



Brennstoffzellen im Notstrombereich

Wasserstoff-Brennstoffzellen können Diesel-Aggregate ersetzen.

Wasserstoff als Energiespeicher | Neben der Anwendung im mobilen Bereich können mit Wasserstoff betriebene Brennstoffzellen auch im stationären Bereich, beispielsweise in der Notstromversorgung, einen wichtigen Beitrag leisten. Ihre technische Reife bezüglich Leistung, Funktionalität und Sicherheit ist heute weit fortgeschritten.

ULRIKE TRACHTÉ

Brennstoffzellensysteme erzeugen aus Wasserstoff und Sauerstoff elektrischen Gleichstrom. Sie arbeiten leise und wartungsarm. Zur Sicherstellung der Stromversorgung im Notfall können sie umweltfreundlich eingesetzt werden. Wird eine standortspezifisch ausreichend grosse Menge an Wasserstoff bereitgestellt, können Autonomiezeiten von mehreren Tagen gewährleistet werden. Der Anlagenzustand ist aus der Ferne stets kontrollierbar. Für den Betrieb der Anlage muss kein Personal vor Ort sein.

In einem national geförderten Projekt zum Langzeitverhalten von

Brennstoffzellen im Bereich des Mobilfunks [1] konnte ein Forscherteam der Hochschule Luzern auch bei längeren Standzeiten eine hohe Zuverlässigkeit der Systeme nachweisen. Ausserdem birgt der farb- und geruchlose Wasserstoff als Brennstoff grosses Potenzial zur Verringerung des globalen CO₂-Ausstosses und zum Aufbau einer nachhaltigen Energieversorgung. Die Penta-Länder, also Belgien, Deutschland, Frankreich, Luxemburg, Niederlande, Österreich und die Schweiz, haben im Dezember 2021 ein Memorandum of Understanding zur Stromkrisenvorsorge unter-

zeichnet, welches sich insbesondere mit der Verbreitung von Wasserstoff befasst.

Der Schweizer Markt ist noch sehr klein für Brennstoffzellen-Anwendungen mit Wasserstoff. Gemäss einem aktuellen Bericht von Swiss Cleantech [2] wird Wasserstoff eher in kleineren Mengen für einzelne Anwendungen genutzt. So betrug im Jahr 2021 der Anteil von Wasserstoff nur ca. 1% des Schweizer Erdgasmarktes.

Grundlagen

Wie Batterien und Akkumulatoren bestehen auch Brennstoffzellen aus

Anode und Kathode, die durch einen Elektrolyten getrennt sind. Die verschiedenen Typen von Brennstoffzellen unterscheiden sich durch die Art des Elektrolyten und ihrer Betriebstemperatur. Gemäss einer Statistik der Beratungsfirma E4tech [3] ist der Brennstoffzellentyp mit einer Polymer-Elektrolyt-Membran (PEM) weltweit am meisten verbreitet. Am zweithäufigsten verbreitet ist die Festoxid-Brennstoffzelle (SOFC), die bei Temperaturen bis zu 1000°C betrieben wird (**Bild 1**).

Brennstoffzellen, die als einzelne Zellen in Serie geschaltet werden, nennt man Stapel. Die Spannung des Stapels ist abhängig von der Anzahl der in Serie geschalteten Zellen. Der maximale Strom des Stapels wird durch die Grösse der aktiven Querschnittsfläche bestimmt. Die Anzahl in Serie geschalteter Zellen ist begrenzt durch die Gas- und Wasserführung innerhalb der Zellen.

Zu einem Brennstoffzellensystem gehören folgende Komponenten: Stapel, ein Kompressor für die Zuluft, eine Abluftführung, ein luft- oder wassergeführter Kühlkreislauf, eine Regelung und Steuerung des Systems, Leistungselektronik und eine Kommunikationschnittstelle zur Datenübertragung. Bei Bedarf können über diese Schnittstelle Alarmer in ein übergeordnetes Kontrollsystem eingebunden werden. **Bild 2** zeigt ein Prinzipschema mit den einzelnen Komponenten und wird im Folgenden erläutert.

Durch die Zufuhr von Wasserstoff und Sauerstoff, der meist aus der Umgebungsluft zugeführt wird, erzeugt die Brennstoffzelle Gleichstrom mit einem Wirkungsgrad von rund 50 %, je nach System und Einsatzbedingungen auch höher. Beim Prozess entsteht Abwärme, die über ein Kühlsystem abgeführt werden muss. Das bei der chemischen Reaktion entstehende Wasser wird teilweise in Dampfform zusammen mit der unbenutzten Zuluft ins Freie geleitet. Eine geringe Menge an Wasser wird ausgeschieden und kann in einem Gefäss aufgefangen oder über einen Schlauch ins Freie geleitet werden.

Bei einem Stromausfall startet eine Steuereinheit das System und kontrolliert die Gaszufuhr. Über die Steuereinheit wird das System auch für periodische, automatische Funktionstests

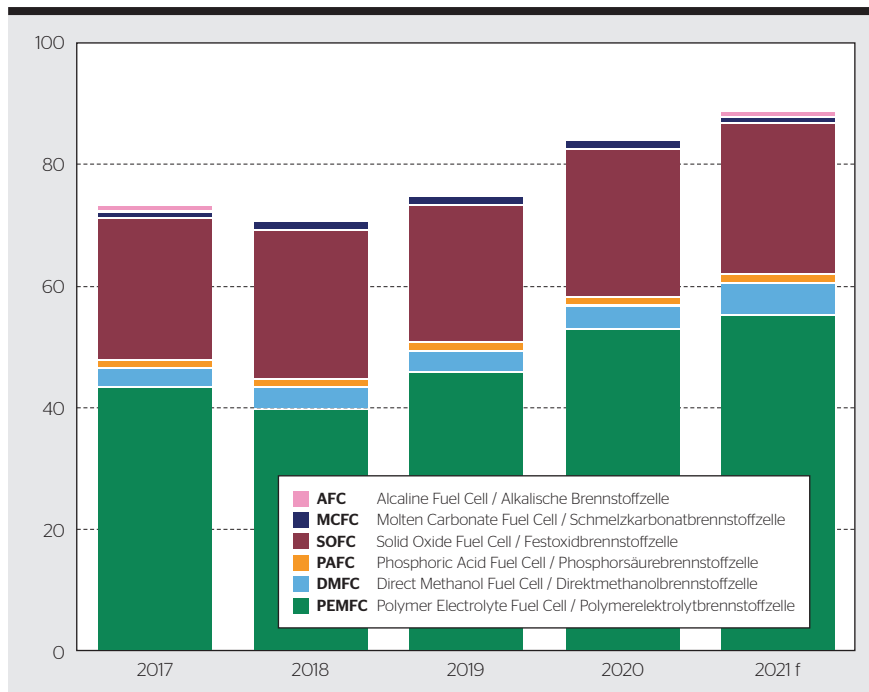


Bild 1 Anzahl weltweit verkaufter Brennstoffzellen nach Typ von 2017 bis 2021.

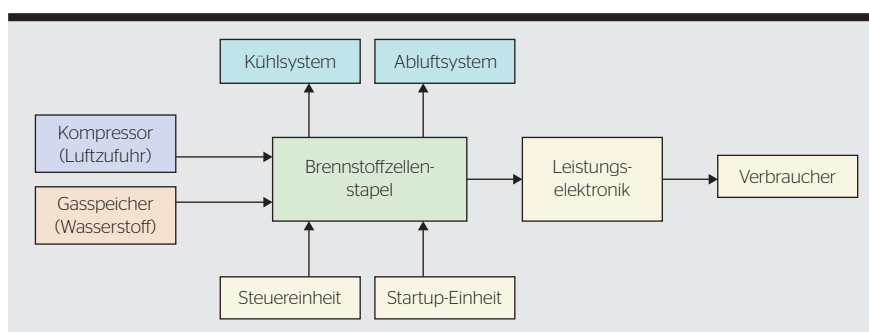


Bild 2 Prinzipschema der Systemkomponenten.

gestartet. Diese werden je nach Angaben des Systemherstellers in der Regel alle sechs bis acht Wochen durchgeführt. Der Wasserstoffverbrauch für diese Funktionstests muss eingeplant werden.

Ein Stromspeicher als Start-up-Einheit überbrückt die Anlaufzeit des Systems, die meist wenige Sekunden dauert. Wenn ein unterbrechungsfreier Betrieb der Verbraucher gewährleistet werden soll, sind die Anforderungen an die Start-up-Einheit lastabhängig.

Die Spannung des Brennstoffzellenstapels wird meist über eine Leistungselektronik (Wandler) auf die benötigte Spannung des Verbrauchers transformiert. Um den Strom und somit die Leistung des Systems und zugleich die Ausfallsicherheit des Systems zu erhöhen, können einzelne Stapel parallelgeschaltet werden.

Wasserstoff

Die meisten Brennstoffzellen werden mit gasförmigem Wasserstoff betrieben. Wasserstoff gilt als Sekundärenergieträger. Da Wasserstoff in der Natur nur chemisch gebunden vorkommt, muss Primärenergie für die Abtrennung aus der Verbindung aufgewendet werden. Je nach Art der für die Herstellung eingesetzten Primärenergie wird Wasserstoff mit verschiedenen Farben bezeichnet; am häufigsten sind Grün, Grau und Blau. Als grün wird Wasserstoff bezeichnet, wenn er mit Strom aus 100 % erneuerbaren Energiequellen erzeugt wurde. Bei grauem Wasserstoff wird mit Dampfreformierung meist Erdgas unter hohen Temperaturen in Wasserstoff und CO₂ umgewandelt, das ungenutzt in die Atmosphäre abgegeben wird. Wird das CO₂ abgefangen und über eine Kohlenstoffdioxidspei-



Bild 3 Aufstellung Wasserstoffzylinder zur Notstromversorgung.

cher-Technologie (Carbon Capture and Storage CCS) gespeichert, wird der Wasserstoff als blau bezeichnet. Die Bilanz wird dann als CO₂-neutral betrachtet. Diese Technologien sind noch Gegenstand von Forschungs- und Pilotprojekten [4].

Wasserstoff wird in verschiedenen Reinheitsgraden angeboten, die sich auch im Preis unterscheiden. Zu Beginn der Brennstoffzellenentwicklung musste das Gas meist in einer sehr hohen Reinheit von 99,999 % zugeführt werden, um Verunreinigungen der empfindlichen Membran zu vermeiden. Inzwischen gibt es Systeme, die auch mit dem preisgünstigeren technischen Wasserstoff mit einer Reinheit von 99,9 % betrieben werden können.

Wasserstoff liegt in einem grossen Temperaturbereich gasförmig vor, weshalb es für Anwendungen immer komprimiert eingesetzt wird. Handelsüblich sind 50-l-Druckgaszylinder mit einem Druck von 200 oder 300 bar, die als Einzelzylinder oder als Bündel mit je 12 Zylindern bereitgestellt werden.

Eine Alternative zu Gaszylindern sind Metallhydridspeicher, in denen Wasserstoff in einer festen Metallegierung durch eine reversible chemische Reaktion gebunden wird. In diesen Speichern kann Wasserstoff unter Zufuhr von Wärme ohne Zyklenverluste wieder freigesetzt werden. Bei der Kombination mit Brennstoffzellen wird deren Abwärme genutzt. Die Speicherung erfolgt in einem niedrigeren

Druckbereich, je nach Hersteller zwischen 30 und 40 bar. Solche Systeme werden in der Schweiz beispielsweise bei der Firma GRZ entwickelt und sind kommerziell erhältlich. Die Speicher sind modular aufgebaut und können in Serie geschaltet werden. Metallhydridspeicher sind schwer und deshalb vor allem für einen stationären Einsatz geeignet.

Bedarfsabschätzung

Um den Wasserstoffverbrauch für eine Brennstoffzellenanlage abzuschätzen, können Richtwerte angenommen werden. Ein 50-l-Wasserstoffzylinder mit 200 bar beinhaltet knapp 10 m³ beziehungsweise knapp 1 kg Wasserstoff. Mit einer Energiedichte des Wasserstoffs bei Normaldruck von 3 kWh/m³ enthält ein Zylinder 30 kWh chemische Energie. Mit einem elektrischen Wirkungsgrad des Brennstoffzellensystems von 50 % können mit einem Zylinder 15 kWh elektrische Energie erzeugt werden. In der Praxis variieren diese Werte je nach Wirkungsgrad des Systems und dadurch, dass in den Zylindern in der Regel ein Restdruck verbleiben muss.

Der Gasbedarf hängt je nach Anwendung von der geforderten Autonomiezeit und der Leistung des Verbrauchers ab. Bei einer Last von zum Beispiel 5 kW und einer Autonomiezeit von 72 Stunden werden 360 kWh elektrische Energie benötigt. Auf Basis der genannten Abschätzung werden zur Versorgung 24 Zylinder benötigt, was

zwei Paletten entspricht. Dabei sind die Reserven nicht berücksichtigt. Falls die Last nicht konstant bei 5 kW liegt, sondern teilweise etwas niedriger ist, bietet diese Abschätzung eine gute Orientierung. Bei einem Zylinderdruck von 300 bar erhöht sich die zur Verfügung stehende Autonomiezeit von 72 Stunden auf ca. 106 Stunden.

Sicherheit

Der Wasserstoffspeicher wird bevorzugt im Aussenbereich aufgestellt. Für die Leitungsführung und die Installation des Brennstoffzellensystems müssen entsprechende Sicherheitsmassnahmen und Brandschutzvorschriften beachtet werden. Für die Montage der Leitungen sollten erfahrene Installateure beauftragt und geeignete Materialien verwendet werden. Für die Verlegung der Gasleitungen sind Schweissverbindungen und möglichst wenig Verschraubungen zu bevorzugen.

Der Aufstellungsraum der Brennstoffzelle sollte mit einem Wasserstoffsensord ausgestattet sein, der regelmässig geprüft wird. Während des Betriebs der Brennstoffzelle ist für eine ausreichende Belüftung des Raumes zu sorgen. Im Rack selbst befindet sich zusätzlich ein durch den Hersteller eingebauter Sensor. Bei einer



Bild 4 Transportierfähiges mobiles 3-kW-Brennstoffzellensystem mit Metallhydridspeicher.

zu hohen Gas-Konzentration müssen die Ventile geschlossen und die Gaszufuhr gestoppt werden.

Anwendung als Notstromanlage

Als Notstromanlage kann ein Brennstoffzellensystem als Stand-Alone-System direkt an den Verbraucher angeschlossen werden oder als Range Extender die Batterie eines klassischen USV-Systems ergänzen. In letzterem Fall übernimmt bei einem Netzausfall zuerst die konventionelle USV-Anlage die Stromversorgung unterbrechungsfrei. Dabei muss die Ausgangsspannung der Brennstoffzelle mit einem Spannungswandler an die Zwischenkreisspannung der USV angepasst werden. Gute Planungshinweise für eine Notstromversorgung mit Brennstoffzellen gibt es in einem Planungsleitfaden aus Deutschland [5].

Event

Anlagentagung

Das erwähnte Notstromversorgungs-Projekt von Stadtwerk Winterthur wird an der Anlagentagung vom 21. September 2023 in Aarau im Detail vorgestellt. Infos: www.electrosuisse.ch/de/tagung/anlagentagung

Zurzeit wird in der Schweiz ein für die Astra installiertes Brennstoffzellensystem mit 20 kW für den Notstrom eines Autobahntunnels erprobt. Geplant und installiert wurde die Anlage durch die Firma H2tec (h2tec.ch). Der Wasserstoffspeicher ist in einem gesicherten Aussenbereich aufgestellt, die Brennstoffzelle ist in einem separaten belüfteten Innenraum installiert. Bild 3 zeigt das Gehäuse für die Aufstellung der Wasserstoffzylinder. Aufgrund guter Erfahrungen klärt Astra weitere Notstrom-Projekte mit Brennstoffzellen ab.

Auch Stadtwerk Winterthur hat die Vorteile von Brennstoffzellensystemen erkannt und wird noch in diesem Jahr ein erstes Pilotprojekt mit einer 5-kW-Notstromversorgung realisieren.

Neben den Anwendern gibt es in der Schweiz auch Firmen, die eigene Systeme anbieten. Ein Beispiel ist das Unternehmen Inerso GmbH, das einen Prototyp für ein netzunabhängiges, transportierfähiges und inselfähiges Brennstoffzellensystem mit Metallhydridspeicher entwickelt hat. Auf Bild 4 ist das System zu sehen mit einer elektrischen Nennleistung von 3 kW und einer Speicherkapazität von 3 kg Wasserstoff. Dies entspricht einer nutzbaren elektrischen Speicherkapazität von 50 kWh.

Fazit

Die technische Reife von PEM-Brennstoffzellensystemen ist heute bezüglich Leistung, Funktionalität und Sicherheit weit fortgeschritten. Im Vordergrund der Entwicklung stehen die Kostenreduktion und die Verfügbarkeit von Serviceleistungen sowie die Produktion von grünem Wasserstoff. Auch in letzterem Bereich werden künftig neue Erkenntnisse erwartet. Es ist davon auszugehen, dass in einem sich verändernden politischen Umfeld und steigenden Anforderungen durch Umweltvorschriften Wasserstoff und Brennstoffzellensysteme ihren Platz auf dem Markt finden.

Referenzen

- [1] U. Trachte, P. Sollberger, T. Gisler, Langzeittest USV mit Brennstoffzellen, BFE, Juni 2019.
- [2] Cleantech Alps: Hydrogen in Switzerland. What role can Switzerland play in this sector, 2022.
- [3] Fuel Cell Industry Review, E4tech, 2021.
- [4] CO₂-Abscheidung und Speicherung (CCS) und Negativemissionstechnologien (NET), Wie sie schrittweise zum langfristigen Klimaziel beitragen können, Bundesrat, 2022.
- [5] Planungsleitfaden Brennstoffzellen-Ersatzstromversorgungen, Clean Power Net (CPN), NOW GmbH, 2018.



Autorin

Ulrike Trachte ist Senior wissenschaftliche Mitarbeiterin am CC thermische Energiesysteme und Verfahrenstechnik.
→ HSLU, 6048 Horw
→ ulrike.trachte@hslu.ch

RÉSUMÉ

Des piles à combustible dans le domaine des générateurs de secours

Utiliser de l'hydrogène comme réserve d'énergie

Outre leur utilisation dans le domaine de la mobilité, les piles à combustible fonctionnant à l'hydrogène peuvent également apporter une importante contribution dans le domaine stationnaire, par exemple pour l'alimentation électrique de secours. Elles font déjà preuve aujourd'hui d'une grande maturité technologique en termes de puissance, de fonctionnalité et de sécurité.

L'hydrogène n'existant dans la nature que lié à d'autres éléments, de l'énergie primaire doit être dépensée pour l'extraire d'un composé chimique. Il est donc désigné par différentes couleurs, selon le type d'énergie primaire utilisée pour sa production; les plus courantes sont le vert, le gris et le bleu. Il est appelé hydrogène vert lorsqu'il a été produit avec de l'électricité provenant de sources d'énergie 100 % renouvelables. L'hydrogène gris est généralement produit en transformant du gaz naturel à haute température

par vaporeformage en hydrogène et en CO₂, ce dernier étant ensuite rejeté dans l'atmosphère sans être utilisé. Par contre, si le CO₂ est capturé et stocké via une technologie CCS (Carbon Capture and Storage), l'hydrogène est dénommé hydrogène bleu. Le bilan est alors considéré comme neutre en CO₂.

Un générateur de secours reposant sur un système de piles à combustible peut être raccordé directement au consommateur en tant que système autonome, ou prolonger l'autonomie de la batterie d'un système ASI (alimentation sans interruption) classique. Dans ce dernier cas, lors d'une panne de réseau, c'est tout d'abord l'ASI classique qui prend le relais de l'alimentation électrique, et ce, sans interruption.

La réduction des coûts, la disponibilité des services ainsi que la production d'hydrogène vert se trouvent au premier plan de ce développement.