

17.7.21 NZZ

Auf der Suche nach nachhaltigeren Metallen für den Batterienboom

Elektroautos haben eine Schwachstelle: Batterien aus Rohstoffen, die weltweit knapp werden. Am Meeresboden schlummern diese in Massen. Sie lassen sich jedoch nicht einfach bergen. VON SABRINA WEISS (Text) und CHARLOTTE ECKSTEIN (Illustration)

Im Kampf gegen den Klimawandel braucht es leistungsstarke Batterien, und zwar tonnenweise. Elektroautos können die weltweite CO-Bilanz massiv verbessern. Sie gelten gar als Hoffnungsträger in der Energiewende. In dreissig Jahren soll es auf Schweizer Strassen nur noch Elektrofahrzeuge geben. In Grossbritannien sollen bereits ab 2030 alle Neuwagen elektrisch sein.

Tatsächlich waren 2020 weltweit schon 10 Millionen Elektroautos auf den Strassen unterwegs, und laut der Internationalen Energieagentur (IEA) könnten es in zehn Jahren schon 145 Millionen sein. Das Problem: Der Vorrat an Metallen, die zur Herstellung von Batterien und Elektromotoren benötigt und in Bergwerken rund um die Welt abgebaut werden, geht zur Neige. Ausserdem wird die Rohstoffindustrie oft mit Kinderarbeit, Korruption oder Umweltverschmutzung in Verbindung gebracht. Metallerze aus den Tiefen des Ozeans werden dagegen als nachhaltige Alternative angepriesen.

Die Technik hinter der E-Autobatterie ist komplex, auch wenn sie im Grunde genommen der eines Smartphone- oder Laptop-Akkus ähnelt. Die am weitesten verbreitete Lithiumionenbatterie hat zwei geladene Elektroden: Die positive Elektrode (Kathode) besteht aus Lithium und einer Mischung aus anderen Elementen wie Nickel, Mangan oder Kobalt, die negative Elektrode (Anode) ist aus Grafit gefertigt. Folien aus Aluminium beziehungsweise Kupfer umfassen die Elektroden und dienen als Stromableiter.

Zwischen den beiden Elektroden liegt eine besondere Flüssigkeit, der Elektrolyt. Wenn Lithiumionen – also Atome, denen ein Elektron fehlt und die deshalb positiv geladen sind – von der Anode zur Kathode wandern, entsteht elektrische Spannung. Es ist das silberweisse, weiche Leichtmetall Lithium, das hohe Spannungen um 4 Volt ermöglicht. Doch um ein Auto über mehr als 600 Kilometer je Aufladung zu betreiben, reicht eine einzelne Batteriezelle nicht aus. Dafür werden Tausende von Zellen zu einem Paket gebündelt.

Die Lithiumionenbatterie ist so entscheidend für den Erfolg von Elektroautos geworden, dass sie dem Chemiker-Trio, welches die Technologie in den 1980er Jahren erfunden hat, vor zwei Jahren den Nobelpreis eingebracht hat. Doch irgendwann zwischen diesen Ereignissen wurden die Batteriehersteller stark abhängig von Rohstoffen wie etwa Kobalt.

Um den Bestand der rund 6 Millionen Schweizer Benzin- und Dieselfahrzeuge durch die gleiche Anzahl an Elektroautos zu ersetzen, würden schätzungsweise 40 000 Tonnen Kobalt benötigt. Dies entspricht fast einem Drittel der jährlichen Weltproduktion von Kobalt. Hinzu kommt der hohe Bedarf an Kupfer, Nickel, Lithium. Richtig eng wird es, wenn alle 1,4 Milliarden Autos auf der Welt durch Batteriefahrzeuge ersetzt werden sollen.

Schmutziger Bergbau

Die Verkaufszahlen von Elektroautos werden sich weiterhin steil nach oben bewegen, da sich die Kosten immer mehr denen konventioneller Fahrzeuge annähern. Und: Gerade weil Regierungen auf der ganzen Welt neue Gesetze verabschieden, um den Übergang zur Elektromobilität zu beschleunigen, und bis jetzt nur ein kleiner Teil der Batterien wiederverwertet werden kann, werden Batteriehersteller Schwierigkeiten haben, mit der Nachfrage Schritt zu halten. Die begrenzten Rohstoffreserven, die in Tunneln unter der Erde abgebaut werden, werden daher immer begehrter.

Von den 140 000 Tonnen Kobalt, die jährlich produziert werden, stammen zwei Drittel aus einem politisch instabilen Land: der Demokratischen Republik Kongo in Zentralafrika. Hier wird Kobalt überwiegend als Nebenprodukt in Nickel- oder Kupferminen abgebaut.

Zusammensetzung ändert sich

Es sei theoretisch genügend Kobalt auf der Erde vorhanden, sagt Frances Wall, Professorin für angewandte Mineralogie an der University of Exeter. Denn Kobalt kommt auch in anderen Teilen der Welt vor, selbst in Europa sind mindestens 151 Lagerstätten bekannt. «Es geht darum, genügend Kobalt auf verantwortungsvolle Weise zu produzieren, um den Bedarf der Batteriehersteller zu decken», sagt Wall.

Nichtregierungsorganisationen werfen dem Schweizer Konzern Glencore – dem weltgrößten Produzent von Kobalt – immer wieder vor, die wertvollen Rohstoffe unter schlechten Arbeitsbedingungen und Menschenrechtsverletzungen zu fördern. Beim Abbau von Kobalt denkt man auch an Kinderarbeit in Minen, verschmutzte Flüsse und verschmutzte Luft und gewaltsam vertriebene Gemeinden. Und deshalb spüren die Bergbauunternehmen laut Wall zunehmenden Druck von Investoren und Verbrauchern.

«Kobalt macht Schlagzeilen», sagt Wall. Doch die Zusammensetzung der Batterien ändere sich kontinuierlich und somit auch die Nachfrage nach verschiedenen Metallen. Weil Batterien für Elektroautos so klein und leicht wie möglich gebaut werden müssen, ist das leistungsstarke Lithium jedoch nicht mehr wegzudenken. Lithium wird derzeit aus Salzseen oder Gesteinen gewonnen, von Chile und den Vereinigten Staaten über Australien bis hin zu Deutschland, und nach Schätzungen des US Geological Survey (USGS) lagern weltweit rund 86 Millionen Tonnen.

Auch das Vorkommen von Kupfer, Nickel oder Mangan ist begrenzt, das macht sie so wertvoll. Während Batterie hersteller an ökonomischeren und nachhaltigeren Materialkombinationen arbeiten, haben einige Rohstofffirmen eine Alternative im Auge, die Tausende von Metern unter der Meeresoberfläche liegt.

Antrag auf eine Abbaulizenz

Die Clarion-Clipperton-Zone (CCZ) ist ein Tiefseegraben im Pazifik, etwa auf halbem Weg zwischen Hawaii und Mexiko. Dort liegen massenhaft Klumpen wie schwarze Kartoffeln lose auf dem Meeresboden verstreut, auf einer rund 4,5 Millionen Quadratkilometer grossen Fläche – ein relativ kleiner Fleck im weiten Ozean, doch seine Grösse entspricht fast der Fläche aller EU-Länder. Die Klumpen, sogenannte Manganknollen, enthalten neben dem namensgebenden Metall Mangan auch Kupfer, Nickel und Kobalt. Vier wertvolle Erze, in einem Klumpen vereint. Diese sollen nun von Tiefseerobotern eingesammelt werden.

Nach Schätzungen der Internationalen Meeresbodenbehörde der Uno (ISA) lagern rund 21 Milliarden Tonnen Manganknollen in der CCZ. Daraus liessen sich 270 Millionen Tonnen Nickel und 230 Millionen Tonnen Kupfer produzieren. Die rund 50 Millionen Tonnen Kobalt würden grob gerechnet reichen, um Batterien für 7 Milliarden Teslas zu produzieren. Ausserdem enthalten die Knollen oft auch seltene Erden, mit denen Permanentmagnete in Elektromotoren verbaut werden.

Förderfirmen wie The Metals Company (früher DeepGreen) argumentieren, dass der Abbau der Knollen am Meeresboden weniger belastend sei für die Umwelt als der Bergbau an Land. Es müssten keine Wälder gerodet werden, und beim Abbau und beim Transport der Knollen werde weniger CO

ausgestossen. Ein weiterer Vorteil des Tiefseebergbaus sei, dass die Roboter mehrere Metalle in einem Zug einsammeln könnten. An Land müssten dafür diverse Bergwerke erschlossen und betrieben werden.

TMC, eine kanadische Firma, die unter anderem von Glencore finanziert wird, hofft, bis 2024 mit dem kommerziellen Abbau zu beginnen. Dafür fehlt ihr jedoch noch der Startschuss der ISA: Die Meeresbodenbehörde arbeitet derzeit an einem Regelwerk für die neue Industrie – unter hohem Zeitdruck, denn im Juni dieses Jahres hat der pazifische Inselstaat Nauru, der TMC sponsert, einen Antrag auf eine Abbaulizenz gestellt. Ausserdem laufen weitere 7 der 19 Lizenzen für die Erkundung von Manganknollen in den nächsten Monaten aus.

Unberührtes Gebiet der Erde

Es gibt eine grosse Hürde: Der Tiefseebergbau birgt eigene Umweltgefahren. Die Sammelroboter der Förderfirmen würden über den Meeresboden rollen und die oberste Schicht aufsaugen, um die Knollen zu ernten. Dann würden sie die Knollen auf Schiffe hochpumpen und die unerwünschten Sedimente zurück ins Meer leiten. All das würde Sedimente aufwirbeln, die sich kilometerweit über das Abbaugelände verbreiteten und dadurch Seegurken oder andere Organismen, die Nahrung aus dem Wasser filtern, stören oder gar ersticken könnten.

Das lässt bei Umweltschützern die Alarmglocken läuten. Über die Tiefsee ist sehr wenig bekannt, und jede Erkundung bringt Lebewesen hervor, die für die Wissenschaft neu sind. Es gibt zum Beispiel Schwämme, die sich an die Manganknollen heften, und eine gespenstisch blass Mini-Krake, die wiederum ihre Eier auf diese Schwämme legt. Die Knollen selbst entstehen, indem sich im Wasser gelöste Metalle an Trümmern wie etwa solchen von Muscheln oder Haifischzähnen ablagern und dann Millimeter um Millimeter wachsen. Ein Prozess, der Millionen Jahre dauert.

Es ist schwierig, genau vorherzusagen, wie sich der Abbau von Knollen auf die Bewohner der Tiefsee auswirken wird. In einer Stellungnahme vom 24. Juni forderten mehr als 400 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein Moratorium für den Tiefseebergbau, bis umfassende Forschungen durchgeführt werden konnten. Und sie haben Rückenstärkung aus Teilen der Politik, wie etwa vom Europäischen Parlament, und von der Wirtschaft: BMW, Volvo, Google und Samsung verpflichteten sich im März dieses Jahres, keine Metallerze zu nutzen, die aus der Tiefsee stammen.

Die Wissenschaft will bald Antworten liefern. Im April dieses Jahres begleitete eine unabhängige Forschungsgruppe die belgische Firma Global Sea Mineral Resources (GSR) beim Test ihres Sammelroboters. Beim ersten Versuch löste sich die Maschine vom 5 Kilometer langen Kabel, das sie mit dem Schiff von GSR verband, und musste vom Meeresboden geborgen werden. Die kanadische Firma TMC war gleichzeitig auf einer Erkundungsreise in der Clarion-Clipperton-Zone unterwegs, mit 37 Meereswissenschaftlern an Bord.

Sollte es eines Tages mit der Technik klappen, könnten die enormen Mengen an Manganknollen, die auf dem Meeresboden ruhen, durchaus ausreichen, um Millionen von Autos zu elektrifizieren. Die Frage ist jedoch, ob es angesichts der rasanten Entwicklung neuer Batterietechnologien überhaupt nötig ist, sie an Land zu holen.

Die Suche nach dem besten Mix

Die Autohersteller hoffen auf Batterien, die ohne teure und knappe Rohstoffe an Land auskommen – noch bevor die Elektromobilität wirklich an Fahrt aufnimmt. Lithiumionenbatterien enthalten bereits erheblich weniger Kobalt als vor ein paar Jahren. Tesla will das Kobalt künftig ganz weglassen. Denn es ist das Element, das Lithiumionenbatterien – und damit Elektroautos – so teuer macht.

CATL, der grösste Batteriehersteller der Welt, produziert bereits billigere Batterien mit Eisen anstatt Kobalt und Nickel für die chinesische Version des Tesla Model 3. Immerhin wird das weltweite Vorkommen von Eisen auf mehr als 230 Milliarden Tonnen geschätzt. Bis Mitte 2022 will CATL seine Fabrik in Erfurt in Betrieb nehmen, der Erstkunde wird BMW sein.

Inzwischen tüfteln andere Hersteller an Feststoffzellen, die mit Lithium, Grafit und einem Separator aus einem festen Stoff wie etwa Keramik gefertigt werden. Mit Batterien aus dem vielfach vorhandenen Natrium oder Magnesium, die beide ähnliche chemische Eigenschaften wie Lithium haben, wird ebenfalls experimentiert. Andere Entwickler versuchen wiederum, Zinkbatterien wiederaufladbar zu machen. Doch diese Technologien werden nicht nur in Sachen Nachhaltigkeit punkten müssen, sie müssen auch günstiger als beispielsweise Lithium sein, um den Massenmarkt zu erreichen.

Nachhaltiger werden Autobatterien vor allem, wenn sie wiederverwendet werden können. Unter normalen Ladebedingungen halten Lithiumionenbatterien etwa zehn Jahre, danach folgt ein rudimentäres Recyclingverfahren. Die Batterien werden meist zerlegt, geschreddert und danach eingeschmolzen.

Die dünnen Kupferfolien schmelzen und bilden mit den hochwertigen Metallen Kobalt und Nickel eine Legierung. Die einzelnen Metalle können dann mit starken Säuren aus dieser Legierung gereinigt und wiederverwertet werden. Andere Materialien wie Lithium, Grafit, Aluminium oder Mangan verbrennen ganz. Dieses Verfahren braucht jedoch viel Energie und produziert giftige Gase und Abfallprodukte.

Das Huhn-Ei-Problem

Sauberere und effizientere Methoden müssen daher rasch gefunden werden, wenn der Elektroautomarkt weiterhin so rasant wächst. Dafür braucht es gemäss dem Materialwissenschaftler Gavin Harper einen intelligenteren Ansatz, angefangen bei der Entwicklung und dem Design von Batterien.

«Der heilige Gral ist die Idee des direkten Recyclings», sagt Harper, der an der University of Birmingham an einem Forschungsprojekt zum Recycling von Batterien arbeitet. Ablaufen würde das direkte Recycling etwa so: Die Kathode und die Anode werden von der Batteriezelle getrennt und in einem chemischen Prozess regeneriert, anstatt dass die wertvollen Metalle einzeln extrahiert werden müssen. Die Bauteile könnten dann einfach wieder in eine Batteriezelle gelegt werden.

Dafür müssten die Batteriepakete aber laut Harper so ausgelegt sein, dass sie einfach zusammengebaut und später zerlegt werden könnten, in einer automatisierten Recyclinganlage. «Von da an werden die Recyclingprozesse zum Kinderspiel, und wir können viel mehr Wert und Inhalt aus einer Batterie zurückgewinnen», sagt er. Harper und seine Kollegen von den Universitäten in Birmingham und Leicester werden von der britischen Regierung unterstützt und haben einen Weg gefunden, die aktiven Materialien aus den Kathoden und Anoden mit Ultraschall wiederzugewinnen. Sie haben im Juli ein Patent angemeldet.

Beim Recycling von Batterien handelt es sich schliesslich um ein Huhn-Ei-Problem: Der Betrieb einer Recyclinganlage ist erst dann wirtschaftlich, wenn Abfallmengen anfallen. Und wenn sich die Batterietechnologien komplett ändern, wird es wieder dauern, bis sich die Materialien angehäuft haben.

Abgesehen von allen Umweltbedenken muss sich auch der Tiefseebergbau als wirtschaftlich rentabel erweisen. Es ist jedoch unwahrscheinlich, dass sich die Förderfirmen zurückziehen werden, zu viel Geld ist in die Erkundung der wertvollen Knollen geflossen.

Aus dem E-Paper vom 17.07.2021