

Neues Leben für alte Akkus

Das Recycling ausgedienter Akkus soll helfen, Engpässe bei raren Rohstoffen zu vermeiden.

RALPH DIERMANN

Die Demokratische Republik Kongo gehört zu den ärmsten Ländern der Erde. Doch zugleich ist der von Bürgerkriegen und Korruption ausgezehrt Staat eines der Schlüsselländer für die weltweite Elektromobilität. Der Grund dafür sind die Kobaltlagerstätten Kongos. Batteriehersteller benötigen das Schwermetall, um Kathoden für Lithiumionen-zellen herzustellen. Die amerikanische Behörde United States Geological Survey schätzt, dass 71 Prozent des weltweit verwendeten Kobalts heute aus Kongo, kommen. Das zentralafrikanische Land verfügt über die mit Abstand grössten Kobaltreserven der Erde.

Der Bedarf steigt rasant

Mit dem Trend zu elektrischen Antrieben bei Fahrzeugen nimmt die Nachfrage nach dem Schwermetall stark zu. Zwar arbeiten die Batteriehersteller daran, den Kobaltanteil in den Kathoden zu reduzieren. Der Elektroauto-pionier Tesla will künftig bei einem Teil seiner Fahrzeuge gar Akkus verwenden, die ganz ohne das Material auskommen. Dennoch werde sich der Kobaltbedarf der Batterieindustrie bis 2030 vervierfachen, glauben Experten des World Economic Forum. Denn zum Anstieg der Verkaufszahlen bei Elektroautos kommt noch eine ebenfalls wachsende Nachfrage nach Batterien als stationäre Speicher, etwa für Solarstrom, hinzu. Ohne Kongo liesse sich dieser Rohstoff-hunger niemals stillen.

Derartige Abhängigkeiten bergen für Autohersteller ein grosses Risiko. Ein guter Grund also für Industrie und Wissenschaft, sich intensiv mit dem Recycling ausgedienter Akkus zu beschäftigen, um Kobalt ebenso wie die Rohstoffe Lithium, Nickel oder Mangan zu rückzugewinnen. «Das Recycling alter Batterien kann dazu beitragen, die Rohstoffsituation zu entspannen», sagt Tobias Schmidt, Professor für Energie-politik an der ETH Zürich. Eine allgemeine Knappheit bei Kobalt und anderen Materialien erwartet er zwar nicht, weil mit wachsender Nachfrage auch neue Minen eröffnet werden. Allerdings dauert es mehrere Jahre, eine neue Mine zu entwickeln – deswegen könne es immer wieder kurzfristige Engpässe geben, so Schmidt.

Bis jetzt gibt es nur in China nennenswerte Kapazitäten für das Recycling von Lithiumionen-zellen. In Europa sind nur wenige relativ kleine Anlagen in Betrieb. Ein Problem sei das noch nicht, meint Schmidt, da keine Materialknappheit herrsche und zudem die Zahl ausrangierter Batterien noch niedrig sei. Doch müsse man jetzt beginnen, in Europa Recycling-Anlagen aufzubauen, sagt der Wissenschaftler, damit sie dann, wenn sie wirklich gebraucht würden, zur Verfügung stünden.

Beim Recycling der wertvollen Batteriematerialien unterscheiden Fachleute zwischen pyrometallurgischen und mechanischen Verfahren. Bei ersteren werden die Batteriezellen in einem Ofen geschmolzen. Kobalt, Nickel und das ebenfalls enthaltene Kupfer bilden dabei eine Legierung, aus der sich diese einzelnen Metalle nahezu vollständig zurückgewinnen liessen, erklärt Rolf Widmer vom Schweizer Material-forschungsinstitut Empa. «Das Lithium dagegen geht verloren, weil es zusammen mit anderen leicht oxidierenden Metallen im Ofen zu einer Schlacke wird, die man nur noch als Material zum Beispiel für den Strassenbau einsetzen kann.» Beim mechanischen Ansatz werden die Zellen zunächst geschreddert. Mit verschiedenen chemischen und elektrochemischen Verfahren können die einzelnen Metalle dann fast sorten-rein aus dem Gemisch gelöst werden. Bei Kobalt, Lithium, Mangan und anderen Elementen erreiche man auf diesem

Wege eine Rückgewinnungsquote von über 90 Prozent, sagt Widmer, der an der Empa eine Arbeitsgruppe zur Evaluation verschiedener Verfahren zum Batterie-Recycling leitet.

Die Nutzungsdauer verlängern

Die Batteriehersteller verwenden die Metalle allerdings nicht in elementarer Form, sondern als Verbindungen, etwa als Lithium-Nickel-Kobalt-Mangan-Oxide. Es wäre also deutlich einfacher, effizienter und ressourcenschonender, wenn Recycling-Anlagen gleich die benötigten Verbindungen liefern und den Umweg über die elementaren Metalle vermeiden würden. Praxisreife Verfahren dafür sind derzeit jedoch noch nicht in Sicht. Strukturierte Materialverbunde wiederzuverwerten, sei sehr schwierig und aufwendig, erklärt Widmer. Zudem seien rezyklierte Verbindungen nicht so stabil wie diejenigen, die aus primären Rohstoffen «frisch» hergestellt werden. Batterien aus solchen Materialien wären deswegen weniger langlebig und zuverlässig, sagt der Experte.

Neben dem Recycling gibt es aber noch andere Ansatzpunkte, den Bedarf an Materialien wie Kobalt oder Lithium zu reduzieren. So würde auch die Verlängerung des Lebenszyklus von Batterien Entlastung bringen, sagt Widmer. Er hat dabei vor allem Festkörperbatterien im Visier, die derzeit in der Entwicklung sind – Lithiumionenbatterien, die statt eines flüssigen Elektrolyten einen Feststoff enthalten, der besser mit den elektrochemischen Beanspruchungen während der Lade- und Entladevorgänge zurechtkommt. Festkörperbatterien sind deshalb langlebiger und auch ungefährlicher als solche mit flüssigen Elektrolyten. Zudem haben sie eine deutlich höhere Energiedichte. Elektroautos können damit also bei gleichem Gewicht des Speichers mehr Kilometer zurücklegen. Volkswagen erwartet, dass Festkörperbatterien in rund fünf Jahren in Grossserie gefertigt werden können.

Doch auch die Nutzungsdauer der heute verwendeten Batterien lässt sich verlängern: Die Stromspeicher müssen nicht gleich mit dem Elektrofahrzeug ausrangiert werden, sondern können anschliessend noch für andere Aufgaben nützlich sein. Batterien, die für die Anwendung im Fahrzeug nicht mehr taugen, seien oft noch leistungsstark genug für eine stationäre Verwendung, sagt Stefan Brönnimann vom Forschungszentrum Energiespeicher der Berner Fachhochschule. Einsatzfelder sieht er überall dort, wo es auf die Energie- und Leistungsdichte nicht so sehr ankommt, etwa als Grossspeicher für die Frequenzregelung in Netzen oder als Solarspeicher in Haushalten.

Die Schweizerische Post sammelt mit diesem Modell bereits Erfahrungen: Sie nutzt die Lithiumionenbatterien aus drei ausgedienten Elektrorollern, um in einem Betriebsgebäude in Neuenburg aus einer Photovoltaikanlage auf dem Dach zu speichern. Nach rund sieben Betriebsjahren im Fahrzeug haben die Batterien noch eine Speicherkapazität von etwa 80 Prozent – zu wenig für den Einsatz auf der Strasse, aber genug, um abends Elektroroller für die Briefzustellung mit Solarstrom zu laden.

Ob sich diese Form des Recyclings von Elektroauto-Batterien durchsetzen wird, dürfte letztlich vor allem eine wirtschaftliche Frage sein. Denn die Kosten neuer Lithiumionenbatterien fallen rasant: 2023 würden sie sich auf nur noch rund 100 US-Dollar pro Kilowattstunde Speicherkapazität belaufen, schätzen die Analysten von Bloomberg New Energy Finance. 2019 lag der Preis für dieselbe Speicherkapazität noch bei 156 US-Dollar. Bis 2030 könnte er bis auf 61 US-Dollar sinken. Je günstiger neue Batterien sind, desto unattraktiv wird es, alte leistungsschwächere Akkus einzusetzen.



Die andauernde Dürre führte im September 2018 am Monte Erto bei Biasca zu einem Waldbrand.

GAEFIAN BALLY / KEYSTONE

Der Wald ist im Stress

Extreme Wetterereignisse häufen sich, Hitze setzt den Bäumen vermehrt zu. Die monatelange Dürre im Sommer 2018 könnte eine einschneidende Wegmarke für die hiesigen Wälder setzen. VON LUKAS DENZLER

Der Wald ist für viele Menschen zu einer Art Fluchort während der Corona-Krise geworden. Die Natur bietet Bewegungsfreiheit und einen Ausgleich zu den eigenen vier Wänden. Das frische Grün der jungen Blätter wirkt wie Balsam für die Seele. Doch wer gut beobachtet, entdeckt im Wald auch viele Baumschäden oder gar Lücken, wo Bäume abgestorben sind. Sie sind oftmals eine Folge des heissen und trockenen Sommers 2018. Und im April war es schon wieder ausserordentlich trocken. Ein untrügliches Zeichen dafür waren die Warnungen vor Waldbränden inklusive des Verbots des Feuermachens. Die Niederschläge Ende April und Anfang Mai vermochten die Situation zu entschärfen. Doch die Trockenheit kann sich innert wenigen Wochen wieder verschärfen. Wiederholt sich ein Sommer wie vor zwei Jahren, so würde das den Bäumen einen neuerlichen Schlag versetzen. Denn viele sind immer noch geschwächt.

Auf Messers Schneide

Dass die mehrronatige Hitze und Trockenheit 2018 vielen Bäumen zusetzen würde und einige in der Folge auch absterben würden, war klar. Als sich im Sommer 2019 aber das tatsächliche Ausmass der Schäden abzuzeichnen begann, waren selbst Pflanzenphysiologen erstaunt. Denn wie Pflanzen wachsen, ist zwar recht gut erforscht. Bescheidener ist hingegen das Wissen darüber, wie

und wann genau Bäume aufgrund von Wassermangel sterben.

Als Glücksfall erwies sich hier, dass Wissenschaftler der Universität Basel Anfang 2018 mit einem mehrjährigen Experiment in einem Wald bei Hölstein (BL) begannen hatten. Ein 50 Meter hoher Kran war aufgebaut, um die Baumkronen in einem Umkreis von gut 50 Metern untersuchen zu können. Geplant war – und ist weiterhin –, ab 2021 auf der Hälfte der Fläche mit einem Regendach Trockenheit zu simulieren. Nun bot sich aber unverhofft die Gelegenheit, mit den bereits installierten Messgeräten die Wirkungen der Dürre auf die in einem natürlichen Wald lebenden Bäume zu erfassen.

«In Europa war das der einzige Standort, wo 2018 in grossem Umfang physiologische Messungen in den Baumkronen durchgeführt werden konnten», sagt Ansgar Kahmen vom Departement Umweltwissenschaften der Universität Basel. Zusammen mit Kollegen aus der Schweiz, Deutschland und Österreich publizierten die Basler Forscher kürzlich eine erste Übersichtsstudie zu den Folgen der Trockenheit für die mitteleuropäischen Wälder.

Zwischen Boden und Luft

Durch die sogenannten Spaltöffnungen in den Blättern können Pflanzen ihren Wasserhaushalt regulieren. Indem ein Baum sie schliesst, kann er bei Trocken-

einer ausgeprägten Trockenheit stehen Bäume jeweils auf Messers Schneide zwischen «Verhungern» und «Verdursten», erläutert Kahmen. Welche Faktoren für ein Absterben aber entscheidend seien, wisse man im Grunde nicht.

Bäume bilden Bindeglieder zwischen dem Boden und der Luft. Aus den Spaltöffnungen verdunstet Wasser in die Atmosphäre, was einen Unterdruck im Gewebe erzeugt. Dies führt dazu, dass Wasser aus dem Boden über die Wurzeln durch röhrenartige Strukturen, die sogenannten Leitbahnen, in die Baumkrone transportiert wird. Trocknet der Boden sukzessive aus, wird die Saugspannung in den Leitbahnen des Baums immer grösser, denn gleichzeitig zieht die trockene Luft das Wasser aus den Blättern.

Lange glaubte man, dass wenn die Saugspannung zu gross wird, der Wasserfaden reisst und eindringende Luft zu einer Embolie führt. Vermutlich sei das aber nicht der Hauptgrund für das Absterben der Bäume während einer Trockenheit, sagt Kahmen. Bei geschlossenen Spaltöffnungen benötigen die Bäume nämlich nur geringe Mengen Wasser. Kann aber selbst diese minimale Bedarf über die Wurzeln aus dem Boden nicht mehr gedeckt werden, trocknet das Gewebe aus. Je nach Baumart wirkt sich dies unterschiedlich aus. Manche sterben rasch ab, andere vertragen mehr. Embolien werden allenfalls dann zum Problem, wenn sich

Trocknet der Boden sukzessive aus, wird die Saugspannung in den Leitbahnen des Baumes immer grösser, denn gleichzeitig das Wasser aus den Blättern.

heit zwar Wasserverluste reduzieren. Er kann dann aber auch kein Kohlendioxid aus der Atmosphäre mehr aufnehmen, das er für die Fotosynthese benötigt. Deren Produkte, vor allem die Kohlenhydrate, sind zentral für den Stoffwechsel und das Wachstum. Fehlen sie, droht der Baum zu verhungern. Wenn das Wasser im Boden knapp wird, gerät ein Baum dadurch in ein Dilemma. «Bei

die Bedingungen wieder bessern und der Baum eigentlich wieder wachsen könnte, die Leitbahnen aber nicht mehr intakt sind.

Verdurstende Bäume

Von der Dürre 2018 waren auffallend viele grosse und etablierte Bäume betroffen, während kleinere Bäume im Waldbestand die aussergewöhnlichen Verhältnisse besser ertrugen. Möglicherweise waren die Blätter der grossen Bäume stärker exponiert als diejenigen des Unterwuchses. Die mitteleuropäischen Bäume erreichen Höhen von 30 bis 40 Meter, in Einzelfällen sogar 50 Meter. Damit stossen sie noch an keine natürlich bedingte Grenze der Wuchshöhe. Dies im Unterschied zu den Küstensequoia im Westen Nordamerikas, deren grösste Exemplare rund 120 Meter in die Höhe ragen: Bei ihnen ist das Höhenwachstum hydraulisch limitiert.

Auf der Untersuchungsfläche der Basler Forscher wachsen Rotbuchen, Stieleichen, Hagebuchen, Fichten, Waldföhren, Weisstannen sowie wenige Exemplare weiterer Baumarten wie etwa Elsbeeren – insgesamt 250 Bäume, die zwischen 50 und 120 Jahre alt sind. Die Forscher konnten an ihnen die Auswirkungen der anhaltenden Trockenheit direkt mitverfolgen.

Interessante Ergebnisse zeigten sich bei der Saugspannung in den Leitbahnen. Diese hatte im Verlauf der Trockenheit laufend zugenommen, bis sie auf einem kritischen Niveau verharrete. Dann brach sie innerhalb weniger Tage ein. Und drei Wochen später waren einige Fichten tot. «Zum ersten Mal konnten wir mitverfolgen, wie Bäume buchstäblich vertrocknen», sagt Kahmen. «Und zwar ohne die Einwirkung von schädlichen Pilzen oder Borkenkäfern.» Das Problem sei die mangelnde Wasserversorgung gewesen. Energiereserven wären noch genügend vorhanden gewesen. Die Bäume starben an Durst, nicht an Hunger.

Auch bei den Buchen stellten die Wissenschaftler einen Verlust der Leitfähigkeit für Wasser fest. Ihre Kronen wurden braun, die Bäume überlebten jedoch. Im Folgejahr 2019 hätten sich die Buchen aber nicht erholt, sagt Kahmen. Die Querschnitte abgeschnittener Zweige in den Kronen zeigten, dass die Leitbahnen nach wie vor geschädigt waren. Obwohl die Buchen im Sommer 2018 ihr Laub teilweise abgeworfen hatten, um sich vor dem Austrocknen zu schützen, waren sie nicht in der Lage, sich von der Dürre zu erholen. Pathogene wie Pilze und Insekten dürften bei derart geschwächten Bäumen nun relativ leichtes Spiel haben – insbesondere wenn die Bäume erneut unter Wassermangel leiden.

2018 setzt neuen Massstab

Bis dahin hatte der Sommer 2003 bezüglich Trockenheit als Massstab gegolten. Ein Vergleich von Klimadaten aus Deutschland, Österreich und der Schweiz zeigt, dass die Niederschläge während der Vegetationsperiode von April bis Oktober 2018 mit denjenigen von 2003 vergleichbar waren. Auch in den früheren Trockenjahren 1976, 1947 und 1911 war das Regendefizit ähnlich hoch oder sogar noch etwas ausge-

Risiken in Erholungswäldern

ide. · 2018 gerieten nicht nur die Fichten unter Druck, von denen man weiss, dass sie empfindlich auf Dürren reagieren. Auch die Weisstannen litten. Aufgrund ihrer tiefen Wurzeln gelten sie allgemein als relativ trockenheitstolerant. Vor allem im Mittelland und im Jura war der Wassermangel aber so ausgeprägt, dass sich ihre Kronen rotbraun verfärbten. Mancherorts starben 20 bis 30 Prozent der etablierten Weisstannen in relativ kurzer Zeit ab.

Am meisten überraschten jedoch die Trockenheitsschäden an den Buchen. Davon betroffen waren vor allem die Kantone Jura, Basel-Landschaft und Schaffhausen. Besonders ältere Bäume vermochten der Dürre nicht standzuhalten. Und anders als bei von Borkenkäfern befallenen Fichten können bei den Laubbäumen mächtige Äste abbre-

«Zum ersten Mal konnten wir mitverfolgen, wie Bäume buchstäblich vertrocknen – und zwar ohne die Einwirkung von schädlichen Pilzen oder Borkenkäfern.»

Ansgar Kahmen
Departement Umweltwissenschaften
der Universität Basel

präger. Allerdings war es 2018 deutlich wärmer: Die durchschnittliche Temperatur während der Vegetationsperiode lag 1,3 Grad über dem Wert von 2003 und sogar 3,3 Grad über dem Mittel der Jahre 1961 bis 1990. Die für das Pflanzenwachstum wichtige klimatische Wasserbilanz, die Differenz von Niederschlägen und potenzieller Verdunstung, sowie das Wasserdampfdefizit der Luft, ein Mass für deren Trockenheit, erreichten vor zwei Jahren ebenfalls neue Spitzenwerte.

Dass 2018 so deutliche Spuren bei den Bäumen hinterlassen hat, könnte somit an der Kombination von Wassermangel und hohen Temperaturen liegen. In der Fachwelt wird dafür seit einigen Jahren der Ausdruck «hot droughts», heisse Dürren, verwendet: Offenbar sind Dürren dann besonders gravierend, wenn aufgrund hoher Temperaturen auch das Wasserdampfdefizit in der Luft sehr hoch ist. Und genau solche Verhältnisse werden sich im Zuge der Klimaerwärmung häufiger einstellen. Diese Erklärung ergibt auch pflanzenphysiologisch Sinn. Mit höheren Temperaturen sinke die relative Luftfeuchtigkeit, erklärt Kahmen. Trotz geschlossenen Spaltöffnungen entweiche etwas Wasserdampf über die Blattoberfläche. Unter normalen Verhältnissen falle das nicht ins Gewicht, bei einer extremen Dürre mit ausgetrocknetem Boden hingegen schon: Was oben abzieht, kann unten nicht mehr nachfliessen und fehlt. Noch sei die Rolle der höheren Temperaturen aber nicht völlig klar.

Denn eine andere plausible Erklärung für die verbreiteten Waldschäden nach der Dürre 2018 besteht darin, dass es bereits in den Vorjahren ausgeprägte trockene Phasen gab. Zudem folgte die Trockenheit auf einen folgenschweren Spätfrost im Frühling 2017. Laut dieser These blieb den Bäumen zwischen den extremen Ereignissen schlicht nicht genügend Zeit, sich zu regenerieren. Möglicherweise wirken auch beide Phänomene zusammen.

Doch es gibt auch Lichtblicke. So haben sich die Eichen bisher tapfer geschlagen. Und auch den Elsbeeren geht es gut. Zumindest auf der Versuchsfäche der Basler Forscher in Hölstein.

Deshalb sind 2019 ganze Waldgebiete – etwa grosse Teile des Hardwalds bei Basel – für Besucher gesperrt worden. Der Kanton Jura schickte vor dem Beginn der Jagd im letzten Herbst einen Brief an alle Jägerinnen und Jäger und warnte sie vor den Gefahren im Wald. Inzwischen hat der Kanton gefährliche Bäume entlang von Verkehrswegen entfernt. Doch noch längst nicht alle Waldwege sind wieder geöffnet. Nach einem Grosseinsatz ist der Hardwald bei Basel seit Anfang April für die Bevölkerung wieder geöffnet. Am Zürichberg werden abgestorbene Kronenäste, die entlang der Wege eine Gefahr darstellen, mit langen Greifern entfernt. Unklar ist, ob früher oder später nicht doch noch ganze Bäume aus Sicherheitsgründen entnommen werden müssen.