apollo Raumschiffe, Personenschiffe, Autos und vieles mehr betrieben. Die Brennstoffzelle funktioniert wie ein galvanisches Element. Aus Wasserstoff und Sauerstoff wird elektrische Spannung und Wärme und das komplett CO<sub>2</sub>- und lärmfrei. Die DB Bahnbau Gruppe, 100%-ige Tochter der Deutschen Bahn AG, hat zusammen mit Herstellern verschiedene Brennstoffzellen-Systeme



Abb. 1: Brennstoffzellen-Compartment für eine 6 kW-Brennstoffzellen-NEA

konzipiert, die zwischen Schiene, Schotter und Schwelle zum Einsatz kommen. Eine wasserstoffbetriebene Brennstoffzelle eignet sich beispielsweise hervorragend als Netzersatzanlage für Stellwerke.

## Unser Weg zur Brennstoffzelle

Senkung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes, Steigerung der Energieeffizienz, Stoppen der globalen Erderwärmung. Die klimapolitischen Ziele sind zahlreich und haben eines gemeinsam: die Forderung nach Maßnahmen. Im Rahmen der „Strategie DB 2020“ rückt die Deutsche Bahn AG die Umwelt in den Fokus und definiert „Umweltvorreiter“ als eines von drei strategischen Zielen.

Als Maßnahme zur Umsetzung der Strategie säule hat die DB Bahnbau Gruppe GmbH 2015 die Brennstoffzelle in ihr Produktportfolio aufgenommen. Die erste Idee, Brennstoffzellen könnten Dieselaggregate als Netzersatzanlage (NEA) in Stellwerken (STW) ersetzen, erfährt schnell Zuspruch. In Zusammenarbeit mit Herstellern und Anwendern findet die Konzipierung verschiedener Brennstoffzellensysteme statt, die für den Einsatz zwischen Schiene, Schotter und Schwelle geeignet sind.

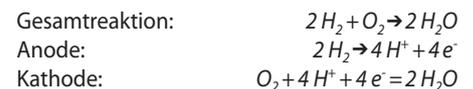
## Grundlagen der Brennstoffzellentechnik Geschichtliche Entwicklung

1839 erfindet Sir William Grove die galvanische Gasbatterie fast zeitgleich mit Christian Friedrich Schönbein, der in einem Versuchsaufbau zwei Platindrähte in Salzsäure mit Wasserstoff und Sauerstoff umspült und dabei eine elektrische Spannung feststellt. Durch die Erfindung des Dynamos gerät die noch recht aufwändig konzipierte Brennstoffzelle jedoch ins Hintertreffen, allerdings nicht in Vergessenheit. 1963 kommen Brennstoffzellen bei der NASA im Rahmen des Apollo Programms zum Einsatz. Das Systemgewicht der Raumschiffe wird hierdurch erheblich verringert. Seit 2003 werden die ersten durch Brennstoffzellen betriebenen U-Boote gebaut. Diese sind auf Grund geringer Geräuschemissionen nur schwer zu orten und können langandauernde Tauchfahrten machen. Das wasserstoffbetriebene Passagierschiff „Alsterwasser“ nimmt 2008 seine Fahrt im Hamburger Hafen auf und schont so die Umwelt. Heute fahren bereits die ersten Wasserstoffautos durch die Städte und es wird an der Ausrüstung von Smartphones mit einer

Mikro-Brennstoffzelle gearbeitet die mit zwei Ladezyklen im Monat auskommen sollen.

## Funktionsprinzip

Eine Brennstoffzelle besteht aus drei Schichten: einer Anode (Minuspol), einer Kathode (Pluspol) und einem Elektrolyt, was man in der Chemie auch als galvanisches Element bezeichnet. Die beiden Elektroden sind mit einem Katalysator (Nickel, Platin) beschichtet. Gibt man an der Anode einen chemischen Energieträger, beispielsweise Wasserstoff, zu, so teilt sich dieser in Elektronen und Protonen. Letztere suchen sich ihren Weg durch die feste, ionendurchlässige Membran. Für die Elektroden ist dieses Elektrolyt jedoch undurchlässig. Sie suchen sich den einzigen noch verbleibenden Weg am Elektrolyt vorbei, durch einen äußeren Kreislauf. Es entsteht elektrische Spannung. Auf der Seite der Kathode verbindet sich Luftsauerstoff mit Elektronen und Protonen. Als Redoxreaktionsprodukte entstehen Wasser und Wärme.



Diesen Vorgang nennt man auch kalte Verbrennung, also einen direkten Übergang von chemischer in elektrische Energie. Das Besondere hieran ist, dass man die üblichen Zwischenumwandlungen der Energie, wie sie beispielsweise bei einem Verbrennungsmotor vollzogen werden, überspringt: chemische Energie wird zunächst in thermische Energie, anschließend in mechanische Energie und schließlich in elektrische Energie umgewandelt. Eine kalte Verbrennung geht daher mit einem höheren Wirkungsgrad einher. Eine Brennstoffzelle erzeugt eine Spannung von ungefähr 1,2 V, gerade einmal genug für eine Taschenlampenbatterie. Für höhere Spannungen setzt man viele Brennstoffzellen zu einem so genannten Brennstoffzellen Stack (Stapel) zusammen.

## Brennstoffzellen zwischen Schiene, Schotter und Schwelle Brennstoffzellensysteme

Die DB Bahnbau Gruppe hat mit Stand Juni 2016 drei Brennstoffzellensysteme konzipiert, die auf die bahnspezifischen Anforderungen abgestimmt sind. Die Polymer-Elektrolyt-

Membran Brennstoffzelle (PEMFC) ist wasserstoffbetrieben, bildet Leistungsklassen von 2 kW bis 100 kW ab und erreicht einen elektrischen Wirkungsgrad von ca. 54%. Die Direktmethanol Brennstoffzelle (DMFC) ist für kleinere Leistungsbereiche bis 500 W geeignet und erreicht einen Wirkungsgrad von ca. 40%. Als Brennstoff kommt Methanol zum Einsatz. Die Oxidkeramische Brennstoffzelle (SOFC) wird mit flüssigem Gas, Propan oder Butan betrieben. Bei einem Wirkungsgrad von ca. 35% kann sie Leistungen bis 1 kW abbilden. Der Brennstoff kann unterschiedlich bereitgestellt werden. Üblicherweise wird Wasserstoff in Druckgasflaschen à 50 l und 300 bar abgefüllt. Allerdings ist auch die Bereitstellung in einem Wasserstofftank oder die direkte Erzeugung vor Ort über einen Reformer möglich.

Neben verschiedenen Brennstoffen kommen auch verschiedene Kühlsysteme zum Einsatz: Luftkühlung und wasserführende Kühlung. Letztere ermöglicht wesentlich kompaktere Systeme. Außerdem kann die Abwärme für Heizzwecke zur Verfügung stehen.

#### Einsatzzwecke PEMFC bei der DB

Ein typischer Anwendungsfall für die PEMFC ist eine NEA STW. Ende 2016 wird eine 20 kW PEMFC mit 400 VAC im STW in Berlin Hoppogarten in Betrieb gehen. Die vorgesehenen 15 Druckgasflaschen Wasserstoff können bei voller Leistungsabnahme einen Netzausfall von ca. 25 Stunden puffern. Druckgasflaschen, Brennstoffzellensystem einschließlich Energy-Manager zur Fernüberwachung und Wartung werden in einem Outdoorgehäuse verbaut. Abbildung 1 und 2 zeigen ein PEMFC-System mit 6 kW im Einsatz als Netzersatzanlage. Weitere Anwendungsfälle für PEMFC sind die Energieversorgung auf netzfernen Baustellen. Oft müssen lange Kabelstränge bis zum nächst möglichen Anschlusspunkt verlegt werden, um bspw. die sicherheitsrelevante Beleuchtung oder Automatische Warnsysteme zur Gleisbaustellensicherung mit elektrischer Energie zu versorgen. Auch eine Energieversorgung von Baustellencontainern ist möglich. Des Weiteren kann die PEMFC zur Stromversorgung von einzeln stehenden Formsignalen, Geschwindigkeitsprüfeinrichtungen und temporären Bauwerkskontrollen eingesetzt werden. Auch die Beheizung von Bahnübergängen, Reisendenüberwegen und Fertigbahnsteigen ist denkbar.

#### Einsatzzwecke DMFC bei der DB

Wo die PEMFC sich für die Bereitstellung größerer Leistungen eignet, kommt die DMFC im kleineren Leistungsbereich zum Einsatz. Im September 2015 wurde beispielsweise ein Methanol-System der Firma SFC-Energy an einem Funkstandort für analogen Zugfunk in Bayern in Betrieb genommen. In Zusammenarbeit mit dem Hersteller wurde ein DMFC System entwickelt, das folgenden Anforderungen gerecht wird:



Abb. 2: PEMFC – Wasserstoffanschluss für eine 6 kW-Brennstoffzellen-NEA

- Energieversorgung der Funkanlage und der Beleuchtung im Container am Standort,
- Ausgangsspannung 230 VAC / 50 Hz,
- Leistung max. 110 W, nominal 90 W,
- Realisierung einer möglichst langen Laufzeit des Systems ohne Wartung und Brennstoffnachfüllung,
- kompaktes System sowie
- Fernüberwachung.

Entstanden ist ein Energy-Cube mit den Abmessungen 800 x 600 x 410 cm<sup>3</sup> (Abb. 3 und 4). Das Herzstück ist ein methanolbetriebener Brennstoffzellenstack mit 110 W und 12 Volt DC Ausgangsspannung. Als zusätzliches Einbauteil wurde im Cube ein Wechselrichter 12 VDC/230 VAC verbaut. Um die Laufzeit von normalerweise max. 21 Tagen auf 88 Tage zu erhöhen, wurde ein Bauteil konzipiert, welches es zulässt, an diesen Cube bis zu vier Methanol-Tankpatronen M28 mit einer Füllmenge von jeweils 28 l gleichzeitig anzuschließen. Da nicht bekannt ist, wie lange das System am Ende wirklich laufen muss, wurde zusätzlich zu den vier Tankpatronen ein Vorrat von weiteren vier Tankpatronen vor Ort eingelagert. Somit ergibt sich eine Gesamtlaufzeit des Systems von ca. 160 bis 170 Tagen mit einmaligem Wechsel der Tankpatronen. Auch bei diesem System ist das Monitoring bzw. die Überwachung von jedem Ort der Welt über PC, Tablet oder Smartphone möglich.

Neben der Dauerversorgung von Funkstationen ist auch die Versorgung anderer Systeme mit geringem Energiebedarf denkbar. Bei der DB würden hierfür typischerweise Tunnel- und Videoüberwachungssysteme oder Dynamische Schriftanzeiger in Frage kommen.

#### Brennstoffzelle statt Dieselaggregat als NEA

##### Netzersatzversorgungsfälle

Als NEA für unterschiedlichste Versorgungszwecke werden typischerweise Dieselaggregate eingesetzt. Bei der DB erfüllen sie zum

einen die Funktion als Stromversorgung auf netzfernen Baustellen. Hier laufen diese meist im Dauerbetrieb rund um die Uhr. Zum anderen werden NEA dafür eingesetzt, um beim Ausfall des öffentlichen Stromnetzes für lebenswichtige Anlagen die nötige Energie für den sicheren Betrieb zu liefern. Zu nennen sind dabei zum Beispiel der Funktionserhalt von STW, die Aufrechterhaltung der Funktion von Entrauchungsanlagen und die Notbeleuchtung auf Bahnhöfen.

#### Wartungsarmer Betrieb

Da es sich um sicherheitsrelevante Anlagen handelt, muss auf die Funktionssicherheit ein hohes Augenmerk gelegt werden. Das erzeugt gerade bei Dieselaggregaten einen enormen Wartungsaufwand. Eine Fernwartung, vorbeugende Wartung und Diagnose ist bei Dieselaggregaten nicht möglich. Bei einer Brennstoffzelle verhält sich das völlig anders. Der Wartungsaufwand kann bei Brennstoffzellen auf ein Minimum reduziert werden. Jede Brennstoffzelle kann mittels eines integrierten Moduls, dem sogenannten Energy-Manager und über eine Funk- bzw. Internetverbindung leicht von jedem Ort der Welt mittels PC, Tablet oder Smartphone überwacht werden. Alle Daten (Spannung, Strom, Brennstoffvorrat usw.) lassen sich über interne Sensoren auslesen und verarbeiten. Ein Großteil der Wartung wird automatisiert durchgeführt, durch programmierbare Selbsttests, die ohne Personal vor Ort auskommen.

#### Umweltfreundlicher Kraftstoff

An die Lagerung von Diesel und den Betrieb von Dieselaggregaten werden hohe Anforderungen in Bezug auf den Umweltschutz gestellt. Die Erfüllung dieser Anforderung (z.B. Rußpartikelfilter, Treibstoffauffangwannen, usw.) bringt erhöhte Baukosten mit sich. Der im Diesel enthaltene Anteil von 7% Biodiesel sorgt durch Bakterien im Biodieselanteil für die Zersetzung des Kraftstoffs. Daher ist die



Abb. 3: DMFC – Brennstoffzellen-System mit Methanolbehältern

Lagerung über einen längeren Zeitraum problematisch. Dies kann so weit gehen, dass der gesamte Tankinhalt vernichtet wird und ausgetauscht und entsorgt werden muss. Der für die Brennstoffzelle verwendete Treibstoff im Netzersatzversorgungsfall ist Wasserstoff. Wasserstoff wird in Flaschen oder Tanks gelagert bzw. geliefert oder direkt vor Ort hergestellt und abgefüllt, ist unbegrenzt haltbar und verursacht auch beim Entweichen keinerlei Umwelt- oder Gesundheitsschäden. Beim Betrieb der Brennstoffzelle entstehen weder CO<sub>2</sub> noch andere Emissionen, wie z.B. Ruß oder Stickstoffoxide.

### Geringe Geräuschemissionen

Im Betrieb ist ein Dieselaggregat sehr laut. Dies liegt an den mechanisch bewegten Teilen. Vor allem in bewohnten Gebieten kann das zu einem erheblichen Problem werden. Da in der Brennstoffzelle ein rein chemischer Prozess abläuft, entstehen hier keine Geräuschemissionen. Einzig die installierten Lüfter in der An-

lage, die für Zuluft und Abluft sorgen, verursachen ein leises Brummen.

### Modularer Aufbau

Brennstoffzellen als NEA sind flexibel einsetzbar und können durch ihren modularen Aufbau leicht umgerüstet werden. Je nach Leistungsbedarf wird ein weiteres Modul bzw. ein weiterer Stack angeschlossen. So kann die NEA bei späterer Leistungserhöhung oder Senkung ungehindert mitwachsen oder reduziert werden. Das sorgt auch für eine Nutzung des vollen Wirkungsgrades, der bei den effizientesten Systemen derzeit bei 60% liegt. Dieselaggregate im Einsatz bei der DB sind meist überdimensioniert, da die zulässigen Aggregate erst ab 20 kVA verfügbar sind. Der Betrieb der Dieselaggregate läuft folglich im Teillastbereich ab, was unweigerlich mit einem geringen Wirkungsgrad einhergeht. Eine an der nachgefragten Leistung orientierte Konzipierung fällt hier schwer.

### Hohe Verfügbarkeit

Im Ernstfall kommt es auf absolute Zuverlässigkeit an. Eine NEA muss zu jeder Zeit 100% verfügbar sein. Dieser Forderung kommt die Brennstoffzelle nach. In max. 20 Sekunden erreicht sie ihre volle Leistung und ist für 15 Sekunden zu 150% überlastfähig. Die hohe Verfügbarkeit ist bei Temperaturen bis -40°C ebenso gegeben wie bei +50°C.

### Fazit

Brennstoffzellen sind eine über 150 Jahre alte bahnbrechende Erfindung, die neu ins Licht gerückt wird. Zunächst durch verschiedenste Entdeckungen von der Bildfläche vertrieben, haben sie über die Zeit hinweg immer wieder ihren Platz eingefordert. In der heutigen Zeit sind sie nicht mehr wegzudenken. Die DB nutzt Brennstoffzellen als NEA für STW. Anderswo werden Funkmasten mit dieser Technik betrieben. Wengleich es sich nicht um ein Produkt von der Stange handelt, sind die denkbaren Anwendungsfälle dennoch zahlreich. Je stärker das Umweltbewusstsein zunimmt, Lärmemissionen als störend empfunden werden oder Versorgungssicherheit und Störungsfreiheit in den Fokus rückt, je mehr wird auch die Brennstoffzellentechnik an Bedeutung gewinnen. Bei der DB Bahnbaugruppe ist sie bereits jetzt Teil der Zukunft. ■

### QUELLEN

- [1] <http://www.planet-wissen.de/technik/energie/brennstoffzelle/pwiesirwilliamrobertgroveerfinderderbrennstoffzelle100.html>, letzter Aufruf: 03.06.2016 um 16.30 Uhr
- [2] <http://www.abendblatt.de/ratgeber/wissen/article132332343/Das-Hamburger-Wasserstoff-Schiff-liegt-still.html>, letzter Aufruf: 02.06.2016 um 13.00 Uhr
- [3] <http://www.macwelt.de/news/Brennstoffzelle-Batterie-Energie-iPhone-9978195.html>, letzter Aufruf: 02.06.2016 um 13.00 Uhr
- [4] <https://www.erdgas.info/erdgasheizung/brennstoffzelle/funktionsprinzip/>, letzter Aufruf: 02.06.2016 um 13.00 Uhr
- [4] <http://www.bridge-grid.eu/kalte-verbrennung.html>, letzter Aufruf: 02.06.2016 um 13.00 Uhr

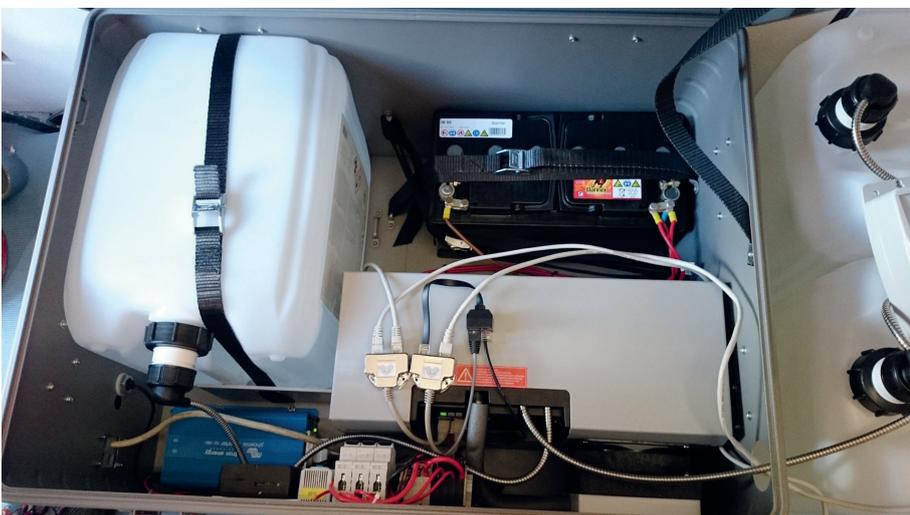


Abb. 4: DMFC – Innenleben eines 110 W-Systems



### Frank Luckau

Leiter der Oberbauleitung  
Elektroenergieanlagen Nord/Ost,  
DB Bahnbaugruppe GmbH, Berlin  
frank.luckau@bahnbaugruppe.com



### Dipl.-Ing. Nicole Danzeisen

Referentin Sonderprojekte  
Geschäftseinheit Ausrüstung,  
DB Bahnbaugruppe GmbH, Berlin  
nicole.danzeisen@bahnbaugruppe.com