

# Strom auf Vorrat

Erneuerbare Energien brauchen Stromspeicher, um ihr ganzes Potenzial entfalten zu können. Eine viel versprechende Technologie dafür sind Redox-Flow-Batterien. Sie bunkern die Energie in Tanks.

Text: Bernd Müller

Energie aus Sonne und Wind ist gefragt. Doch mit dem Bau von Windparks oder Photovoltaikanlagen steigt der Bedarf an Regelenergie, die auch bei Flaute und Dunkelheit den Stromhunger unserer Gesellschaft stillt. Es müssen Kohle-, Gas- oder Atomkraftwerke vorgehalten werden, um Schwankungen auszugleichen. Und das Problem wächst: Die Leitstudie zu erneuerbaren Energien des Bundesumweltministeriums (BMU) geht davon aus, dass 2050 der Anteil fluktuierender Leistung im deutschen Stromnetz mit 90 Gigawatt doppelt so groß sein wird wie das Angebot an regelbarer Leistung – heute beträgt die fluktuierende Leistung nur ein Sechstel.

Aus diesem Dilemma gibt es nur einen Ausweg: Große Energiespeicher müssen bei steifer Brise und Sonnenschein so viel Energie bunkern, dass sie Mangelzeiten überbrücken können. Viele Konzepte liegen auf dem Tisch, doch alle haben Nachteile: Pumpspeicherkraftwerke in den Bergen arbeiten nur bei großen Energiemengen von mehr als 50 Megawattstunden wirtschaftlich, obendrein sind sie ein schwerer Eingriff in das Landschaftsbild.

Große Hoffnungen ruhen auf Druckluftspeichern, doch die sind technisch noch nicht ausgereift und lohnen sich erst bei noch höheren Energiemengen. Herkömmliche Batterien sind dagegen zu klein, um zum Beispiel die Einspeisung von ganzen Windparks oder größeren Photovoltaikanlagen mit einigen Megawatt Leistung zu puffern.

Diese Lücke will das Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT in Pfinztal bei Karlsruhe mit Redox-Flow-Batterien schließen. Das Prinzip ist schon lange bekannt: Zwei flüssige Elektrolyte, die Metall-Ionen enthalten, strömen durch Elektroden aus porösem Graphitflies, getrennt von einer Membran, die Protonen durchlässt. Bei diesem Ladungsaustausch fließt ein Strom über die Elektroden, der sich nutzen lässt. Auf den ersten Blick klingt das nach Brennstoffzelle – und ist doch anders. »Bei der Brennstoffzelle wird der Brennstoff verbraucht, der Redox-Flow-Prozess ist dagegen umkehrbar«, sagt Jens Tübke, Leiter der Abteilung für angewandte Elektrochemie am ICT. Soll heißen: Ist Energie übrig – etwa bei starkem Wind –, lädt der Strom die Ionen im Elektrolyt auf, bei Strombedarf kehrt sich die chemische Reaktion um und zwar beliebig oft.

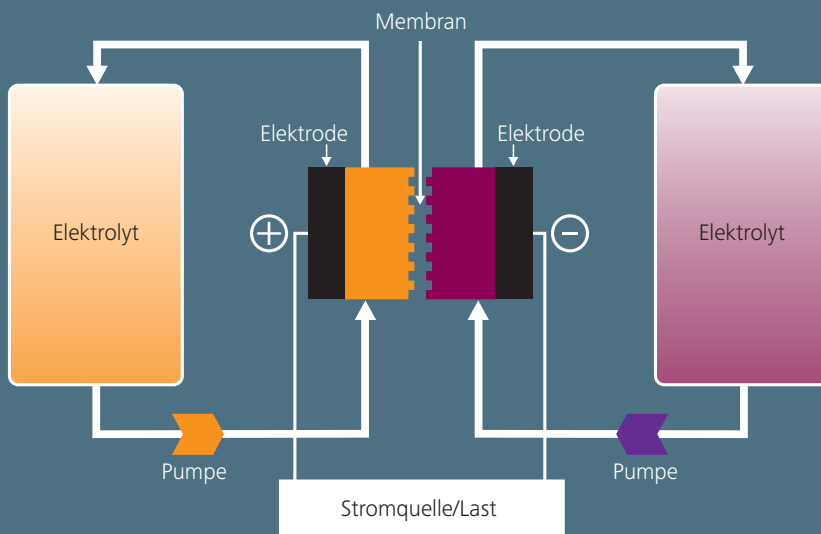
Doch es gibt auch eine Gemeinsamkeit. Wie bei der Brennstoffzelle ist bei einer Redox-Flow-Batterie die Zelle, in der der Strom erzeugt wird, vom Energiespeicher getrennt. Bei der Brennstoffzelle steckt die Energie im Erdgas oder in anderen Brennstoffen, bei der Redox-Flow-Batterie in zwei Tanks mit flüssigen Elektrolyten. Zwei Pumpen sorgen dafür, dass die Elektrolyte gleichmäßig durch die Zelle und wieder zurück in die Tanks fließen. Vorteil: So eine Anlage lässt sich beliebig skalieren. Größere Tanks enthalten mehr Energie, also mehr Kilowattstunden, und erlauben längere Pufferzeiten. Mehr Zellen – zusammengefasst zu Stacks und zu Modulen –

bringen dagegen höhere Leistung, die innerhalb von Millisekunden zur Verfügung steht. Die beiden Anforderungen, Langzeitpuffer und hohe Leistung, lassen sich beliebig kombinieren: Eine Redox-Flow-Batterie eignet sich bei Dunkelheit als Puffer für Photovoltaikstrom, bringt aber auch kurzfristig hohe Leistungen, etwa, wenn das Netz Regelstrom zur Stabilisierung benötigt. Windkraftanlagen liegen in der Mitte – sie benötigen Energiereserven für Minuten bis zu einigen Stunden.

## Richtige Auswahl der Elektrolyten

Bei den Elektrolyten haben die Elektrochemiker die Qual der Wahl: Verschiedene Stoffkombinationen sind möglich, etwa Eisen-Chrom oder Vanadium-Brom, jeweils mit Sulfat als Ionenpartner. Doch von der Kombination Vanadium-Vanadium, gelöst in Wasser und Schwefelsäure, versprechen sich die ICT-Chemiker am meisten. Weil beide Elektrolyte dieselben Stoffe enthalten, verschmutzen die Zellen und die Tanks auch dann nicht, wenn sich die Elektrolyte vermischen sollten.

Genau gleich dürfen die Elektrolyte aber doch nicht sein, sonst würde ja kein Strom fließen. Vielmehr müssen sie sich in ihrer Ionenladung – der Chemiker spricht von Oxidationsstufen – unterscheiden. Im geladenen Zustand befinden sich im einen Tank zweifach positiv geladene Vanadium-Ionen, die beim Entladen zu dreifach geladenen Ionen oxidiert werden, also ein



Schematische Darstellung einer Redox-Flow-Zelle:  
Die Energiespeicher arbeiten mit einem Elektrolyttank für jede der beiden Elektroden. © Fraunhofer ICT

Elektron abgeben. Im anderen Tank sind anfangs fünffach positiv geladene Vanadium-Ionen, die mit dem überschüssigen Elektron aus dem anderen Tank zu vierfach geladenen reduziert werden. Chemiker bezeichnen das als Redox-Reaktion, die dem Verfahren auch den Namen gibt. Irgendwann sind die Ausgangs-Ionen aufgebraucht – die Batterie muss geladen werden. Dazu legt man Strom an und pumpt die Elektrolyte erneut durch die Zellen. Bei diesem Kreislauf werden die Elektrolyte nicht verbraucht, mindestens 10 000 Lade-Entlade-Zyklen hält die Batterie aus. Mehr noch: Die Verwendung von Vanadium-Ionen hätte den angenehmen Nebeneffekt, dass dabei Müll entsorgt würde – Vanadium fällt bei der Erdölaufbereitung und der Titanherstellung an.

Obwohl das chemische Prinzip schon lange bekannt ist, hat sich die Technologie noch nicht durchgesetzt. Der kanadische Hersteller VRB, der schon kommerzielle Redox-Flow-Speicher angeboten hatte, wurde verkauft, seine Zukunft ist ungewiss. Ein österreichisches Unternehmen bietet kleine Anlagen für die Garage als Puffer für Photovoltaikanlagen auf dem Dach. Auch wenn es also bereits kommerzielle Systeme gibt

oder gab, sieht Tübke noch erheblichen Forschungsbedarf. Sein Ziel ist es, die Batterie mit neuen Materialien für Membran und Elektroden noch einfacher und robuster zu machen und gleichzeitig auch preiswerter. Etwa 600 Euro pro Kilowatt würde der Bau eines Redox-Flow-Speichers derzeit kosten, auf die Kilowattstunde gerechnet wären es ungefähr 60 Euro.

### Windenergie speichern

Für bestimmte Einsatzzwecke wäre das schon jetzt wirtschaftlich, etwa in Regionen, in denen überschüssige Windenergie anfällt. So drosseln die Energieversorger in Mecklenburg-Vorpommern an manchen Tagen die Windräder, weil das Netz die Last gar nicht tragen kann, an anderen Tagen herrscht Flaute und der Betreiber verdient nichts – beides drückt auf die Einnahmen. Durch die Konkurrenz auf dem Windstrommarkt wird sich diese Situation noch verschärfen und auf die Windparkbetreiber Druck ausüben, Energie zu puffern, um diese dann im richtigen Moment wieder zu verkaufen. Für die Zukunft strebt Tübkes Team eine Kostenreduktion um den Faktor fünf an. Wenn die gelänge, wären Speicher für ganz neue Geschäftsmodelle interessant – etwa für den Stromhandel an der Börse. Die Erzeuger regenerativer Energie könnten ihre Anlagen nicht nur viel besser auslasten, sondern auch Regelleistung zur Verfügung stellen. Die ist besonders begehrt, weil sie kurze Lastschwankungen im Netz ausgleicht und an der Strombörse die höchsten Preise erzielt.

### Kompetenz auf einen Blick

Seit drei Jahren arbeiten die Chemiker vom Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT mit Kollegen vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg und vom Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT in Oberhausen am Redox-Flow-Konzept. Das Fraunhofer-Anwendungszentrum für Systemtechnik AST in Ilmenau beschäftigt sich mit der Frage, wie die gespeicherte Energie möglichst effizient im Netz eingesetzt werden kann. Das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI in Karlsruhe untersucht die notwendigen Ressourcen und entwickelt Geschäftsmodelle.

Demnächst soll eine Demobatterie mit einer bescheidenen Leistung von einigen Kilowatt aufgebaut werden. Konzepte für größere Anlagen liegen schon in der Schublade. So haben die Fraunhofer-Forscher eine Redox-Flow-Batterie mit einer Leistung von zwei Megawatt entworfen, aber noch nicht gebaut. Sie soll aus acht Modulen mit jeweils sieben Stacks aufgebaut sein, die wiederum jeweils aus 100 Zellen bestehen. Sie sind so geschaltet, dass sie eine Spannung von knapp 2000 Volt und einen Strom von gut 1000 Ampere liefern. Jedes der acht Module wäre etwa acht Meter lang und 1,5 Meter breit. Ein 35 mal 17 Meter großes Gebäude würde reichen, um die Module und zwei Elektrolyttanks mit jeweils 300 Kubikmetern Inhalt aufzunehmen.

So ein Speicher wäre gleichermaßen interessant für die Hersteller und Betreiber von Windkraftanlagen, ebenso für Netzbetreiber und Stromhändler. Auch für Fabriken mit eigener Photovoltaikanlage auf dem Dach, die autark sein möchten, oder für die Versorgung von abgelegenen Verbrauchern, etwa auf Inseln, wäre das Konzept bald wirtschaftlich.

In den kommenden fünf Jahren werde es größere Demo-Anlagen geben, glaubt Jens Tübke, und danach schnell kommerzielle Redox-Flow-Batterien – denn die Vorteile seien einfach überzeugend. Das übernächste Ziel hat Tübke auch schon im Blick: »Redox-Flow-Batterien in Elektroautos – das halte ich für machbar.« ■