

WASSERSTOFF AUS DER BATTERIE

Speicher sind ein Topthema der aktuellen Energieforschung. Ein Wissenschaftlerteam der ETH Lausanne hat ein neuartiges Batteriekonzept entwickelt: Die chemische Speichereinheit wird wie gewöhnlich mit Strom geladen, bei der Entladung aber setzt sie nicht nur Strom frei, sondern wahlweise auch Wasserstoff. Nach Laborversuchen wurde das Konzept in Martigny (VS) in einem Demonstrator mit 40 kWh Speicherkapazität umgesetzt.



Dr. Véronique Amstutz und Dr. Heron Vrabel vor der Redox-Flussbatterie im EPFL-Forschungslabor in Martigny. In den sechs Tanks im Hintergrund findet der elektrochemische Prozess statt, bei dem der positive und der negative Elektrolyt ge- bzw. entladen wird. Foto: B. Vogel

Sinergy versorgt die Stadt Martigny im Unterwallis mit Strom, Wasser, Multimedia und Heizwärme. Der Energieversorger hat sich einer nachhaltigen Energieproduktion verschrieben. Er unterstützt Projekte zur Förderung der erneuerbaren Energien, etwa zu Trinkwasserturbinen, Windenergie und Photovoltaik. Bereits früher hatte das Unternehmen ein Forschungsprojekt auf dem Gelände der Kläranlage Martigny unterstützt, bei dem eine innovative Windturbine mit einer Biogasanlage kombiniert wurde. Dieser Ort war in den letzten beiden Jahren nun erneut Schauplatz eines Forschungsprojekts, das neue Wege in der Schweizer Energieversorgung aufzeigt.

Durchgeführt wurde das Projekt in einem Gebäude mit einem auffällig gewölbten Dach, das unmittelbar neben den Klärbecken steht. In dem Gebäude wurde früher Klärschlamm aufbewahrt, bevor dieser als Dünger auf die umliegenden Äcker ausgebracht wurde. Heute wird in der Halle nicht mehr Klärschlamm eingelagert, sondern elektrischer Strom. Dazu dient eine Batterie von der Grösse eines Campingwagens, die mitten in der Halle platziert wurde. Auch wenn man einen Blick in die Batterie wirft, könnte man sich an einen Campingurlaub erinnern fühlen, denn im Innern befinden sich grosse, mit einer Flüssigkeit gefüllte Kanister. Als Stromspeicher dient hier eine sogenannte Redox-Flussbatterie. Dies ist ein chemischer Stromspeicher wie eine Haushaltsbatterie, mit dem Unterschied, dass als Speichermedium nicht ein fester, sondern ein flüssiger Stoff verwendet wird (vgl. Textbox).

Neuartige Nutzung einer Redox-Flussbatterie

Redox-Flussbatterien befinden sich zur Zeit noch weitgehend im Entwicklungsstadium. Vereinzelt werden sie schon als Reservespeicher für Mobilfunk-Basisstationen oder als Energiepuffer bei Windkraftanlagen eingesetzt. Die Systeme verfügen abhängig von der verwendeten Chemie über einen Wirkungsgrad von 65 bis 80 Prozent, und zu ihren Eigenschaften gehört die geringe Selbstentladung auch bei langen Standzeiten. Der grosse Vorzug der Technologie ist aber ihre Skalierbarkeit, denn das Speichervolumen lässt sich relativ leicht vergrössern, indem die Tanks für den positiven und negativen Elektrolyten entsprechend gross gewählt werden. Ihre Promotoren sehen die Redox-Flussbatterie denn trotz der relativ geringen Energiedichte als ideale Lösung, um in Stromnetzen mit einem hohen Anteil neuer erneuerbarer Energien Schwankungen der Produktion (Solar- und Windkraft) oder des Verbrauchs (Betankung) von Elektromobilen auszugleichen.



In diesem Gebäude neben der ARA von Martigny haben Wissenschaftler der ETH Lausanne erforscht, wie sich eine Redox-Flussbatterie direkt zur Herstellung von Wasserstoff nutzen lässt.
Foto: B. Vogel

Die Redox-Flussbatterie stand während zwei Jahren im Zentrum eines Projekts, das ein von Prof. Hubert Girault geleitetes Forscherteam der ETH Lausanne (EPFL) unter anderem auf dem Testgelände neben der ARA Martigny durchführte. Ziel der Wissenschaftler war nicht, eine Redox-Flussbatterie zu bauen. Vielmehr ergänzten sie eine marktübliche Redox-Flussbatterie mit einer neuartigen Funktionalität: Die Batterie kann bei der Entladung nicht nur Strom freisetzen, sondern wahlweise auch Wasserstoff liefern. Der Wasserstoff entsteht durch chemische Umwandlung der in der Batterie gespeicherten Elektrizität. Entwickelt hat die «Wasserstoff-Batterie» das EPFL-Labor für physikalische und analytische Elektrochemie (LEPA), das früher in Lausanne war und seit Mai 2015 am Standort Sitten domiziliert ist. Unterstützt wurde das Forschungsprojekt von dem in Martigny domizilierten Energieforschungsinstitut CREM, dem Bezirk Martigny, dem Energieversorger Sinergy und dem Bundesamt für Energie.

Wasserstoff ist ein Gas, das in der künftigen Energieversorgung eine wichtige Rolle spielen könnte. Aus Wasserstoff lässt sich nämlich emissionsfrei Antriebsenergie für Busse oder Autos produzieren. Vor diesem Hintergrund ist die Herstellung von Wasserstoff aus erneuerbarem Strom ein wichtiges Thema der gegenwärtigen Energieforschung und beschäftigt Wissenschaftler an diversen Schweizer Forschungsinstituten, so auch das Wissenschaftlerteam im Wallis. «Um die Redox-Flussbatterie zur Herstellung von Wasserstoff nutzen

zu können, mussten wir eine chemische und eine technische Herausforderung bewältigen», sagt Dr. Véronique Amstutz, die zu dem Thema am LEPA eben ihre Doktorarbeit abgeschlossen hat.

Zwei Herausforderungen

Wird eine Redox-Flussbatterie entladen, werden – wie bei jeder Entladung einer Batterie – Elektronen freigesetzt, die einen elektrischen Strom bilden. Die Walliser Forscher nutzen diese zur Herstellung von Wasserstoff, indem sie die Elektronen mit Wasserstoffkernen (Protonen) zusammenführen. Damit die chemische Reaktion in Gang kommt, braucht es einen Katalysator wie Molybdäncarbid (Mo_2C). Die «chemische Herausforderung», von der Véronique Amstutz spricht, bestand darin, diesen Katalysator in die geeignete Anwendungsform zu bringen. Das war nötig, damit der Katalysator den chemischen Prozess der Wasserstoffherstellung, an dem flüssige und gasförmige Komponenten beteiligt sind, wirksam unterstützt. Amstutz und ihre Forscherkollegen testeten verschiedene Ansätze und kamen schliesslich auf die Idee, das Molybdäncarbid als dünne Schicht auf 3 mm grosse Keramikkügelchen aufzudampfen. In dieser Anwen-



Über eine Leitung gelangt der negative Elektrolyt aus der Redox-Flussbatterie in den vertikalen Zylinder, der aus acht übereinander gestapelten Reaktionskammern besteht (Bildmitte). Der hier produzierte Wasserstoff wird in einem Edelstahl-Druckgefäss (links) aufbewahrt. Foto: B. Vogel

nungsform entfaltete der Katalysator die gewünschte Wirkung. Die zweite Herausforderung bei der Entwicklung der «Wasserstoff-Batterie» war die technische. Dahinter steckte die Frage, wie das Reaktionsgefäss aussehen sollte, in dem die Wasserstoffherstellung abläuft. Ein horizontaler Zylinder? Ein vertikaler Zylinder? Beide Varianten erwiesen sich aus unterschiedlichen Gründen als ungeeignet.

Ein gutes Resultat erzielten Amstutz und ihre Forscherkollegen erst dann, als sie den vertikalen Zylinder in acht Stufen unterteilten, was dazu führt, dass die Wasserstoffherstellung in acht nacheinander geschalteten Sektoren abläuft. Acht Stufen sind in diesem Prozess erforderlich, um den Kontakt zwischen Elektrolyt und Katalysator zu erhöhen und so die chemische Reaktion in Gang zu bringen. Zudem erlaubt dieses Design eine bessere Abscheidung des Wasserstoffs von der Elektrolyt-Lösung. Schliesslich sorgt dieses Bauprinzip dafür, dass der kugelförmige Katalysator nicht übermässig bewegt wird, was dessen mechanischem Abbau entgegenwirkt.

Grenzen des Konzepts

Aus vier Jahren Arbeit im LEPA-Labor in Lausanne/Sitten und am Demonstrator neben der ARA von Martigny ist eine Batterie hervorgegangen, die entweder 40 kWh Strom oder 1,3 kg Wasserstoff liefert. Letzterer lässt sich beispielsweise zum Antrieb eines Brennstoffzellen-Fahrzeugs verwenden. «Dieses System verleiht der Redox-Flussbatterie dank der Wasserstoffproduktion eine zusätzliche Kapazität. Darüber hinaus steigert es die Flexibilität der Redox-Flussbatterie, die nun als eine Plattform für Energiespeicherung dient, welche bedarfsabhängig Wasserstoff oder Strom zur Verfügung stellt, und dies auf der Grundlage erneuerbarer Energien», sagt Dr. Heron Vrabel, der das LEPA-Forschungsprojekt geleitet hat.

Die «Wasserstoff-Batterie» hat allerdings eine Crux, welche deren Weiterentwicklung behindert: Die Batterie kann die gespeicherte Energie nur zur Hälfte nutzen. Der Grund: Nur die eine Seite der Redox-Flussbatterie – der negative Elektrolyt –, kann für die Herstellung von Wasserstoff genutzt werden. Mit dem positiven Elektrolyten liesse sich zwar analog Sauerstoff produzieren. Aber erstens lässt sich Sauerstoff energetisch nicht nutzen, und zweitens stellt die Sauerstoff-Produktion technisch hohe Hürden: Die LEPA-Wissenschaftler haben bei ihren Laborexperimenten zur Herstellung von Sauerstoff festgestellt, dass der dafür eingesetzte Elektrolyt (Cerium) zu Korrosionsproblemen führt. «Die Herstellung von Wasserstoff

und Sauerstoff mit einer Redox-Flussbatterie bedarf noch erheblicher Forschungsanstrengungen», stellt Vrabel fest.

Einsatz eines Elektrolyseurs

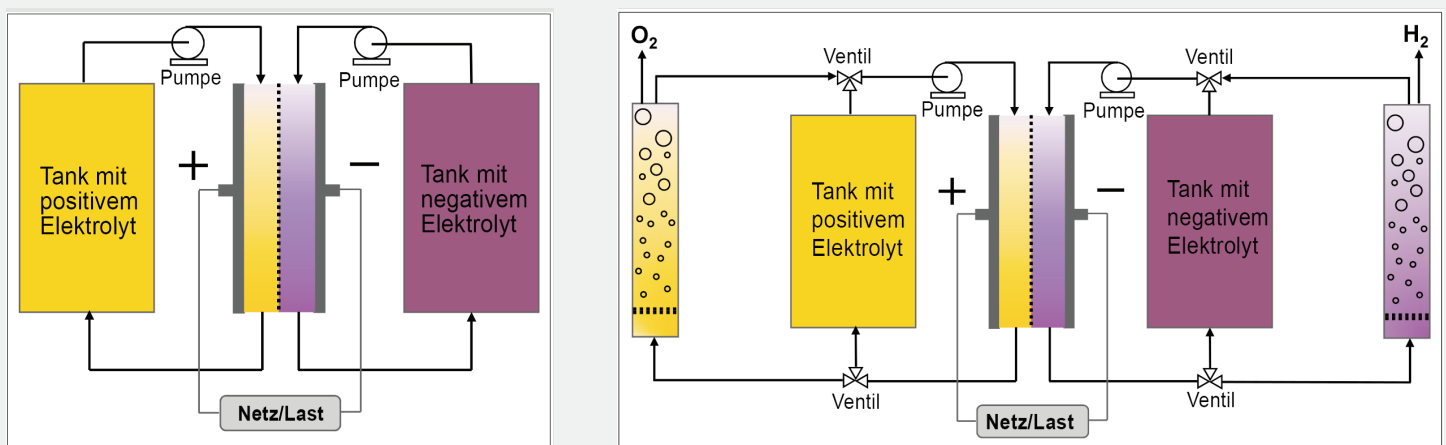
Für ihr Anschlussprojekt, das im Dezember 2015 gestartet ist und bis Ende 2017 laufen soll, haben die LEPA-Forscher ihren Fokus nun neu ausgerichtet. Zwar kommt wieder eine Redox-Flussbatterie zum Einsatz, aus dieser wird aber Wasserstoff nicht direkt, sondern indirekt produziert: Die Batterie

wird entladen und der dabei frei werdende Strom in einem Elektrolyseur genutzt, um Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufzuspalten. Die Forscher verwenden für ihre Untersuchungen eine Redox-Flussbatterie mit 400 kWh Speicherkapazität und einen Elektrolyseur mit 50 kW Leistung. «Mit dem Projekt wollen wir in erster Linie den bestmöglichen Wirkungsgrad für die Stromspeicherung ausloten, den man mit den besten am Markt verfügbaren Geräten erzielen kann», sagt Heron Vrabel.

FLÜSSIGE ELEKTROLYTE MIT GROSSEM POTENZIAL

Redox-Flussbatterien nutzen je nach Typ unterschiedliche chemische Stoffe. Am häufigsten wird als Elektrolyt (und damit als Speichermedium für die elektrische Ladung) das Übergangsmetall Vanadium verwendet, so auch bei den in Martigny eingesetzten Redox-Flussbatterien. Während des Lade- bzw. Entladevorgangs zirkuliert das in Schwefelsäure gelöste Vanadium – durch eine Pumpe angetrieben – in zwei Kreisläufen (linke Grafik: gelb und violett) und durchströmt dabei die elektrochemische Zelle (linke Grafik: Mitte). Die elektrochemische Zelle besteht aus zwei Elektroden (aus Grafitfilz), getrennt durch eine für Ionen durchlässige Membran.

Während des Ladevorgangs nimmt der Elektrolyt die Ladungen des zugeführten Stroms auf: Im linken Kreislauf geben die Vanadium-Atome ein Elektron ab (Oxidation), womit der Elektrolyt positiv geladen wird. Im rechten Kreislauf nehmen die Vanadium-Atome beim Ladevorgang ein Elektron auf (Reduktion), womit der Elektrolyt negativ geladen wird. Die parallel ablaufenden Reaktionen sind der Grund, dass die Batterie als «Redox-Flussbatterie» (aus «Reduktion» und «Oxidation») bezeichnet wird. Sind beide Elektrolyte gesättigt, was bei der Redox-Flussbatterie von Martigny je nach Ladeleistung nach vier bis 20 Stunden der Fall ist, ist die Batterie geladen. Beim Entladevorgang läuft die Reaktion in umgekehrter Reihenfolge ab.



Die EPFL-Forscher haben für ihr kürzlich abgeschlossenes Projekt eine handelsübliche Redox-Flussbatterie verwendet. Diese besteht aus 120 elektrochemischen Zellen mit einer Lade-/Entladeleistung von insgesamt 10 kW. Die Speicherkapazität von 40 kWh verdankt die Batterie zwei Behältern mit jeweils 1000 Litern Elektrolyt. Um die Redox-Flussbatterie zur Herstellung von Wasserstoff zu nutzen, ergänzten die EPFL-Forscher diese mit einem zusätzlichen Kreislauf (rechte Grafik). Über diesen Kreislauf wird aus dem negativen Elektrolyten – sofern die Batterie geladen ist – Wasserstoff erzeugt: Das gelingt, wenn die Elektronen aus dem negativen Elektrolyten sich mit freien Protonen zu Wasserstoffatomen verbinden. Damit diese chemische Reaktion in Gang kommt, ist ein Katalysator (Molybdän-carbid) erforderlich. BV

Hinter dem neuen Vorhaben steht die Frage, welche Technologie künftig für die Speicherung der zeitlich schwankenden Produktion von Solar- und Windkraftwerken eingesetzt werden soll. So ist es denkbar, den Strom zuerst in einer Batterie zu speichern und später im Elektrolyseur zur Wasserstoffherstellung zu nutzen. Möglich ist aber auch, den Elektrolyseur direkt mit Strom aus dem Netz zu betreiben. Will man damit Produktionsschwankungen bei der Solar- und Windenergie auffangen, müsste der eingesetzte Elektrolyseur leistungsabhängig – also auch in Teillast – betrieben werden können. Das stellt eine zusätzliche Herausforderung für die aktuelle Energieforschung dar.

Parallelen zu Empa-Projekt

Das Projekt in Martigny weist Ähnlichkeiten mit dem Projekt auf, das die Empa (Dübendorf) im Herbst 2015 unter dem Namen «Move» in Betrieb genommen hat (vgl. Fachartikel «Sonnen- und Windtreibstoff tanken» unter www.bfe.admin.ch/CT/H2). In beiden Fällen wird erforscht, wie (erneuerbarer) Strom gespeichert und bedarfsgerecht für die Betankung von Elektro- und Brennstoffzellen-Fahrzeugen benutzt werden kann. Während die Empa-Forscher einen PEM-Elektrolyseur nutzen, kommt in Martigny ein alkalischer Elektrolyseur zum Einsatz. Zudem setzen die Wissenschaftler in Martigny eine Batterie ein, welche Einspeise- und Verbrauchsspitzen ausgleicht und damit eine gleichmässige Versorgung des Elektrolyseurs ermöglicht. Beide Projekte werden vom BFE im Rahmen seines Pilot- und Demonstrations-Programms unterstützt.

- Das neue P+D-Projekt auf dem Gelände der ARA Martigny kann von interessierten Personen im Rahmen von **Führungen** besichtigt werden. Kontakt: Dr. Heron Vrubel (heron.vrubel@epfl.ch, 079 287 49 98).
- **Auskünfte** zum Projekt erteilt Dr. Stefan Oberholzer (stefan.oberholzer@bfe.admin.ch), Leiter des BFE-Forschungsprogramms Wasserstoff.
- **Weitere Fachartikel** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Wasserstoff finden Sie unter www.bfe.admin.ch/CT/H2

PILOT-, DEMONSTRATIONS- UND LEUCHTTURM-PROJEKTE DES BFE

Das im April 2016 abgeschlossene und das im Dezember 2015 neu gestartete Projekt der Walliser EPFL-Forscher zur Nutzung der Redox-Flussbatterie zur Wasserstoffproduktion gehören zu den Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekten, mit denen das Bundesamt für Energie (BFE) die sparsame und rationelle Energieverwendung fördert und die Nutzung erneuerbarer Energien vorantreibt. Das BFE fördert Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte mit 40% der anrechenbaren Kosten. Gesuche können jederzeit eingereicht werden.

➤ Informationen unter:

www.bfe.admin.ch/pilotdemonstration
www.bfe.admin.ch/leuchtturmprogramm