

BRENNSTOFFZELLEN IM XL-FORMAT

In Personen- und Lastwagen werden Wasserstoff-Antriebe mit Brennstoffzellen heute schon eingesetzt. Soll diese Form der Stromerzeugung auch bei elektrisch angetriebenen Baumaschinen, Schiffen oder Flugzeugen zur Anwendung kommen, braucht es sehr leistungsstarke Brennstoffzellen mit wenig Gewicht. Eine Westschweizer Firma arbeitet zusammen mit der École polytechnique fédérale de Lausanne (am Standort Sitten/VS) an einer innovativen Lösung.

Hyundai Nexo und Toyota Mirai sind aktuell die zwei Wasserstofffahrzeuge, die in Serie gefertigt werden. Ihre Elektromotoren werden durch Strom aus Brennstoffzellen mit gut 100 Kilowatt Leistung angetrieben. Es gibt auch Hersteller von Lastkraftwagen und Bussen, die verschiedene Elektrofahrzeuge lanciert haben, wo der Strom für die Motoren durch «kalte Verbrennung», also die direkte Umwandlung von Wasserstoff in einer Brennstoffzelle, generiert wird. Batterieelektrische Fahrzeuge sind heute zwar allgemein viel stärker verbreitet. Es gibt aber Anwendungen, wo Wasserstofffahrzeuge eine interessante Alternative darstellen, weil mit komprimiertem Wasserstoff grosse Mengen an Energie gespeichert werden können.

«Brennstoffzellen werden schon in zahlreichen mobilen Anwendungen eingesetzt, doch können sie noch besser werden. Wir arbeiten an Brennstoffzellen mit grosser Leistung von bis zu einem Megawatt, die leicht, kompakt und robust sind und damit für den Einsatz in Baufahrzeugen, Schiffen



Brennstoffzellen-System der EH Group mit einer Leistung von 250 Kilowatt (Prototyp). Das neu entwickelte Gerät verfügt über rund 120 Sensoren und Aktoren, darunter Druck-, Temperatur- und Luftfeuchtigkeitssensoren, die dazu dienen, alle Komponenten des Systems sicher zu steuern. Foto: EH Group

und Flugzeugen in Frage kommen», sagt Mardit Matian, Geschäftsführer des Unternehmens EH Group Engineering in Nyon (VD). Der Ingenieur gründete 2017 mit der EH Group eine eigene Firma, die mittlerweile 18 Mitarbeitende zählt und erste Kunden mit Prototypen beliefert. 2022 stellte das Jungunternehmen das Konzept eines Brennstoffzellen-Systems (vgl. Textbox S. 4) mit 250 Kilowatt Leistung vor. Dieses wurde seither zu einem Prototypen weiterentwickelt, unterstützt durch ein BFE-Forschungsprojekt.

Weniger dicke PEM-Zellen

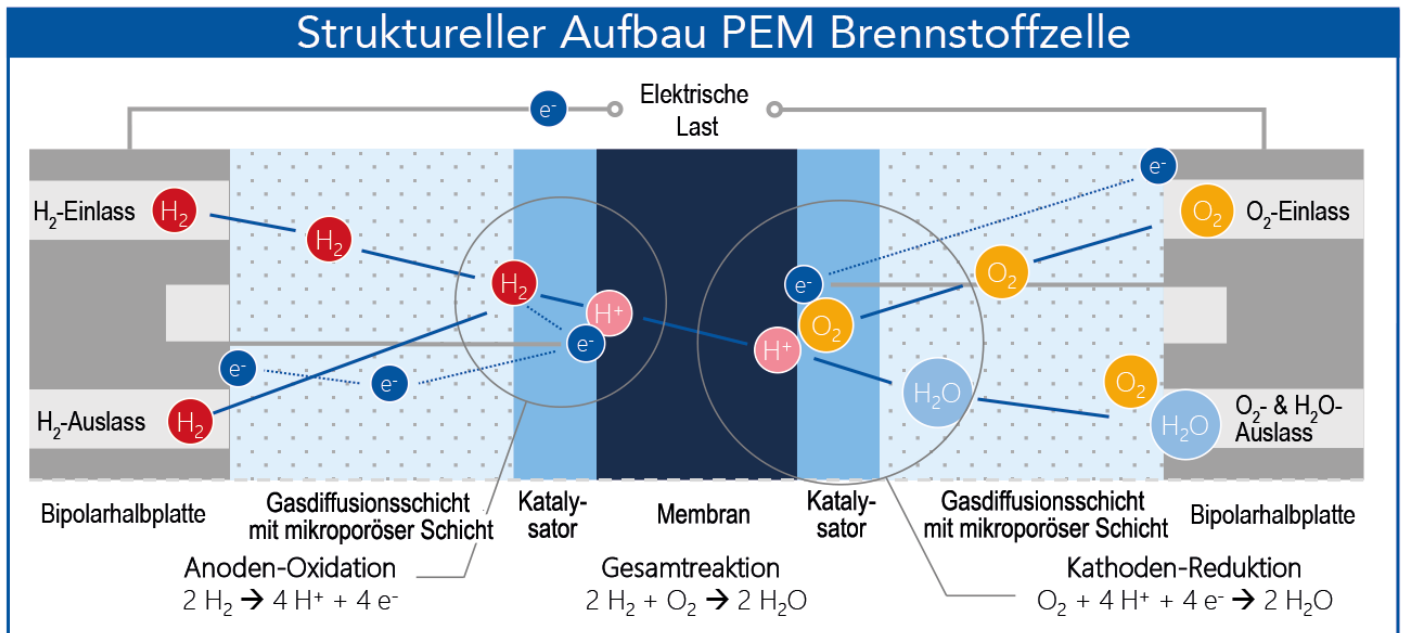
Um die Innovation des Westschweizer Start-up zu verstehen, braucht es einen Blick ins Innenleben einer sogenannten PEM-Brennstoffzelle, wie sie heute vorzugsweise für mobile Anwendungen eingesetzt wird. PEM steht für «Proton Exchange Membrane», auf Deutsch «Protonen-Austausch-Membran». Die namensgebende Membran ist das Herzstück der PEM-Brennstoffzelle: sie hält die beiden Gase Wasserstoff und Sauerstoff voneinander fern, ist aber durchlässig für Wasserstoff-Ionen (Protonen), die entstehen, wenn Wasserstoffmoleküle an der Anode ihre Elektronen abgeben. Die Protonen diffundieren von der Anode durch die Membran zur Kathode, während die Elektronen extern über eine Last

(bei Mobilitätsanwendungen ein Elektromotor) zu Kathode fließen. An der Kathode reagieren die ankommenden Protonen und Elektronen zusammen mit dem dort zugeführten Sauerstoff zu Wasser.

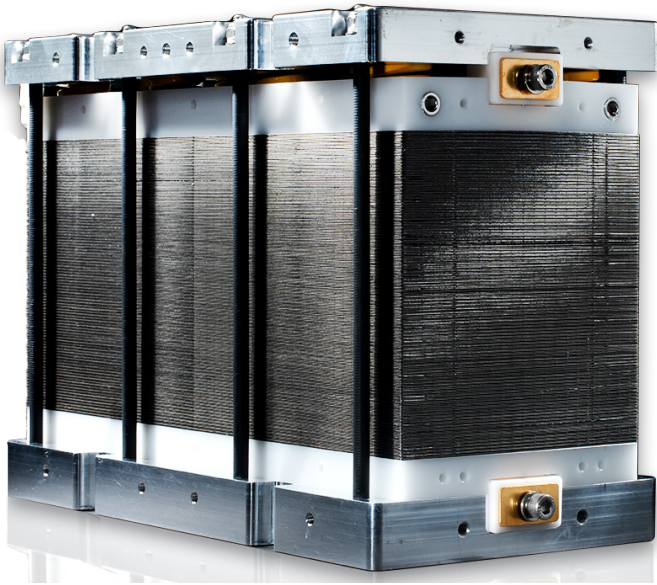
Für die zwei Teil-Reaktionen braucht es beidseitig der Membran eine Katalysatorschicht, die mit der Membran zusammen die sogenannte Membran-Elektroden-Einheit (Membrane electrode assembly, kurz MEA) bildet. Beidseitig grenzt eine Gasdiffusionsschicht (Gas diffusion layer/GDL) an, die eine mikroporöse Schicht (Microporous layer/MPL) enthält (vgl. Abbildung unten). Auf diese beiden Schichten, GDL und MPL, fokussierte das BFE-Forschungsprojekt EHSTACK-XL. In einer typischen Brennstoffzelle sind diese beiden Schichten 180 bis 400 Mikrometer dick. Im Verlaufe des Projekts EHSTACK-XL wurde diese Dicke auf unter 100 Mikrometer reduziert. Zugleich wurde die Diffusion von Wasser und Gas durch die MPL/GDL-Schichten verbessert.

Ein einziger Stapel

Um die Ziele in diesem Projekt zu erreichen, konnte die EH Group auf die Unterstützung von Doktoranden der EPFL aus der Forschungsgruppe Jan Van Herle zurückgreifen. Sie ent-



Funktionsweise einer PEM-Brennstoffzelle: Von der Bipolarplatte diffundiert der Wasserstoff (H_2) durch die Gasdiffusionsschicht zur Anodenseite der katalysatorbeschichteten Membran. Dort wird der Wasserstoff oxidiert: unter Abgabe von Elektronen bilden sich H^+ -Ionen (Protonen), die über die feuchte Membran zur Kathodenseite wandern. Die Elektronen gelangen über einen externen Leiter zur Kathodenseite und bilden einen elektrischen Strom. Auf der Kathodenseite wird der Sauerstoff durch die Elektronen reduziert und reagiert mit H^+ -Ionen aus der Membran zu Wasser (H_2O). Die Gasdiffusionsschicht (GDL) besteht aus Karbonpapier oder -gewebe und ermöglicht die gleichmäßige Verteilung der Reaktionsmedien auf die Katalysatorschichten der Anoden- wie der Kathodenseite. Die GDL hat massgeblichen Einfluss auf den Wirkungsgrad einer Brennstoffzelle. Die mikroporöse Schicht (MPL), welche die Gasdiffusionsschicht ergänzt, verbessert die Regulierung des Wasserhaushalts der Elektroden. Grafik: RWTH Aachen/VDMA, bearbeitet B. Vogel



Brennstoffzellen-Systeme bestehen unter anderem aus einem oder mehreren Stapeln mit übereinander geschichteten Brennstoffzellen.
Foto: EH Group

wickelten zwei Arten von gleichmässigen MPL/GDL-Schichten und untersuchten ihre mikrostrukturellen Eigenschaften im Labor. Eine Herausforderung bestand darin, die MPL/GDL-Schichten so herzustellen, dass diese trotz einer geringen Dicke verlässlich und effizient sind (vgl. Textbox unten). Ferner wurde darauf hingearbeitet, die Schichten mit einer ungewöhnlich grossen aktiven Fläche von 600 cm² herstellen zu können. Das ist mehr als doppelt so gross wie in gängigen Brennstoffzellen.

Mit grossflächigen Brennstoffzellen lassen sich besonders leis-



Ein Brennstoffzellen-System ist eine komplette Betriebseinheit, die den Brennstoffzellen-Stapel mit zusätzlichen Komponenten ergänzt.
Foto: EH Group

tungsfähige Stapel bauen. Die Stapel der EH Group verfügen über Leistungsdichten von bis zu acht Kilowatt pro Liter. Damit ist es der Firma gelungen, mit einem einzigen Stapel ein Brennstoffzellen-System mit 250 Kilowatt Leistung zu konstruieren. Für eine so hohe Leistung müssen andere Hersteller zwei oder vier Stapel zusammenschalten. Demgegenüber ist eine Ein-Stapel-Lösung leichter und kompakter, auch weil die neben dem Stapel in der Brennstoffzelle verbauten Komponenten (Balance-of-System) weniger Material benötigen. Die Leistung der einzelnen Zellen konnte im Zuge des jüngsten Projekts um 10 bis 15 % verbessert werden.

EXPERTISE AUS DEN MATERIALWISSENSCHAFTEN

Die Herstellung der MPL/GDL-Schichten für Brennstoffzellen erfordert detaillierte Kenntnisse aus den Materialwissenschaften. Die GDL-Schicht (Gas Diffusion Layer) besteht aus einer Mischung des Kunststoffs PTFE (Polytetrafluorethylen) und Kohlenstoffpartikeln (Russ). Im Forschungsprojekt EHSTACK-XL wurde unter anderem die Mikrostruktur und die Oberfläche der entwickelten GDL-Schicht mit Rasterelektronenmikroskopie analysiert. Ferner wurden Eigenschaften wie elektrische Leitfähigkeit, Dicke und Porosität gemessen.

Zur Herstellung der mikroporösen Schicht (MPL) wird eine PTFE-haltige Lösung mit Kohlenstoffpulver verwendet und anschliessend mehrere Stunden lang intensiv gemischt. Der Kohlenstoffbrei wird mit einer Siebdruckmaschine auf ein Kohlenstoffsubstrat, das die GDL-Schicht bildet, aufgetragen und bei 380 °C thermisch getrocknet, um die MPL-Mikrostruktur auszubilden.

Die verbesserten MPL/GDL-Schichten tragen dazu bei, dass leistungsfähigere Brennstoffzellen mit einem kompakteren Volumen gebaut werden können.



In Sattelschleppern und anderen Nutzfahrzeugen werden heute schon Brennstoffzellen eingesetzt. Die sehr leistungsstarken Brennstoffzellen-Systeme der EH Group könnten künftig in Baumaschinen, Schiffen oder auch in Flugzeugen zum Einsatz kommen. Foto: Shutterstock

Zertifizierung für Schifffahrt

Die neue Brennstoffzellen-Technologie wird nach Angaben der EH Group 2025 die Marktreife erreichen. Mehrere Zwischenschritte auf dem Weg zu diesem Ziel sind bisher gelungen: Das Konzept wurde für kleine Stapel mit einer Leistung von bis zu 15 Kilowatt getestet. Laborexperimente erzielten gute Leistungen unter verschiedenen Betriebsbedingungen. Ein 250-kW-Stack wurde als Prototyp gebaut.

Viele Technologieentwicklungen starten im Labormassstab und müssen später auf die Grösse eines kommerziellen Brennstoffzellen-Systems hochskaliert werden. Die Brennstoffzelle der EH Group soll nach Abschluss des Entwicklungsprozesses am Standort Nyon vollautomatisch produziert werden, voraussichtlich ab Ende 2025. In einem ersten Schritt sollen Brennstoffzellen-Systeme mit 250 kW Leistung hergestellt werden. Grosse Systeme mit 500 kW und 1'000 kW für die Anwendung in Datenzentren und für elektrisch angetriebene Schiffen und Flugzeuge sollen folgen.

- Der englischsprachige **Schlussbericht** zum Projekt «EHSTACK-XL – Grosses Single-Stack PEM-Brennstoffzellensystem für Schwerlastmobilität und stationäre Grossanlage» ist abrufbar unter:
<https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=50923>.

STAPEL AUS BRENNSTOFFZELLEN

Eine Brennstoffzelle wandelt die in Wasserstoff gespeicherte chemische Energie in Strom um, wobei zusätzlich Wärme und Wasser entstehen. Für die praktische Anwendung werden mehrere Dutzend oder mehrere Hundert Brennstoffzellen zu einem Stapel (engl. stack) übereinander gelegt und in Serie geschaltet. Ein einsatztaugliches Brennstoffzellen-System besteht aus einem oder mehreren Stapeln sowie in der Regel aus vier Teilmodulen: Erstens einem Wasserstoff-Zufuhrsystem, das den Stapel bei geeignetem Durchfluss und Druck mit Wasserstoff versorgt. Zweitens einem Luftzufuhrsystem, das unabdingbar ist für den sicheren und effizienten Betrieb von PEM-Brennstoffzellen. Drittens einem Wärmemanagementsystem, das die Befeuchtung der Polymermembran und den guten Zustand des Katalysators gewährleistet. Viertens einem Stromversorgungssystem, das den Brennstoffzellen-Stapel mit der Last verbindet oder von dieser trennt.

- **Auskünfte** erteilt Stefan Oberholzer, Leiter des BFE-Forschungsprogramms Brennstoffzellen:
stefan.oberholzer@bfe.admin.ch.

- Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Brennstoffzellen und Wasserstoff finden Sie unter
www.bfe.admin.ch/ec-h2.