

Abs	VDI Nachrichten (13.12.2013)	Neue Energie (4 / 2014)	Abs
	<p>Zukunftsbatterien müssen erst mal atmen lernen (Sascha Rentzing)</p>	<p>Strom aus Sand und Luft (Sascha Rentzing)</p>	
0	<p>Kaum haben sich Lithium-Ionen-Akkus als Energiespeicher etabliert, schwenkt das Augenmerk auf eine neue Technik. Batterien mit Kathoden aus Sauerstoff können ein Vielfaches der Energiemenge heutiger Systeme speichern und gelten daher als Ideallösung sowohl für die Speicherung von Ökostrom als auch für die Elektromobilität. Doch bis zur Marktreife der neuen Batterietechnologie ist es noch ein weiter Weg.</p>	<p>Lithium-Ionen-Akkus haben sich als Energiespeicher etabliert, doch Wissenschaftler gehen neue Wege: Batterien mit Kathoden aus Sauerstoff können ein Vielfaches der Energiemenge heutiger Systeme speichern. Bis zur Marktreife ist es aber noch weit.</p>	0
		<p>Zu wenige Ladesäulen, zu teure Batteriespeicher – das sind die beiden wesentlichen Gründe dafür, dass die Elektromobilität bisher kaum vom Fleck kommt. Zumindest die Kostensituation dürfte sich bald entspannen: Nach aktuellen Zahlen des Bundesverbands eMobilität (BEM) ist der Preis für Lithium-Ionen-Akkus in den vergangenen drei Jahren von 800 Euro pro Kilowatt auf 200 Euro zurückgegangen. Weitere Preissenkungen sind absehbar. So plant der amerikanische Elektroautobauer Tesla in den USA eine riesige Batteriefabrik für vier bis fünf Milliarden Dollar. In dem Werk sollen ab 2017 Lithium-Ionen-Akkus um ein Drittel günstiger gefertigt werden als heute.</p>	1
		<p>Von den Fortschritten in der Elektromobilität profitiert auch die Erneuerbaren-Branche. Woher kommt der Strom, wenn sich Wind und Sonne rar machen? Kostengünstige Lithium-Ionen-Batterien, die überschüssige Ökoenergie zwischenspeichern, bieten eine Lösung. Sie eignen sich vor allem für den Einsatz in Haushalten und Gewerbebetrieben, die sich komplett mit Sonnenstrom vom eigenen Dach versorgen wollen.</p>	2
1	<p>Die Suche nach leistungsstärkeren elektrischen Batterien läuft weltweit auf Hochtouren.</p>	<p>Trotz der schnellen Fortschritte gelten Lithium-Ionen-Akkus jedoch nur als Einstiegslösung. Kaum steht ihre breite Markteinführung bevor, suchen Wissenschaftler bereits nach noch leistungsstärkeren Batterien.</p>	3
	<p>Besonderes Interesse gilt dabei Lithium-Luft-Batterien. Diese erreichen eine Energiedichte von über 1000 Wh/kg – mehr als das Fünffache heutiger Lithium-Ionen-Batterien.</p>	<p>Eine Technik steht im Fokus – so genannte Lithium-Luft-Batterien. Sie können eine Energiedichte von 1.000 Wattstunden je Kilogramm erreichen, also fünfmal mehr Energie speichern als heutige Lithiumbatterien.</p>	
2	<p>Statt Graphit oder Lithiumtitanat kommt bei dieser neuen Technologie für die Anode Lithiummetall zum Einsatz, als Kathode dient Luft. "Sauerstoff aus der Luft diffundiert in die Batterie, anstatt dass ein Kathodenmaterial fester Bestandteil der Batterie ist. Das macht sie</p>	<p>Statt aus Graphit oder Lithium-Titanat besteht ihre Anode – der Pluspol – aus Lithiummetall, als Kathode dient einfach Luft. „Sauerstoff wird je nach Bedarf in die Batterie gesogen, anstatt fester Bestandteil zu sein. Das macht sie leicht und kompakt“, erklärt Kai-Christian Möller,</p>	4

Abs	VDI Nachrichten (13.12.2013)	Neue Energie (4 / 2014)	Abs
	leicht und kompakt", erklärt Kai-Christian Möller, Leiter der Projektgruppe Elektrochemische Speicher am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT) in Pfinztal bei Karlsruhe.	Leiter der Projektgruppe Elektrochemische Speicher am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT).	
3	Die Autoindustrie zeigt großes Interesse an Lithium-Luft-Batterien, denn damit könnten Elektroautos wesentlich weiter fahren und endlich Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren Paroli bieten. Reichweiten von bis zu 1000 km werden angepeilt, während Lithium-Ionen-Batterien derzeit maximal einige Hundert Kilometer ermöglichen.	Vor allem die Autoindustrie hat ein Auge auf die Lithium-Luft-Batterien geworfen, denn mit ihnen könnten Elektrofahrzeuge auf wesentlich höhere Reichweiten kommen. Schon 2020 soll die Technik in Elektromobile einbaut werden.	5
	"Wir hoffen, dass es in den nächsten fünf bis zehn Jahren gelingt, Lithium-Luft-Batterien als leistungsfähigste Lösung auf den Markt zu bringen", sagt Reinhard Löser vom Bundesverband eMobilität.	„Wir hoffen, dass es in den nächsten fünf bis zehn Jahren gelingt, Lithium-Luft-Batterien als leistungsfähigste Lösung auf den Markt zu bringen“, sagt BEM-Präsident Kurt Sigl.	
4	Als Speicher für überschüssigen Ökostrom und Puffer für das Stromnetz gilt die Technik als vielversprechende Option. Derzeit haben Lithium-Ionen- oder Redox-Flow-Batterien, die die Kapazitäten von Wind- und Solarparks aufnehmen können, noch die Größe von Containern.	Aber auch als Puffer für das Stromnetz gilt die Technik als vielversprechende Option.	
	Lithium-Luft-Batterien könnten den Ökostrom dank ihrer hohen Energiedichte auf engstem Raum speichern – somit ließen sich Batteriesysteme bei gleicher Leistung erheblich kleiner dimensionieren.	Dank ihrer hohen Energiedichte könnten sie große Mengen Wind- und Solarstrom auf engstem Raum speichern. Damit ließen sich Batteriesysteme bei gleicher Leistung erheblich kleiner dimensionieren.	
		Schwächen der Superbatterie	
5	Das größte Manko der Technologie ist bisher die geringe Lebensdauer der Batterien. Beim Entladen verursachen elektrochemische Reaktionen an der Kathode und im elektrisch leitfähigen Elektrolyt irreversible Schäden – dadurch lässt sich die Batterie kaum wiederaufladen.	Großes Manko der Metall-Luft-Batterien ist jedoch ihre geringe Lebensdauer. Beim Entladen verursachen elektrochemische Reaktionen an der Kathode und im elektrisch leitfähigen Elektrolyt irreversible Schäden – dadurch lässt sich die Batterie kaum wieder aufladen.	6
6	Um das Problem zu lösen, untersuchen die Forscher am ICT die Reaktionsvorgänge an der Kathode. Die chemischen Abläufe hier sind äußerst komplex. Wer sie versteht, ist der Kommerzialisierung ein großes Stück näher gekommen. Beim Entladen geben die Lithiumatome der Anode Elektronen ab und wandern dann als Lithium-Ionen durch einen Elektrolyten zur Kathode, wo sie mit Sauerstoff aus der Luft reagieren. Das Reaktionsprodukt – Lithiumperoxid – setzt sich dann an der Kathode ab.	Um das Problem zu lösen, untersuchen die Forscher am ICT die Reaktionsvorgänge an der Kathode. Die chemischen Abläufe sind äußerst komplex. „Wenn wir sie verstehen, sind wir der Kommerzialisierung ein großes Stück näher“, erklärt Möller. Beim Entladen geben die Lithium-Atome der Anode Elektronen ab und wandern dann als Lithium-Ionen durch einen Elektrolyten zur Kathode, wo sie mit Sauerstoff aus der Luft reagieren. Das Reaktionsprodukt – Lithiumperoxid – setzt sich dann an der Kathode ab.	
7	Um die Batterie wieder aufzuladen, müsste die Zelle den während des Entladens aufgenommenen Sauerstoff wieder in die Atmosphäre abgeben – bildlich gesprochen	Um sich wieder aufzuladen, müsste die Zelle den während des Entladens aufgenommenen Sauerstoff wieder in die Atmosphäre abgeben, also bildlich gesprochen ‚atmen lernen‘. Damit	

Abs	VDI Nachrichten (13.12.2013)	Neue Energie (4 / 2014)	Abs
	atmen lernen. Doch damit sich dieser Prozess in Gang setzt, müssten die Wissenschaftler erst einen Weg finden, die beschädigte Kathode zu reaktivieren. Das ist bisher nicht gelungen.	sich dieser Prozess in Gang setzt, müssten die Wissenschaftler aber einen Weg finden, die beschädigte Kathode zu reaktivieren.	
8	Im Verbundprojekt Glanz (Durch Glas geschützte Anode und Zelle) widmen sich das Batterieforschungszentrum Meet der Universität Münster, der Glasspezialist Schott sowie Rockwood Lithium, Varta Microbattery und Volkswagen einem anderen Problem.	Im Verbundprojekt „Glanz“ (Durch Glas geschützte Anode und Zelle) widmen sich das Batterieforschungszentrum Meet der Universität Münster, Glasspezialist Schott sowie Rockwood Lithium, Varta Microbattery und Volkswagen einem anderen Problem.	7
9	Eine Lithium-Luft-Batterie ist ein offenes System, das stetig von Luft durchströmt wird. Da ihre Lithiummetallanode aber hochreaktiv ist, muss sie vor äußeren Einflüssen geschützt werden. Die in gängigen Batterien verwendeten mikroporösen Kunststoffmembranen können diesen Schutz nicht bieten.	Eine Lithium-Luft-Batterie ist ein offenes System, das stetig von Luft durchströmt wird. Da seine Lithiummetall-Anode aber hochreaktiv ist, muss es vor äußeren Einflüssen geschützt werden. Die in gängigen Batterien verwendeten mikroporösen Kunststoffmembranen können diesen Schutz nicht bieten.	
10	Die Glanz-Projektteilnehmer entwickeln daher ein neues Separatormaterial aus Glaskeramik, das keine unerwünschten Reaktionen zulässt. 2014 soll das von der Bundesregierung mit 5,6 Mio. € geförderte Vorhaben abgeschlossen sein.	Die Projektteilnehmer entwickeln daher einen neuen Separator aus Glaskeramik, der keine unerwünschten Reaktionen zulässt. Bereits dieses Jahr soll das von der Bundesregierung mit 5,6 Millionen Euro geförderte Vorhaben erste Ergebnisse liefern.	
11	An einer den Lithium-Luft-Batterien verwandten Technik arbeitet das Forschungszentrum Jülich (FZJ). Sie nutzt statt Lithium als Anodenmaterial Silizium, das die gleiche Energiedichte von 1000 Wh/kg ermöglichte, aber im Gegensatz zum seltenen Lithium in unerschöpflicher Menge zur Verfügung stehe, sagt FZJ-Forscher Rüdiger-A. Eichel. Der Physiker leitet dort das Institut für Energie- und Klimaforschung und den Bereich Grundlagen der Elektrochemie und sucht nach Werkstoffen, mit denen die Silizium-Luft-Batterie so zuverlässig wie andere Stromspeicher werden kann.	An einer den Lithium-Luft-Batterien verwandten Technik arbeiten derweil Wissenschaftler des Forschungszentrums Jülich (FZJ). Sie nutzen als Anodenmaterial Silizium statt Lithiummetall. Es ermöglichte die gleiche Energiedichte von 1.000 Wattstunden pro Kilogramm, stehe im Gegensatz zum seltenen Lithium aber in unerschöpflicher Menge zur Verfügung, sagt FZJ-Forscher Rüdiger Eichel. Derzeit werde im Institutsbereich Grundlagen der Elektrochemie nach Werkstoffen gesucht, mit denen die Silizium-Luft-Batterie so zuverlässig wie andere Stromspeicher werden könne.	8
12	Obwohl die Wissenschaftler gut vorankommen, warnen sie vor verfrühter Euphorie. "Metall-Luft-Batterien werden vermutlich nicht vor 2030 den Durchbruch schaffen", erklärt ICT-Experte Möller. "Sie müssen einige 100 Vollzyklen schaffen. Davon sind wir derzeit noch weit entfernt."	Obwohl die Wissenschaftler gut vorankommen, warnen sie vor verfrühter Euphorie.	9
13	Olaf Wollersheim, Leiter des Projekts "Competence E" am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), rechnet nicht mit einer baldigen Kommerzialisierung der Technik.	Olaf Wollersheim, Leiter des Projekts Competence E am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), rechnet nicht mit einer baldigen Kommerzialisierung der Technik. Im Rahmen von Competence E untersuchen die Experten verschiedene Batterietypen für die E-Mobilität und die Energiewirtschaft.	
	"Wir sehen Metall-Luft-Batterien erst als Technik der übernächsten Generation. Es ist uns noch nicht möglich, sie nach dem ersten Entladen in den heilen Zustand	„Wir sehen Metall-Luft-Batterien erst als Technik der übernächsten Generation. Es ist uns noch nicht möglich, sie nach dem ersten Entladen in den heilen Zustand	

Abs	VDI Nachrichten (13.12.2013)	Neue Energie (4 / 2014)	Abs
	zurückzuversetzen", erklärt Wollersheim.	zurückzuversetzen“, erklärt Wollersheim.	
		Leistungsstarke Alternativen	
14	Stattdessen könnte sich ein Batterietyp durchsetzen, der derzeit wenig beachtet wird: Lithium-Schwefel. Wollersheim schätzt, dass dieser bereits in zehn Jahren marktreif sein könnte. Im praktischen Einsatz lässt sich mit Lithium-Schwefel-Akkus eine spezifische Energie von 600 Wh/kg erreichen – also mehr als das Doppelte gängiger Lithium-Ionen-Akkus.	Vorher könnten sich andere Batterietypen durchsetzen, die in der derzeitigen Euphorie um die Luft-Batterien wenig beachtet werden. Lithium-Schwefel-Batterien etwa könnten nach Wollersheims Schätzung bereits in zehn Jahren marktreif sein. Im praktischen Einsatz lässt sich mit Lithium-Schwefel-Akkus eine spezifische Energie von 600 Wattstunden pro Kilogramm erreichen – also mehr als das Doppelte gängiger Lithium-Ionen-Akkus.	10
15	Das Problem der Schwefelspeicher ist ihre Stabilität, die bisher noch keine annehmbaren Werte erreicht hat. Da sich Schwefel beim Laden ausdehnt und sich beim Entladen wieder zusammenzieht, wird die Kathode stark belastet. Hinzu kommt, dass sich Schwefel im Elektrolyt löst und das Aktivmaterial so verloren geht.	Das Problem der Schwefelspeicher ist ihre Stabilität, die bisher noch keine annehmbaren Werte erreicht hat. Da sich Schwefel beim Laden ausdehnt und sich beim Entladen wieder zusammenzieht, wird die Kathode stark belastet. Dazu kommt, dass sich Schwefel im Elektrolyt löst und das Aktivmaterial somit verloren geht.	
16	Forscher des Fraunhofer-Instituts für Werkstoff- und Strahltechnik (IWS) in Dresden ist es jetzt gelungen, den Akku zu stabilisieren. So erreichten sie 1400 Ladezyklen, und die Zelle hatte dann noch eine Kapazität von 60 % des ursprünglichen Werts. Damit erreicht die Technik zwar noch nicht die Lebensdauer von Lithium-Ionen-Akkus, die bis zu 10 000 Vollzyklen schaffen, doch sind sie damit näher an der praktischen Anwendung als die Metall-Luft-Batterien, die bisher noch in der Grundlagenforschung stecken.	Forscher des Fraunhofer-Instituts für Werkstoff- und Strahltechnik (IWS) ist es nun aber gelungen, den Akku zu stabilisieren. So erreichten sie 1.400 Ladezyklen, und die Zelle hatte dann immerhin noch eine Kapazität von 60 Prozent des ursprünglichen Werts. Damit kommt die Technik zwar noch nicht an die Lebensdauer von Lithium-Ionen-Akkus heran, die durchschnittlich etwa 7.000 Vollzyklen schaffen. Doch sind sie damit näher an der praktischen Anwendung als Luft-Batterien, die bisher noch in der Grundlagenforschung stecken.	11
		Bereits kurzfristig könnten Natrium-Ionen-Batterien auf den Markt kommen. Die US-Firma Aquion Energy, eine Ausgründung der Carnegie Mellon University (CMU) aus Pittsburgh, will die Natrium Akkus bereits ab 2015 kostengünstig in Masse herstellen. CMU-Professor und Aquion-Gründer Jay Whitacre verspricht, die „Aqueos Hybrid Ion“-Technik (AHI) für weniger als 200 Dollar (144 Euro) pro Kilowattstunde, also günstiger als heutige Lithiumbatterien anzubieten. Das sei möglich, weil sich Aquion bei der Suche nach Elektrodenmaterialien auf günstige, leicht verfügbare Elemente wie Natrium und Kohlenstoff beschränkt habe statt vergleichsweise seltenes und teures Lithium zu verwenden, so Whitacre.	12
		Natrium-Ionen-Batterien brächten weitere Vorteile mit sich: So bleibe ihre Speicherfähigkeit selbst bei extrem schwankenden Temperaturen gleich. Sie könnten sogar in Wüstengebieten ohne Einschränkungen arbeiten. Das würde sie für	13

Abs	VDI Nachrichten (13.12.2013)	Neue Energie (4 / 2014)	Abs
		einen Einsatz am Fuße von großen Sonnenkraftwerken prädestinieren, wie sie vor allem in heißen Regionen im Sonnengürtel der Erde entstehen.	
		Außerdem hat Aquion die Leistung und die Lebensdauer der Natrium-Ionen-Technik nach eigenen Angaben verbessert. Die Kathode besteht aus einer Natriumlegierung, die Anode aus einer Kohlenstoffverbindung. Dazwischen befindet sich ein flüssiger Elektrolyt, der nur positiv geladene Natrium-Ionen, also Atome, denen das eine oder andere Elektron fehlt, passieren lässt. Beim Aufladen wandern die Ionen von der Kathode zur Anode, beim Entladen kehrt sich der Vorgang um. Noch vor einigen Jahren sank die Speicherfähigkeit von Natrium-Ionen-Batterien bereits nach 50 Lade- und Entladevorgängen auf die Hälfte. Dank eines besseren Verständnisses der chemischen Abläufe hat Aquion das Problem laut Whitacre in den Griff bekommen: Die Akkus der Amerikaner schafften 5000 Vollzyklen und erreichten bei einem täglichen Ladevorgang eine Lebensdauer von mindestens zehn Jahren. Damit hätten sich die Natriumbatterien der Lithium-Ionen-Technik angenähert.	14
		Auch sollen die neuen Natrium-Akkus besonders sicher sein. Anders als etwa die in den Siebzigerjahren vor allem in Deutschland entwickelte Natrium-Schwefel-Batterie, die eine Arbeitstemperatur von 300 bis 400 Grad Celsius hat und zu Explosionen neigt, arbeiten Aquion-Akkus bei Umgebungstemperatur – das mindert die Gefahr von Bränden deutlich. Da Aquion zudem eine Art Sole als Elektrolyten verwendet, können die Natrium-Ionen-Batterien leichter recycelt werden als Lithium-Ionen-Akkus, in denen ein organischer Elektrolyt steckt. Dank der Sole lässt sich schließlich auch die Produktion vereinfachen, was wiederum Kosten senkt. Die eingesetzten Maschinen werden normalerweise in der Nahrungsmittelherstellung verwendet. Batteriespeicher werden erst ab 2030 für das Energiesystem relevant – diese These vieler Energieexperten muss wohl überdacht werden.	15