

Brennstoffzellen

Mario Karl Micu-Budisteanu

Leoben, 05.05.2020

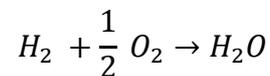
1. Motivation

Der weltweite Energieverbrauch ist in den letzten Jahrzehnten jährlich kontinuierlich gestiegen, wobei 2017 die Gesamtversorgung an Energie 162 PWh betrug, was 14.000 Millionen Tonnen Öläquivalent (Mtoe) entspricht, wovon 113 PWh bzw. 10.000 Mtoe als Energie konsumiert wurden. Diese Differenz ist auf die Verluste während des Prozesses der Veredelung in nutzbare Energieformen und auf den Transport vom ursprünglichen Lieferort zu den Kunden zurückzuführen. Insgesamt stellen Kohle (38%) und Erdgas (23%) nach wie vor die wichtigsten Energieträger für die Energieumwandlung insgesamt dar. Von diesen 113 PWh wurden etwa 24 PWh in Form von Elektrizität verbraucht [1]. In Anbetracht des steigenden Energiebedarfs erscheint das von den politischen Entscheidungsträgern in Form des Pariser Abkommens (PA) und seiner geographischen Tochtergesellschaften gesetzte Ziel der Limitierung des CO₂-Ausstoßes äußerst ehrgeizig, wenn man berücksichtigt, dass Art. 2 Abs. 1 des PA rechtsverbindlich, aber nicht direkt einklagbar ist, im Gegensatz zu seinem Vorgänger, dem Kyoto-Protokoll [2-4].

Um den oben genannten Energiebedarf zu decken, ist das bevorzugte Verfahren die Verbrennung von Kohlenwasserstoffen oder die Energieerzeugung in Kohlekraftwerken. Obwohl heute hocheffiziente Verbrennungsmotoren oder Turbinen eingesetzt werden, ist der Spitzenwirkungsgrad durch den Carnot-Zyklus begrenzt. Zudem entsteht bei der Verbrennung von Kohlenwasserstoffen zwangsläufig CO₂. An diesem Punkt ist die elektrochemische Energieumwandlung, sei es in Form einer Batterie oder in der Brennstoffzelle, im Vorteil, wobei in letzterem Fall zu berücksichtigen ist, ob der Wasserstoff als grün, blau oder schwarz bezeichnet werden kann, je nach der Behandlung des CO₂-Nebenproduktes des Prozesses [5]. Obwohl in Bezug auf Gesamteffizienz und Preis Batteriesysteme als stationäre Energiesysteme oder mobile Einheiten führend sind, bleibt das Problem der Aufladung und der Energiedichte bestehen. Vor diesem Hintergrund bieten Brennstoffzellensysteme eine vielversprechende Weiterentwicklung.

2. Prinzip und Bauformen

Eine Brennstoffzelle ist eine elektrochemische Zelle, die aus einer Anode, einer Kathode und einem Elektrolyten besteht, der die beiden Elektroden voneinander trennt. Dieser Elektrolyt kann als semipermeable Membran ausgebildet sein und nur für eine Ionenart durchlässig sein. Die Gesamtreaktion einer Brennstoffzelle ist



und hat eine theoretische Spannung von 1,229 V, wenn flüssiges H₂O gebildet wird, obwohl in der Praxis aufgrund verschiedener Verluste nur 0,5-1 V erreicht werden. Diese Reaktion erzeugt Wärme und elektrische Energie, wobei letztere als Spannung abgegriffen werden kann. Um die Effizienz der Brennstoffzelle zu erhöhen, bietet sich als gängigstes Mittel die Erhöhung der Betriebstemperatur an. Dadurch lassen sich Brennstoffzellen nach ihrer erforderlichen Zelltemperatur klassifizieren:

- Niedertemperatur-Brennstoffzellen bis ca. 100°C
- Mitteltemperatur-Brennstoffzellen bis ca. 200°C
- Hochtemperatur-Brennstoffzellen über 600°C

Bei Mitteltemperatur-Brennstoffzellen handelt es sich meist um *Proton exchange membrane* Zellen (PEMFC), welche die derzeit hauptsächlich verwendete Technik in Autos (Toyota Mirai, Mercedes-Benz GLC F-Cell) und Schiffen (Binnenschiff Electra, AIDAnova) darstellt, wobei letztere nicht als Hauptantrieb dienen, sondern als zusätzliche Stromversorgung bzw. deren Einsatz erprobt wird [6-8]. Hochtemperatur-Brennstoffzellen werden hingegen für stationäre Anwendungen benutzt, wie z.B. als Heizgeräte in Ein- und Mehrfamilienhäusern [9]. Mit der höheren Temperatur steigt zwar die Effizienz, jedoch auch die Anforderungen an Material und Zelle.

3. Zukünftige Herausforderungen

Abgesehen von der Entwicklung der Zellen, von denen einige allerdings bereits heute eine Lebensdauer von 100.000 h erreichen [10], ist die Frage, woher der Wasserstoff kommt sowie die Distribution dessen ein klassisches Henne-Ei Problem. Derzeit gibt es in Österreich 5 Wasserstofftankstellen, welche einer hohen Menge an Steckdosen in jedem Haushalt gegenüberstehen, an der man eine Batterie (wenn auch sehr langsam) aufladen kann.

Die Betriebskosten eines Brennstoffzellen-PKW wie z.B. dem Toyota Mirai (frei am Markt erhältlich), welcher knapp 0,8 kg H₂/100 km benötigt bei einem Preis von etwa 9 €/kg H₂,

liegen zumindest im Bereich dessen, was man von klassischen Verbrennungsmotoren kennt. Die Anschaffungskosten von etwa 80.000€ sind allerdings ein anderes Thema.

Szenarien, die einen Ausbau der Wasserstofftankstelleninfrastruktur fördern würden, beinhalten z.B. eine Umstellung der 160 Grazer Busse auf Wasserstoffantriebe [11], wodurch als weiterer positiver Nebeneffekt dieses Thema vermehrt in den öffentlichen Raum getragen wird. Ohne ein breites Netzwerk an Ladeinfrastruktur ist eine Privatanschaffung derzeit aber kaum attraktiv.

Ein weiteres Problem ist, dass das Hauptherstellungsverfahren für Wasserstoff heutzutage die Dampfreformierung (ca. 90% der weltweit hergestellten Menge) darstellt, welche aber nicht als „grün“ bezeichnet werden kann, da dabei Erdgas, Biomasse oder andere Kohlenwasserstoffe (Erdöl) als Ausgangsmaterial dienen und der Energieverbrauch für die Herstellung enorm ist. Bei diesem Prozess wird außerdem gleich viel CO₂ erzeugt, wie bei der Verbrennung der Energieträger. Eine interessante Alternative dazu ist die Nutzung von (wenn möglich überschüssiger) Energie aus Windkraftwerken in der Nordsee, wobei Brennstoffzellen im umgekehrten Modus benutzt werden, was einer Elektrolyse entspricht (Power-to-X Konzepte) [12]. So könnte „grüner“ Wasserstoff erzeugt werden, wobei die Verteilung von diesem durch das Erdgasnetz realisiert werden kann [13].

Quellen

- [1] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, "Key World Energy Statistics," IEA Publications, France, 2019.
- [2] F. Ekardt, J. Wieding and A. Zorn, "Paris-Abkommen, Menschenrechte und Klimaklagen," Forschungsstelle Nachhaltigkeit und Klimapolitik, Leipzig/Berlin, 2018.
- [3] Renewable Energy Certificate System, "RECS International," 2020. [Online]. Available: <https://www.recs.org/glossary/european-20-20-20-targets>.
- [4] Umweltbundesamt Deutschland, 25 July 2013. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/internationale-eu-klimapolitik/kyoto-protokoll#entstehungsgeschichte-und-erste-verpflichtungsperiode>.
- [5] Boston Consulting Group, "The Real Promise of Hydrogen," 2019.
- [6] <https://www.mercedes-benz.de/passengercars/mercedes-benz-cars/models/glc/glc-f-cell/der-neue-glc-f-cell/stage.module.html>
- [7] <https://www.h2-view.com/story/construction-to-begin-on-zero-emission-push-boat-powered-by-hydrogen-fuel-cells/>
- [8] <https://www.now-gmbh.de/de/bundesfoerderung-wasserstoff-und-brennstoffzelle/projektfinder/schiff/pa-x-ell2>
- [9] <http://www.hexis.com/de/galileo-1000-n>
- [10] <https://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/UK/EN/2019/2019-02-07-sofc-en.html?nn=2409938>.
- [11] https://www.energyagency.at/fileadmin/dam/image/projekte/energie_klimapolitik/Hylaw_ExCo_Nov18/Praesentationen/HeM_AG-Unternehmenspraesentation_-_Linz_update.pdf
- [12] <https://www.scinexx.de/dossierartikel/offshore-wasserstoff/>
- [13] <https://www.chemietechnik.de/dvgw-will-das-erdgasnetz-fuer-wasserstoff-einspeisung-fit-machen/>