

Energieautarkes Mehrfamilienhaus in Brütten ohne Netzanschluss oder externe Energiequellen. Die überschüssige Sommerenergie der Photovoltaik wird elektrolysiert und der Wasserstoff in einem Tank für das Winterhalbjahr gespeichert.



© RENÉ DÜRR

Wasserstoff als Energieträger – leicht, kraftvoll und umweltfreundlich

Strom aus erneuerbaren Energiequellen fließt nicht immer dann, wenn er gebraucht wird. Ein vielversprechender Energiespeicher ist Wasserstoff. Er gilt deshalb als zentraler Pfeiler einer künftigen Energiewirtschaft. Doch ist er auch sicher genug?

Matthias Wegmann

Die Klimaziele des Pariser Abkommens sind nur erreichbar, wenn das volle Potenzial der erneuerbaren Energien ausgeschöpft wird. Dabei kann Wasserstoff als Energieträger und Brennstoff eine entscheidende Rolle spielen. Umweltexterten sprechen schon vom Wasserstoff als dem Erdöl der Zukunft. So hat Deutschland im Juni 2020 eine nationale Wasserstoffstrategie ausgerufen. Mit insgesamt neun Milliarden Euro bis 2024 sollen der Markthochlauf im Inland sowie Projekte im Ausland unterstützt werden.

Auch in der Schweiz dringt Wasserstoff immer tiefer in die Energiewirtschaft vor. Die erste

kommerzielle Produktionsanlage für Wasserstoff ist seit einem Jahr im Laufwasserkraftwerk Gösgen in Betrieb. Eine weitere Anlage wird von der Axpo im Kraftwerk Rheinsfelden bei Eglisau/Glattfelden entwickelt. Basler & Hofmann ist für die Sicherheitsplanung zuständig. Und Hyundai Hydrogen Mobility, ein Joint Venture des südkoreanischen Fahrzeugherstellers Hyundai und des Schweizer Unternehmens H₂ Energy, liefert bis ins Jahr 2025 eine Flotte von 1600 Brennstoffzellen-Lastwagen an Schweizer Kunden, namentlich an ausgewählte Transportunternehmen und Grossverteiler. Parallel dazu möchte das Unternehmen den dringend nötigen Ausbau des Wasserstofftankstellennetzes forcieren.

WASSERSTOFF

Wasserstoff (in der chemischen Nomenklatur H_2) besteht aus zwei Wasserstoffatomen (H) und ist bei Umgebungsbedingungen ein farb- und geruchloses Gas. Es ist 14-mal leichter als Luft und kann gasförmig oder verflüssigt in Druckbehältern oder in Metallhydridspeichern gelagert werden. In der Industrie wird Wasserstoff schon lange im grosstechnischen Massstab verwendet, zum Beispiel als Ausgangsstoff für die Herstellung von Ammoniak für Kunstdünger oder Sprengstoff, aber auch in der Lebensmittelindustrie.

Höchste Energiedichte aller Brennstoffe

Für die Energiewirtschaft stehen die Speicherkapazitäten von Wasserstoff im Vordergrund. Beim Produktionsprozess wird elektrische Energie chemisch gebunden, sie wird dadurch lange und stabil speicherbar sowie gut transportierbar. Wasserstoff zeichnet sich durch die höchste gewichtsbezogene Energiedichte aller sekundärer Energieträger aus. Das Gas kann durch Steamreforming oder durch Elektrolyse produziert werden. Bei Letzterem wird als Ausgangsstoff Wasser mit elektrischem Strom in Sauerstoff und Wasserstoffgas aufgespalten. Dieses kann später beim Anwender in einer Brennstoffzelle emissionsfrei rückverstromt werden. Nachhaltig ist die Wasserstoffprodukti-

on nur, wenn der Strom aus erneuerbarer Energie stammt. In diesem Fall spricht man von grünem Wasserstoff.

Mit der Umwandlung in Wasserstoff (Power to H_2) und anschliessender Rückverstromung vor Ort lassen sich erneuerbare Energien auch für die Dekarbonisierung in Sektoren wie Mobilität und Gebäuden einsetzen. Konzepte dafür gibt es seit den 1970er-Jahren, doch die billig verfügbaren fossilen Energieträger verhinderten den Durchbruch lange Zeit. Heute verleiht die politisch geforderte Dekarbonisierung der Wasserstofftechnologie einen neuen Schub. Dies wirft aber auch die Frage auf, wie sicher und wirtschaftlich Wasserstoff in diesen neuen Anwendungen eingesetzt werden kann.

Reiner Wasserstoff kann nicht explodieren. In einem Gemisch mit Sauerstoff ist er jedoch ab einem Wasserstoffanteil von vier Prozent zündfähig. Erreicht dieser 18 Prozent, entsteht das klassische Knallgasgemisch, das prinzipiell detonationsfähig ist. Bei einer Leckage oder im Freien kann ein solches Gemisch aufgrund der physikalischen Eigenschaften von Wasserstoff jedoch gar nicht zustande kommen. Anders ist die Situation in geschlossenen Räumen oder verdämmten Situationen, in denen die aktuellen Sicherheitsbestimmungen berücksichtigt werden müssen. Darin wird Wasserstoff wie andere brennbare Gase

Back-up-System des IT-Servers der Firma GKN in Bruneck (It). Die Stromversorgung wird durch Photovoltaik sichergestellt. Die Anlage umfasst auch einen Elektrolyseur, einen durch die GKN produzierten Wasserstoff-Metallhydridspeicher sowie eine Brennstoffzelle zur Notstromversorgung.



behandelt. Konventionelle Wasserstoffspeicher- und Leitungssysteme, wie sie in der Industrie benutzt werden, müssen demnach dicht ausgelegt und mit Sonden und Sicherheitsventilen ausgerüstet sein, um sicher betrieben werden zu können.

Leuchtturmprojekt im Gebäudesektor

In Bezug auf die neuen Anwendungsgebiete in der Energiewirtschaft besteht jedoch durchaus ein Regelungsbedarf, der nun angegangen wird. Wichtig sind die entsprechenden Bewilligungsverfahren im Gebäudesektor, der wegen seines Anteils von rund 24 Prozent an den Treibhausgasemissionen in der Schweiz prädestiniert ist für die Anwendung von grünem Wasserstoff. Eines der Leuchtturmprojekte ist das vollkommen energieautarke Mehrfamilienhaus in Brütten bei Zürich (siehe Foto auf Seite 15). Bei seiner Einweihung im Jahr 2016 wurde es feierlich vom Stromnetz abgekoppelt. Basler & Hofmann hat in diesem Projekt die Beratungen im Bereich der Photovoltaikhülle sowie bei der Energiespeicherung übernommen. Neben der Dachsolaranlage ernten grossflächige Fassadenmodule aus Dünnschichtzellen so viel Sonnenenergie wie möglich. Die grösste technische Herausforderung lag jedoch in der Bereitstellung der Energie zum richtigen Zeitpunkt. Hier bot sich Wasserstoff als

Energiespeicher an. Im Sommer, wenn die Solarzellen mehr Strom liefern, als benötigt wird, wird Wasserstoff mithilfe eines modernen Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyseurs (PEM) produziert und bei 30 bar in zwei Speichertanks aus Spezialstahl mit total 120 Kubikmeter Inhalt gespeichert. Bei Bedarf, zum Beispiel im Winter, kann dieser dann mittels einer angeschlossenen Brennstoffzelle rückverstromt werden.

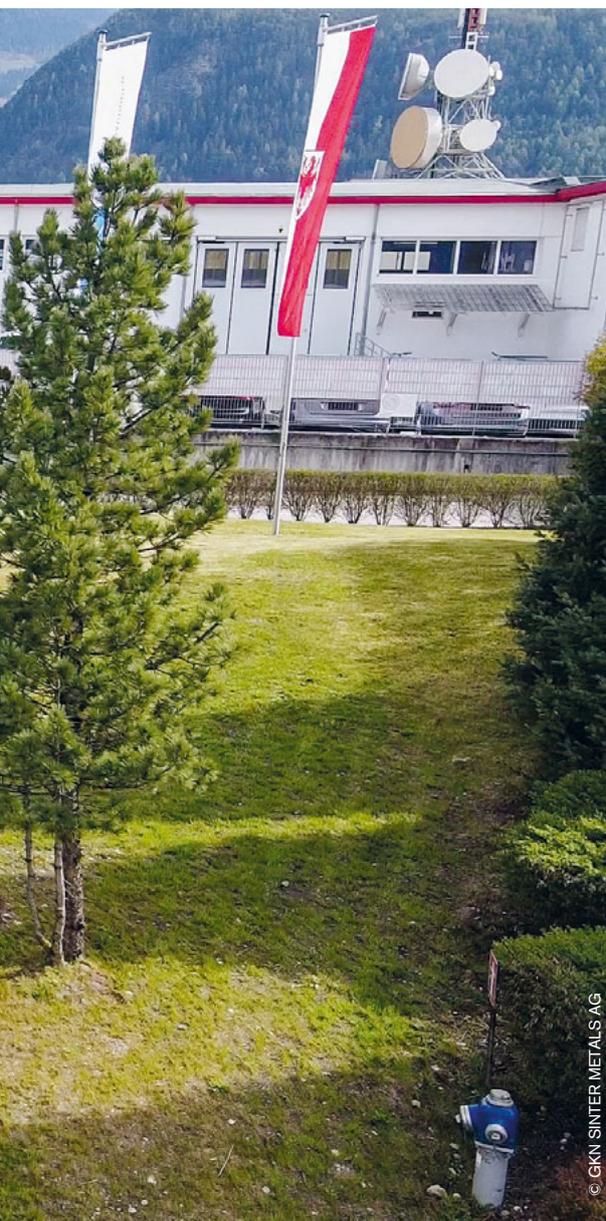
Dezentrale Speicherung für dezentrale Produktion

Das Projekt Brütten hat insofern Vorbildcharakter, als es exemplarisch zeigt, dass ein Wasserstoffsystem perfekt in eine künftige vermehrt dezentrale Energiewirtschaft passt. Wind-, Sonnenenergie, Biogas und auch Erdwärme werden nicht mehr wie die Kernkraft oder Strom aus Wasserkraftwerken in Grosskraftwerken weit weg vom Nutzer erzeugt, sondern mittels kleinerer Anlagen direkt vor Ort. Die Wasserstofftechnologie stösst die Türen zur Vision eines umweltfreundlichen Kleinkraftwerkes sozusagen im Vorgarten von Otto Normalverbraucher auf.

Auch bei kritischen Infrastrukturen wird einer emissionsarmen Notstromversorgung auf der Basis von Brennstoffzellen ein grosses Potenzial zugesprochen. Der Vorteil gegenüber einer Absicherung durch Grossbatterien ist unter anderem, dass der Energieträger Wasserstoff schnell nachgetankt und so ein kontinuierlicher Betrieb gewährleistet werden kann, wie eine Studie des Instituts für Maschinen- und Energietechnik der Hochschule Luzern gezeigt hat. In der nationalen Risikoanalyse hat der Bundesrat für empfindliche Infrastrukturen eine Versorgung über mindestens 72 Stunden gefordert. Deshalb ist sein Einsatz vor allem im sensiblen Telekommunikationsbereich, aber zum Beispiel auch in Verkehrsinfrastrukturen wie Tunnels angezeigt. Derzeit planen wir für das ASTRA die Notstromversorgung für die Überdachung der A1 bei Neuenhof.

Immer mehr Bauprojekte setzen bei der Energieversorgung mittlerweile auf Wasserstoff und Brennstoffzellen. Da die Investitionen dafür jedoch hoch sind, lohnt es sich, das System für eine grössere Anzahl Nutzer zu konzipieren. Deshalb werden heute vermehrt ganze Stadtquartiere und Gewerbegebiete mit einem Gesamtenergiekonzept auf der Basis von Wasserstoff geplant. Wir sprechen von einer «Dorfbrunnen-Strategie». Das Pendant zum Dorfbrunnen ist dabei die Energiezentrale, in der die erneuerbar produzierte Energie in einem Hybridsystem aus Batterien, einem Erdreichspeicher und einem Wasserstoffsystem gespeichert wird.

Die «Dorfbrunnen-Strategie» setzen wir im Konzept für den «GreenInnovationPark» um, ein Modellprojekt im Wirtschaftsraum Baden-Württemberg. In Vöhringen, rund 70 Kilometer südlich von Stuttgart, soll auf einer Fläche von 13 Hektaren ein Gewerbegebiet entstehen, das sich ganz dem Thema Wasserstoff und anderen Nachhaltigkeitsthemen verschrieben hat. Neben dem oben beschriebenen klimaneutralen und nahezu autarken Energiekonzept möchte der «GreenInnovationPark» auch bewusst Betriebe anziehen,





Bis 2025 beschaffen ausgewählte schweizerische Transportunternehmer und Grossverteiler eine Flotte von 1600 Brennstoffzellen-Lastwagen über ein Joint Venture von Hyundai und H2 Energy.

die in der Forschung und Entwicklung von innovativen Wasserstofflösungen tätig sind und so als Drehscheibe für konkrete Wasserstoffanwendungen dienen. Der Park soll sogar genügend Energie für eine klimaneutrale regionale Versorgung liefern.

Nachteil Wirkungsgrad – Vorteil Gewicht und Betankung

Auch die Dekarbonisierung des Verkehrs ist wichtig, weil er mit einem derzeitigen Anteil von 32 Prozent an den Klimagasemissionen in der Schweiz einer der Hauptsünder ist. Bezüglich Energieeffizienz sind Wasserstoffautos gegenüber direkt batteriebetriebenen Fahrzeugen zwar unterlegen. Die Erzeugung des Wasserstoffs mit Strom und die erneute Umwandlung in Strom in der Brennstoffzelle wirken sich doppelt negativ auf den Wirkungsgrad aus. Der Well-to-Wheel-Wirkungsgrad – also die Energieeffizienz von der Bereitstellung der Antriebsenergie bis zur Bewegungsenergie, die der Antrieb auf die Strasse bringt – beträgt bei modernen Batteriefahrzeugen rund 85 Prozent, bei Wasserstoffautos bis zu 50 Prozent. Benziner erreichen gut 25 Prozent, mit Diesel rund 33 Prozent.

Dieser Nachteil gegenüber Batterieautos fällt jedoch weniger ins Gewicht, wenn genug erneuerbare Energie greifbar ist, um den emissionsfreien Wasserstoff zu produzieren. Ein weiterer Vorteil von Wasserstoffautos liegt in ihrer höheren Reichweite und dem geringeren Gewicht des Speichersystems. Ein handelsüblicher 600-bar-Drucktank wiegt 125 Kilogramm und enthält 6 Kilogramm Wasserstoff, der es auf rund 500 Kilometer Reichweite bringt. Eine Lithium-Ionen-Batterie in einem E-Auto mit ähnlich hoher Reichweite, zum Beispiel einem Tesla S, wiegt dagegen 830 Kilogramm und ist auch volumemässig viel grösser, was alles auf Kosten der Nutzlast geht. Kommt hinzu, dass ein Wasserstoff-Drucktank an einer entsprechenden Tankstelle in drei Minuten gefüllt ist, während der Akku eines E-Autos je nach Leistung der Ladestation eine ganze Nacht oder länger braucht, bis er aufgeladen ist.

Überschaubare Brandgefahr

In Crash-Tests konnte gezeigt werden, dass die Brandgefahr von Wasserstoffautos gering ist. Im Falle eines Lecks entweicht Wasserstoff aus dem Drucktank nach oben, bevor er in oder unter das Fahrzeug fliesst. Das Gas verbrennt wie bei einem Schweißbrenner mit einer zwar energiereichen, aber örtlich begrenzten Stichflamme. Weil Wasserstoff keinen Kohlenstoff enthält, erzeugt er beim Abbrennen nur eine relativ geringe Wärmestrahlung. Benachbarte Gegenstände fangen daher weniger leicht Feuer und für Menschen, die sich in der Nähe aufhalten, ist die Gefahr geringer, Verbrennungen zu erleiden.

Unter den aktuellen Rahmenbedingungen ist die Wasserstoffmobilität vor allem für lange Fahrten oder den Transport schwererer Lasten vorteilhaft, zum Beispiel im Schwerverkehr. Allerdings steht dem Durchbruch des Wasserstoffantriebs auch noch die fehlende Infrastruktur im Wege, also ein dicht ausgebautes Wasserstofftankstellennetz. Klimaexperten sind sich aber einig, dass eine künftige emissionsarme Fahrzeugflotte aus einem Mix von wasserstoff- und batteriebetriebenen E-Fahrzeugen bestehen wird.

Wasserstoff hat als Energieträger und Brennstoff vor allem in den Bereichen Gebäude und Mobilität eine grosse Zukunft. Er wird eine zentrale Rolle bei der Dekarbonisierung der Energiewirtschaft spielen, sofern die technologischen Fortschritte umgesetzt werden können. Dazu müssen für die neuen Anwendungen von Produktionsanlagen über Tankstellen bis zu Gesamtsystems in Gebäuden auch die Bewilligungsverfahren weiterentwickelt werden, die aufgrund fehlender Erfahrung der zuständigen Behörden oft noch mit viel Unsicherheiten und Vorbehalten verbunden sind. Um diese zu überwinden, ist der direkte Austausch mit den Verantwortlichen auf allen Ebenen entscheidend, sei dies beim Bund, in den Kantonen oder sogar im internationalen Umfeld. Unsere Projekterfahrung zeigt, dass dabei nur eine offene Kommunikation der wissenschaftlichen Evidenz zum Erfolg führen kann.

Über den Autor

Matthias Wegmann, Dr. sc. ETH und leitender Experte Sicherheit bei Basler & Hofmann AG, beschäftigt sich seit 2015 mit Projekten zur Wasserstofftechnologie und ihren Potenzialen, Chancen und Risiken.