



Redox-Flow

Wenn der Strom im Tank lagert



Ganz so einfach ist es nicht, aber bei der vor allem in industriellen Anwendungen derzeit beliebten Redox-Flow-Akkutechnik spielen Tanks, in denen Elektrolyte lagern, eine wichtige Rolle. Die Redox-Flow-Technologie ist eine relativ junge Technik, deren Entwicklung noch voll im Fluss ist. Wir stellen die Technologie und ihren aktuellen Stand sowie eine Reihe von Forschungsobjekten und Anwendungen vor. Zum Abschluss unserer Serie zur Energiespeichertechnik geben wir noch einen kurzen Ausblick auf einige technologische Hoffnungsträger für die Elektromobilität.

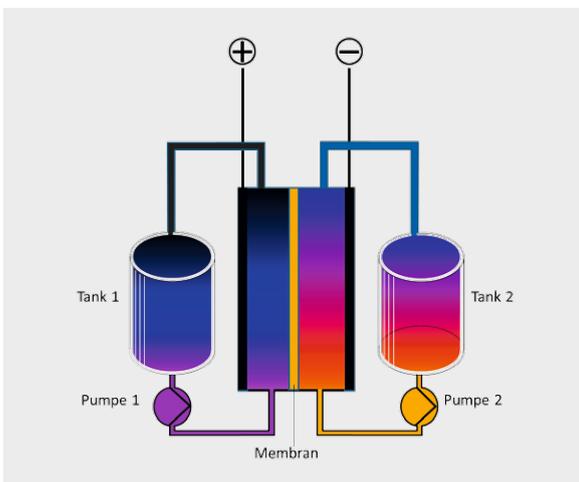


Bild 1: Das Funktionsprinzip des Redox-Flow-Akkusystems.
Bild: Wikipedia, Nick B. (CC BY-SA 3.0)

Alles fließt

Das darf man bei der Redox-Flow-Technik wörtlich nehmen; allein die Bezeichnung verrät hier schon das Arbeitsprinzip. Der Redox-Flow-Akku (RFB, Bild 1) basiert auf der elektrochemischen Wandlung flüssiger Speichermedien durch Reduktion (das ist das „Re“ im Namen) und Oxidation („ox“), im Prinzip fast wie eine Brennstoffzelle.

Die eigentliche Akkuzelle besteht zunächst aus zwei Halbzellen mit den Elektroden auf der Plus- und Minusseite. Jede Halbzelle wird mit den in einem externen Elektrolyttank gelagerten Elektrolyten (in Säure gelöste Salze) durchströmt. Die beiden Elektrolytlösungen werden in der Zelle durch eine semipermeable Membran getrennt, die nur einen Ionenaustausch zulässt, aber sonst die Elektrolyten strikt trennt. Die Elektrolyten erzeugen mit dem Elektrodenmaterial, meist Graphit, eine Spannungsdifferenz. Der Elektrolyt mit stärkerer Elektronenbindung heißt Katolyt, der mit schwächerer Elektronenbindung Anolyt. Führt man den Elektroden nun von außen Energie zu, etwa durch eine Solaranlage, beginnt die elektrochemische Reaktion. Jetzt wandern durch



Oxidation Elektronen vom Katolyt zum Anolyt, der die Elektronen wiederum durch Reduktion an sich bindet. Das Ergebnis: Der Akku wird geladen. Schließt man nun eine Last an die Zelle an, setzt sich die umgekehrte Reaktion in Gang, der stärker Elektronen bindende Katolyt entzieht dem weniger stark bindenden Anolyt die Elektronen, und es kommt zum Stromfluss.

Die Energiedichte einer solchen Zelle ist nicht sehr hoch, man kann sie mit der des Bleiakku vergleichen, bisher wurden je nach System zwischen 25 und 50 Wh je Liter Elektrolyt erzielt. Allerdings arbeitet ein Redox-Flow-System über eine deutlich längere Lebensdauer konstanter als der Bleiakku. Die geringe Energiedichte ist auch der Hauptgrund, weshalb Redox-Flow nicht ernsthaft als Antriebsakku-Technologie für Fahrzeuge infrage kommt, auch wenn es Firmen gibt, etwa die Liechtensteiner Firma Nanoflowcell, die immer wieder Fahrzeuge auf Redox-Flow-Technikbasis als Prototypen präsentieren.

Wie bei der Brennstoffzelle haben wir hier eine Akkuzelle, deren Elektrolyt sich hauptsächlich in externen Speichern, den Tanks, befindet. Das zieht einen großen Vorteil dieses Energiespeichersystems nach sich – es kann quasi beliebig skaliert werden, sowohl in der Zellenzahl (Bildung von Stacks) als auch in der Größe der Elektrolyttanks. Letztere legen also die Kapazität des Akkus fest, die Zellenzahl (und auch deren aktive Fläche, weshalb hier Graphitfilze mit extrem großer Oberfläche eingesetzt werden) die Leistung.

Ein weiterer Vorteil ist die kaum vorhandene Selbstentladung, denn die Elektrolyten befinden sich, solange die Umwälzpumpe nicht läuft, zum größten Teil sicher in getrennten Behältern und können nicht mit dem Pendant reagieren. So kann der Akku beliebig lange in einem beliebigen Ladezustand verbleiben. Auch die geringe Temperaturabhängigkeit, konkret auf das Lade- und Entladeverhalten bezogen, macht diese Technik in vielen Temperaturzonen der Welt ohne aufwendige Kühllogistik einsetzbar. So ist diese Technologie thermisch deutlich stabiler und problemloser zu betreiben als etwa Lithium-Akkus.

Die hohe Lebensdauer dieses Systems und die erreichbare hohe Zyklenzahl werden auch durch die die Elektroden schonenden chemischen Vorgänge erreicht – Erstere werden nämlich weit weniger geschädigt bzw. verbraucht als bei den meisten anderen Systemen. Ach ja, das Thema Tiefentladung spielt hier keine Rolle. Wird die Energie gebraucht, muss man nur die Pumpen einschalten, und sofort liefert der Akku Energie, da nun die chemische Reaktion wieder in Gang gesetzt wird. Damit haben sich Redox-Flow-Akkus schon in vielen Anwendungen als Netzausfallüberbrückung, Backup-Speicher, aber auch als reguläre Windkraft- und Solarenergiespeicher bewährt.

„Redox Wind“ – größter Windkraftspeicher Deutschlands

Solch ein Windkraftspeicher entstand 2017 auf dem Gelände des Fraunhofer Instituts für Chemische Technologie ICT im baden-württembergischen Pfinztal-Berghausen [1]. Hier wurde neben einem eigens errichteten Windrad (Bild 2) eine riesige Vanadium-Redox-Flow-Anlage (Bild 3) mit beeindruckender Leistung aufgebaut. Im Endausbau wird die Anlage 2 MW Leistung und 20 MWh Kapazität haben.

Die Anlage arbeitet als Erzeuger-Speicher-Einheit, indem sie an den Gleichstromzwischenkreis der Windkraftanlage gekoppelt ist. Das erspart z. B. die sonst nötige Wechselstromwandlung. Das ICT betont dabei auch besonders den denkbaren Einsatzzweck solch eines Verbunds – die Insellösung für energieautarke Lebens- und Industriebereiche.



Bild 2: Die komplette Anlage des Windradspeicherprojekts „Redox Wind“. Bild: Fraunhofer ICT



Bild 3: Die beeindruckenden Redox-Flow-Akkueinheiten von „Redox Wind“ sind in einer riesigen Halle installiert und liefern bis 2 MW Leistung auf Abruf. Bild/Screenshot: Fraunhofer ICT



Bild 4: Die Redox-Flow-Zelle ZBM2 von Redflow. Hier sieht man gut die Technikaufteilung auf die beiden Tanks, den Stack und die Pumpen- und Steuereinheit.

Bild: Redflow

Redox-Flow für kleine und große Energiesysteme

In einer anderen Gegend der Erde geht es seit Kurzem schon richtig zur Sache – in Australien. Das dort seit 2005 ansässige Unternehmen Redflow [2] produziert komplette Redox-Flow-Einheiten in Zink-Brom-Technik. Diese werden in zwei Größenordnungen produziert. Einmal als Reihe ZBM2, die vor allem den kommerziellen Bereich anspricht, also Netzersatz, Frequenzstützung, Netzstabilität, Insellösungen wie Telekommunikation. Die 48-V-Einheit (Bild 4) liefert 10 kWh, soll zehn Jahre halten bzw. 36.500 kWh liefern und ist auch in Umgebungen bis 50 °C stabil zu betreiben. Gerade in diesen Aufgabenbereichen kommt dem Nutzer auch die Eigenschaft des quasi unendlichen Standby-Betriebs ohne wesentlichen Verschleiß und Kapazitätseinbuße zugute. Das mit nur 845 x 823 x 400 mm kompakte System ist beliebig skalierbar, liefert in der Spitze bis zu 5 kW und kann über den Tag während seines ganzen Akkulebens 10 kWh bereitstellen. Bild 5 zeigt die Referenzplattform mit 15 ZBM2 von Redflow als Anwendung in einer großen Solaranlage.

Das zweite Produkt ist für den privaten Anwender vorgesehen, der ZCell-Akku (Bild 6). Technisch ist er genauso aufgebaut wie der ZBM2, liefert auch die gleiche Leistung, er ist nur ein wenig schicker verpackt, ähnelt damit eher einem Klimagerät. Damit eignet er sich hervorragend als Solar- oder Windenergiespeicher für das Haus oder die Farm – gerade in Australien mit vielen abgelegenen Siedlungen und vielen extremen Wetterlagen, die auch schon einmal ganze Provinzen lahmlegen, ein wichtiger Baustein der autarken Energieerzeugung bzw. des Notstromsystems. In Bild 7 ist die Technik einer Solaranlage mit zwei dieser ZCell-Speicher zu sehen.



Bild 5: Eine Solar-Redox-Flow-Einheit in der Referenzanlage von Redflow mit 15 ZBM2.

Bild: Redflow



Bild 6: Schick verpackt und etwa so groß wie ein normales Klima-Außengerät – der ZCell-Akku. Bild: Redflow



Bild 7: Kompakte Redox-Flow-Einheit an einer privaten Solaranlage mit zwei ZCell-Einheiten. Bild: Redflow



Besser und preiswerter

Klingt bisher gut, aber auch dieses Akkusystem hat eine Schwäche: das verwendete Elektrolyt. Das dort in einer aggressiven Schwefelsäurelösung gelöste Salz ist ein giftiges (und teures) Schwermetall; bei den verbreitetsten Systemen ist es Vanadium. Neben Preis und potenzieller Umweltschädlichkeit sorgen die aggressiven Materialien aber auch für eine verkürzte Lebensdauer des Systems und teure Materialien, z. B. für die Membrane.

Derzeit arbeiten viele Wissenschaftler daran, diesen Nachteil zu beheben. So haben unlängst erst Forscher der Friedrich-Schiller-Universität Jena eine Redox-Flow-Zelle vorgestellt (Bild 8 [3]), die statt anorganischer Vanadium- oder Bromid-Verbindungen organische Polymere, also Kunststoffe, einsetzt, die sich zudem auch noch in einer harmlosen Kochsalzlösung befinden. Damit sind die teuren seltenen Erden nicht mehr nötig, und die Polymere bestehen aus recycelbaren Stoffen. Auch die Membrane wird wie die gesamte Zelle preiswerter, denn hier reicht eine einfache Zellulose-Membrane für Elektrolyttrennung und Ionenaustausch. Zwar liefern die ersten Zellen in dieser Technik bisher gerade 10 Wh je Liter, aber dafür hat sich die Zelle bereits als erstaunlich zyklenstabil erwiesen, die Forscher konnten bei den Prototypen 10.000 Zyklen nachweisen. Und die Erfahrung sagt, dass Energiedichtehürden bei der derzeit intensiven Batterieforschung schnell fallen.

Ein interessanter Nebeneffekt dieser metallfreien, organischen Polymertechnik kann auch die preiswerte Herstellung extrem dünner, flexibler und sogar druckbarer „Folienbatterien“ sein, die sich z. B. in Kleidung oder in Verpackungen integrieren lassen.

Großspeicher unter der Erde

Wie sehr Anwender auf ein solches, preiswertes und einfach einsetzbares System gewartet haben, beweist das Großprojekt, das der Oldenburger Energieversorger EWE Gasspeicher als „brine4Power“ [4] bezeichnet. EWE hat hier wirklich Großes vor: überschüssige Energie, die ja bekanntermaßen in Norddeutschland per Windkraft in großen Mengen anfällt, im größten Redox-Flow-Speicher der Welt zwischenspeichern. Denn sowohl in Ostfriesland (Bild 9 zeigt den dafür vorbereiteten Standort Jemgum an der Ems) als auch in Brandenburg verfügt das Unternehmen über Zugänge zu riesigen unterirdischen Salzstöcken mit großen Kavernen (Bild 10), die der Energieversorger als Speicher für Redox-Flow-Elektrolyte nutzen will. Insgesamt verfügt EWE über 38 solcher Kavernen, in denen derzeit Gas zwischengespeichert wird.

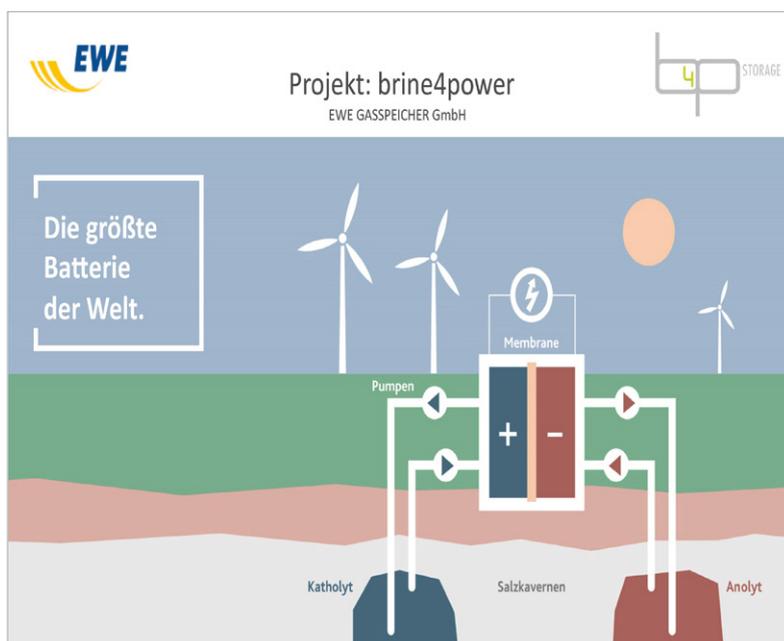


Bild 10: So funktioniert die bald größte Batterie der Welt. Die Elektrolyte werden in riesigen Salzkavernen gelagert. Bild: EWE

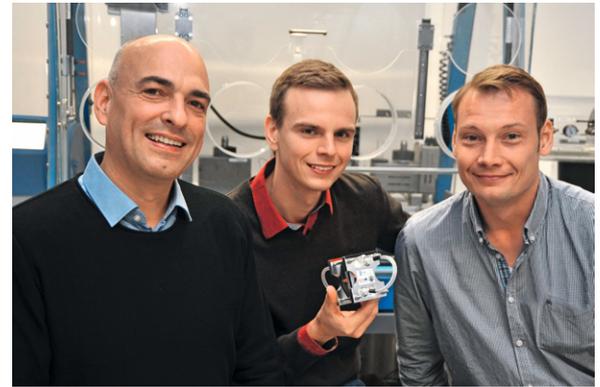


Bild 8: Das Jenaer Forscherteam um Prof. Dr. Schubert mit dem Prototypen des Redox-Flow-Akkus auf Polymerbasis. Bild: Anne Günther/FSU



Bild 9: Im ostfriesischen Ort Jemgum soll bis 2023 die weltgrößte Redox-Flow-Anlage auf Polymerbasis entstehen. Bild: EWE

Dabei kommt die Entwicklung der Jenaer Wissenschaftler der EWE gerade recht, denn hier ist der Elektrolytträger Kochsalzlösung (Sole, englisch brine) in riesigen Mengen vorhanden. Deshalb erforschen EWE und die Wissenschaftler der Friedrich-Schiller-Universität Jena gemeinsam die Polymertechnik in Pilotanlagen. „Die zu entwickelnden Polymere mussten ganz bestimmte chemische Anforderungen erfüllen: Sie sollten u. a. in voll mit Salz gesättigter Sole gut löslich sein, eine bestimmte Fließeigenschaft des Sole-Polymer-Gemischs gewährleisten und im gelösten Zustand chemisch und elektrochemisch stabil sein, um Elektronen langfristig binden und abgeben zu können. Diese speziellen Anforderungen haben die von der Friedrich-Schiller-Universität weiterentwickelten Polymere in den nun durchgeführten grundlegenden Vorversuchen mit Originalsole von EWE erfüllt“, erklärte Prof. Dr. Ulrich S. Schubert vom Center for Energy and Environmental Chemistry Jena (CEEC Jena).

Die Kavernen haben jeweils ein Fassungsvermögen von 100.000 Kubikmetern, nach Angaben von EWE kann man damit mit einer Akku-Windpark-Kombination allein ein 120 MW-Kraftwerk ersetzen. Durch den Vorteil, den Redox-Flow-Akku schnell hochfahren zu können und die gespeicherte Energie beliebig lange und fast verlustfrei zu speichern, liegt hier eine riesige Chance für eine großtechnische Teillösung der Energiewende. Je Kavernenanordnung spricht EWE von bis zu 22.000 Zyklen. Da hier nicht jeden Tag

Zyklen stattfinden, kann man von jahrzehntelangem Betrieb der riesigen Energiespeicher sprechen.

Natürlich muss man für solche riesigen Anlagen (der Kölner Dom könnte darin bequem Platz finden) auch viel Geld in die Hand nehmen. Laut EWE würden sich aber die Kosten so in Grenzen halten, dass der Megaakku kostenmäßig in direkte Konkurrenz zu den bisher preiswertesten Großenergiespeichern, den Pumpspeicherwerken, treten kann. Bis 2023 will EWE den ersten Kavernenspeicher in Betrieb nehmen.



Bild 11: Typischer heutiger Lithium-Fahrzeug-Akku in einem Nissan Leaf. Bild: Nissan

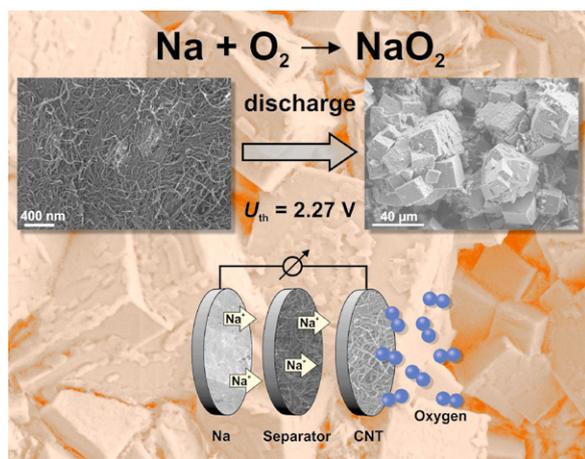


Bild 12: Die Wirkungsweise des Natrium-Sauerstoff-Akkus. Bild: Conrad L. Bender

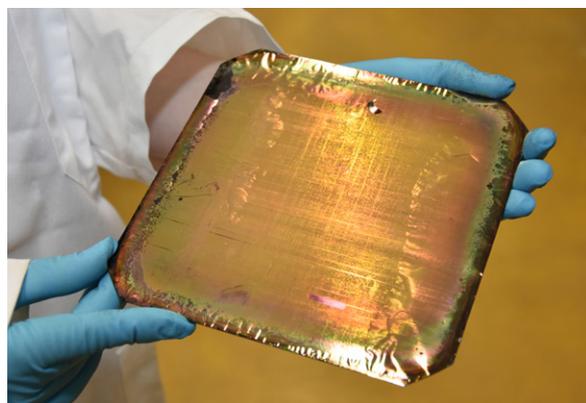


Bild 13: Aus Siliziumscheiden wie dieser stellt das Kieler Forschungsteam Anoden für seine neuartigen Siliziumbatterien her. Ein Ätzverfahren verleiht den ursprünglich blanken Scheiben eine poröse Oberfläche – und einen bunten Schimmer. Die poröse Siliziumschicht lässt sich besonders gut mit einer Kupferelektrode verbinden. Die so entstandene hauchdünne Anode kann wie eine Folie abgezogen werden. Bild/Copyright: Julia Siekmann, Uni Kiel

Die Elektromobilität und ihre Energiequellen

Zum Abschluss unserer Serie wollen wir noch einen Blick in die nächste Zukunft besonders der Antriebsakkus werfen. Effektive, preiswerte, ungefährliche und vor allem schnell ladbare Akkutechnik ist der Schlüssel auf dem Weg zur Elektromobilität. Derzeit spielen hier zwei Systeme die Hauptrolle, die Bleiakutechnik und die Lithium-Ionen-Akkutechnik. Bild 11 zeigt einen typischen Fahrzeugakku, den 40-kW-Lithium-Ionen-Akku des aktuellen Nissan Leaf. Doch der Lithium-Ionen-Akku in der heutigen Form kann trotz der an sich guten Eigenschaften wie der hohen Energiedichte nicht die Massenzugabe für die Elektromobilität bedeuten – der teure Rohstoff ist nicht in allzu großen Mengen vorhanden, die Akkus stellen aufgrund ihres Aufbaus bei einem Unfall oder Defekt ein enormes Brandrisiko dar, sie sind teuer und benötigen lange Ladezeiten.

Deshalb arbeiten Techniker und Wissenschaftler weltweit mit Hochdruck an der Verbesserung bzw. dem Ersatz dieser Akkutechnik. So werden mit aktuell erforschten, verbesserten Materialkombinationen, etwa Zinn-Schwefel-Lithium oder Lithium-Sauerstoff, weitaus höhere Energiedichten erzielt, mit der Einlagerung der Elektrolyte in Gel-Polymer-Membranen werden Lebensdauer und Sicherheit erhöht. Dennoch bleibt das Problem, dass Lithium langfristig nicht in Mengen verfügbar sein wird, dazu kommen auch wirtschaftspolitische Risiken, denn die heute bekannten Vorkommen reduzieren sich auf wenige Länder wie China.

Lithium raus!

Deshalb beschäftigt vor allem der Ersatz des Lithiums Forscher weltweit. So wird z. B. an der Justus-Liebig-Universität Gießen der Einsatz von Natrium statt des Lithiums in der Metall-Sauerstoff-Batterie geforscht. Dabei hat man festgestellt, dass das Ersetzen von Lithium durch Natrium eine deutlich besser gesteuerte Zellreaktion durch Bildung von Natriumsuperoxid während der Entladung bietet. In einer gemeinsamen Studie [5] der Justus-Liebig-Universität Gießen und der BASF SE konnten Conrad L. Bender und andere zeigen, dass die Kapazität und die Lebensdauer der Natrium-Sauerstoff-Batterie mithilfe technisch bearbeiteter, frei stehender Elektroden auf Basis von kommerziellen Kohlenstoff-Nanoröhren verbessert werden kann (Bild 12). Die Tiefentladung liefert für einige Zyklen eine Kapazität von 1530 mAh/g. Mithilfe von Teilentladungen kann eine Lebensdauer von mehr als 140 Zyklen beobachtet werden. Diese Ergebnisse sind besser als bei früheren Studien, die konventionelle Kohlenstoffelektroden verwenden. Andere Ansätze, z. B. in den USA, erforschen die Substitution von Lithium durch Magnesium.

Eine erfolgversprechende Richtung haben Forscher der Christian-Albrechts-Universität Kiel eingeschlagen [6] – sie entwickeln neue Akkus auf Siliziumbasis. Mit seiner enormen Speicherkapazität hätte Silizium entscheidende Vorteile gegenüber Materialien in herkömmlichen Lithium-Ionen-Batterien. Doch aufgrund seiner mechanischen Instabilität (es dehnt sich beim Laden auf bis zu 400 Prozent aus) war es bisher kaum möglich, Silizium für die Speichertechnologie zu nutzen. Das Forschungsteam vom Institut für Materialwissenschaft der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU) entwickelt in Zusammenarbeit mit der Firma RENA Technologies GmbH Anoden aus 100 Prozent Silizium (Bild 13) sowie ein Konzept für ihre industrielle Herstellung. Durch gezieltes Strukturieren ihrer Oberfläche auf Mikroebene kann das Team das Speicherpotenzial von Silizium komplett ausschöpfen. Damit bieten sie einen völlig neuen Ansatz für aufladbare Batterien. Silizium zählt schon lange zu den Hoffnungsträgern für die Elektromobilität, sagt Materialwissenschaftlerin Dr. Sandra Hansen. „Theoretisch ist Silizium das beste Material für Anoden in Akkus. Es kann bis zu zehnmal mehr Energie speichern als Graphit-Anoden in herkömmlichen Lithium-Ionen-Batterien.“ In ihrer Doktorarbeit fand sie heraus, dass sich Silizium weitaus flexibler verhält, wenn es in Form eines dünnen Drahts hergestellt wird und somit der hohen Volumenausdehnung besser standhalten kann. Diese Erkenntnisse werden nun auf poröses Silizium übertragen – sein freies



Volumen lässt mehr Raum zum Ausdehnen. Damit dabei die Kontakte zur Elektrode nicht abreißen, hat Hansen eine Möglichkeit mitentwickelt und patentiert, beides stabil zu verbinden. Den Gegenpart zur Anode, die Katode, will das Team aus Schwefel herstellen. „Eine Schwefelkatode bietet die maximal mögliche Speicherkapazität. Wir kombinieren in diesem Projekt also zwei Materialien, die eine wirklich hohe Leistungsfähigkeit der Batterie versprechen“, sagt Hansen.

Hoffnungsträger Festkörpersystem

Lithium-Akkus haben zahlreiche systembedingte Nachteile wie flüssige Bestandteile, die auslaufen oder in Brand geraten können, sie vertragen keine hohen Temperaturen usw. Deshalb setzt die Autoindustrie auf den Festkörper-Akku. Dazu haben sich bereits herstellerübergreifende Allianzen z. B. von Nissan, Renault, Misubishi und Hyundai gebildet, um die kobaltfreie Festpolymer-Elektrolyt-Technologie voranzutreiben. Auch andere Hersteller wie z. B. VW kauften sich dazu bei Akkuherstellern ein, um dort die Investitionen in neue Akkutechnologien voranzutreiben. Denn diese Technik gilt als **der** Nachfolger der Lithium-Ionen-Technik – mit weit höherer Kapazität, hoher Energiedichte und möglichst kurzen Ladevorgängen.

Wie der Name schon sagt, besteht der Festkörper-Akku ausschließlich aus festen Materialien, selbst der Elektrolyt besteht hier aus einem festen Keramik-Polymer. In der ersten Entwicklungsphase konnten die Festkörper-Akkus jedoch nicht bei der Ladecharakteristik überzeugen, durch die geringe Ionen-Leitfähigkeit der Grenzflächen der Keramik-Elektrolyten ist die Stromaufnahmefähigkeit begrenzt. Daran arbeiten zahlreiche Forscher, so auch im Forschungszentrum Jülich [7]. Sie haben durch eine spezielle Materialkombination eine zehnmal höhere Stromstärke beim Laden und Entladen erreicht als bei bisherigen Systemen. Alle Komponenten – Anode, Katode und Elektrolyt – wurden aus verschiedenen Phosphatverbindungen gefertigt, die Laderaten von über 3 C (bei einer Kapazität von etwa 50 mAh/g) ermöglichen. Bild 14 zeigt einen ersten Testaufbau des Festkörperakkus, noch in Knopfzellengröße. „Die Energiedichte ist mit aktuell rund 120 Milliamperestunden pro Gramm (mAh/g) schon sehr hoch, auch wenn sie noch etwas unter der von heutigen Lithium-Ionen-Batterien liegt“, erklärt Institutsleiter Prof. Rüdiger-A. Eichel.

In fünf Minuten voll!

Zum Thema Schnellladen hat auch die israelische Start-up-Firma StoreDot [8] Spektakuläres angekündigt und auch schon in Vorführungen gezeigt: Das Schnellladen eines speziellen Fahrzeugakkus (Flashbattery) in fünf Minuten, sodass dieser genug Energie liefern soll, um das Fahrzeug 480 km fahren zu lassen. Etwas skeptisch kann man angesichts der spektakulären Zahlen schon sein, auch die Zurückhaltung des Unternehmens bei der Beschreibung der eingesetzten Materialien, offiziell als Betriebsgeheimnis bezeichnet, mahnt zur vorsichtigen Bewertung. Womöglich sind die spektakulären Zahlen auch auf dem Kampf um Investorengelder begründet, um die sich derzeit sehr viele Akku-

hersteller bemühen, um die Nase vorn zu haben bei den enormen Investitionen, die nötig sind. StoreDot baut seine Flashbattery-Akkuzellen (Bild 15) aus einer Kombination von organischen Halbleitern mit Nanomaterialien, die elektrische Ladungen extrem schnell aufnehmen können. Dass es grundsätzlich funktioniert, haben die Israelis im Herbst 2017 in Berlin öffentlich vorgeführt – in drei Jahren soll die Technik marktreif sein. **ELV**

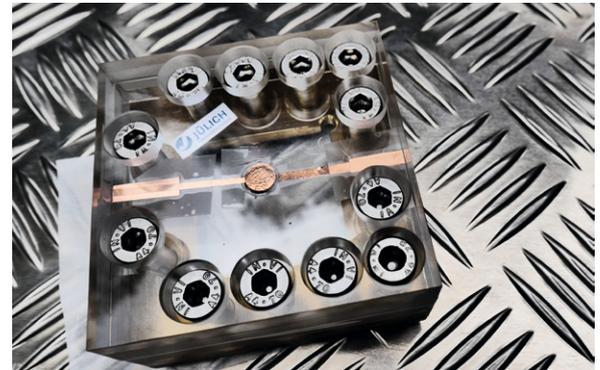


Bild 14: Testaufbau für die Festkörperbatterie: Die Batterie von der Größe einer Knopfzelle befindet sich in der Mitte des Plexiglasgehäuses, welches die dauerhafte Kontaktierung der Batterie sicherstellt. Das patentierte Konzept beruht auf einer günstigen Kombination von Materialien.

Bild: Forschungszentrum Jülich/Regine Panknin

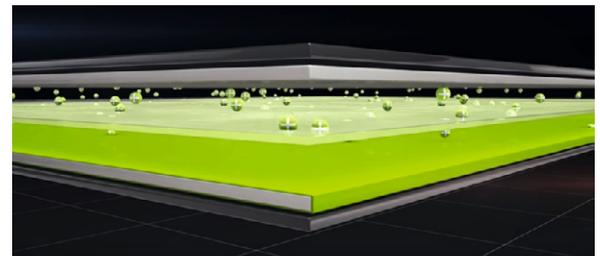


Bild 15: Die Flashbattery von StoreDot basiert auf organischen Halbleitern, kombiniert mit Nanomaterialien. Darunter der erste Fahrzeugakku, der laut StoreDot in fünf Minuten vollgeladen werden kann. Bild: StoreDot



Weitere Infos:

- [1] www.ict.fraunhofer.de/de/komp/ae/RFBWind.html
- [2] <https://redflow.com>
- [3] www.uni-jena.de/Forschungsmeldungen/FM151021_Batterie.html
- [4] www.ewe-gasspeicher.de/home/b4p
- [5] www.uni-giessen.de/fbz/fb08/Inst/physchem/janek/gallerypom/GdB2015/BdM0415/view
- [6] www.uni-kiel.de/pressemedien/index.php?pmid=2018-114-siliziumakku
- [7] www.fz-juelich.de
- [8] www.store-dot.com