

LITHIUM-IONEN-AKKUS DIE ALTLAST DER ELEKTROMOBILITÄT

Sollten tatsächlich bald Millionen E-Autos unterwegs sein, fallen früher oder später auch riesige Mengen an alten Batterien an. Schon jetzt ist klar: Ihr Recycling wird eine enorme Herausforderung.



Christopher Schrader ist Wissenschaftsjournalist in Hamburg.

» spektrum.de/artikel/1795034

► Frisch gekürte Nobelpreisträger erzählen in Interviews oft von den Anfängen ihrer Entdeckung. Der Japaner Akira Yoshino, im Jahr 2019 mit dem Nobelpreis für Chemie geehrt, sprach hingegen über das »Ende« seiner Entwicklung: Es gehe darum, ob die Lithium-Ionen-Akkus recycelt werden können, sagte er.

Seit den frühen 1990er Jahren versorgen die leistungsfähigen Energiespeicher Videokameras und Handys; damals maß man ihr Gewicht in Gramm. Inzwischen treiben zentnerschwere Exemplare Elektroautos an. Die Akkus sind ein

wesentlicher Teil der Hoffnung, den Straßenverkehr klimafreundlicher zu gestalten.

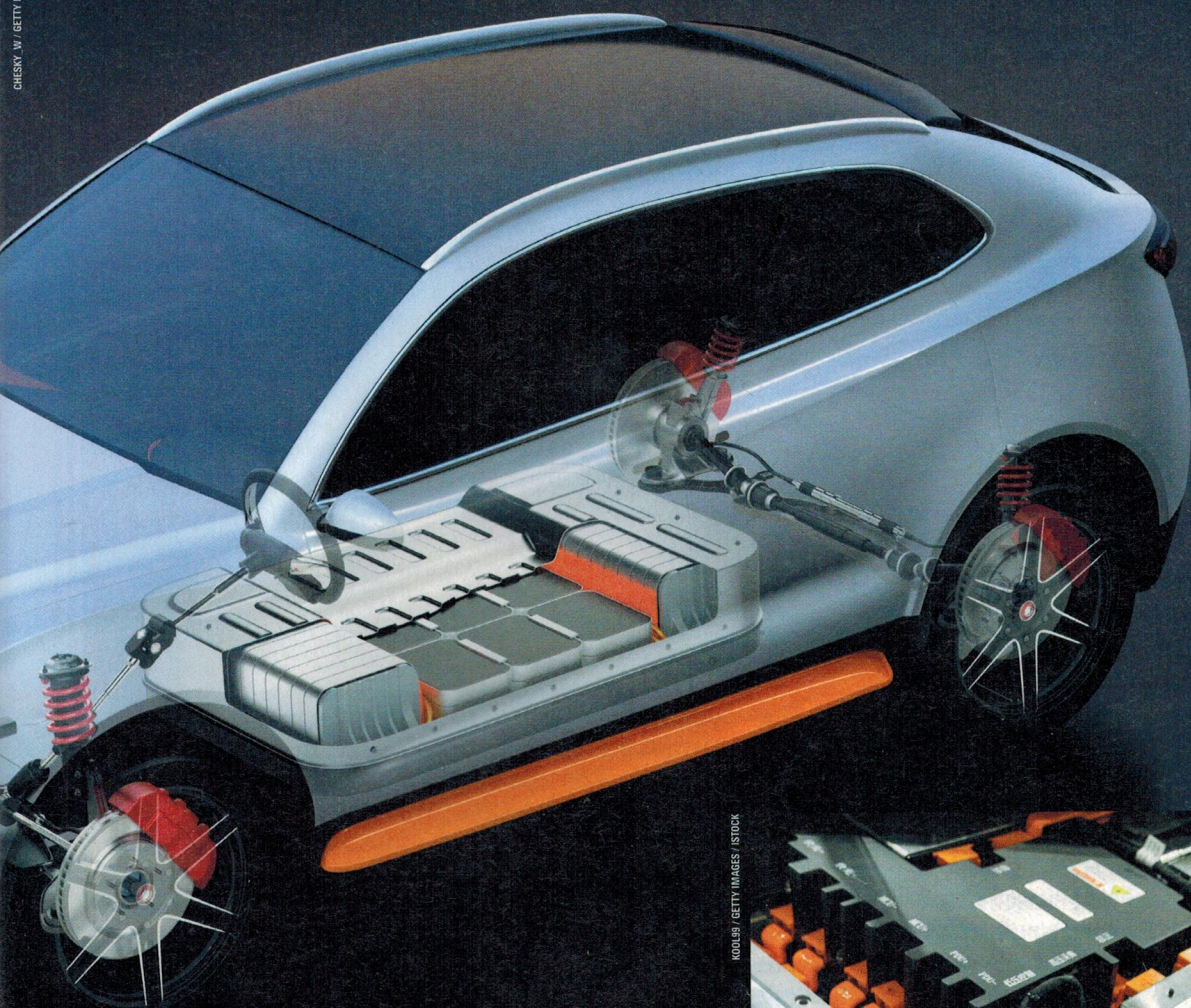
Dazu müsste man jedoch viele Bestandteile wiederverwerten, finden Nobelpreisträger Yoshino und andere Experten. Doch das effiziente Recycling der Energiespeicher ist bei Batterieentwicklern offenbar noch immer ein nachrangiges Designkriterium. Stattdessen dreht sich alles um Kosten, Leistung und Ausdauer. Diesen Missstand beobachtet Jens Peters schon lange: »Die Batteriepacks sind meist verschweißt oder verklebt und normalerweise nicht dafür gebaut, jemals wieder aufgemacht zu werden«, berichtet der Elektroingenieur. Er hat lange am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) zu Energiespeichern geforscht; seit Kurzem arbeitet er an der Universidad de Alcalá im Großraum Madrid.

Auf Grund geringer Stückzahlen und langer Lebensdauer sei der Rückfluss der Batterien noch gering, sagt Peters. Zudem ist das Recycling in der Regel nicht wirtschaftlich genug, weshalb die Akkus fast ausschließlich auf Initiative der Hersteller wiederverwendet werden. Keine zukunftsfähige Lösung, findet der Fachmann. »Wenn Elektroautos irgendwann die Hälfte der Fahrzeuge ausmachen, wird es eine unüberschaubare Vielfalt an Batterien geben, die entsorgt werden müssen.« Dazu bräuchte es eine leistungsfähige Recyclingwirtschaft, die möglichst viele Inhaltsstoffe der E-Auto-Batterien wiederverwertet und nicht bloß die wertvollsten.

Das Öko-Institut in Freiburg bezeichnet das Recycling der Batterien in einer aktuellen Analyse sogar als »Stützpfiler

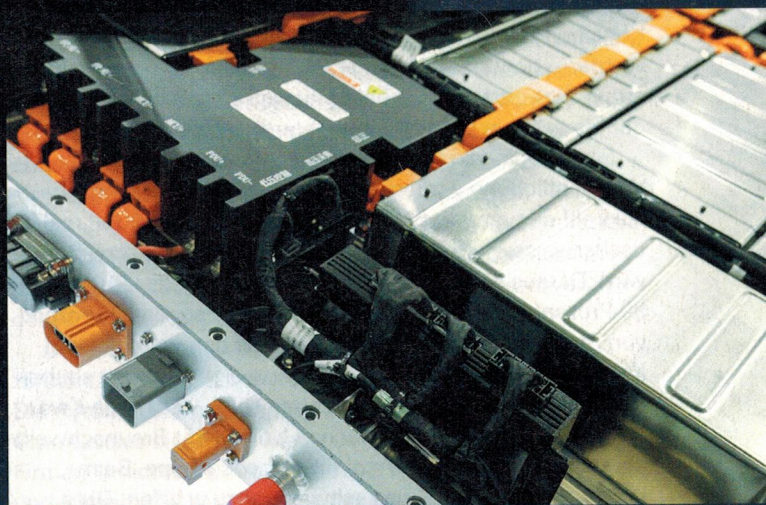
AUF EINEN BLICK VORPROGRAMMIERTES MÜLLPROBLEM

- 1** Damit Elektroautos eine wirklich umweltfreundliche Alternative darstellen, müssen die Akkus, die sie antreiben, wiederverwertet werden.
- 2** Heutige Batteriepacks lassen sich aber nur schwer auseinanderbauen, geschweige denn in ihre chemischen Bestandteile auftrennen.
- 3** Der Königsweg wäre direktes Recycling, bei dem die wertvollen Komponenten erhalten bleiben. Dazu müssen die Hersteller der Akkus diesen letzten Schritt im Lebenszyklus bereits mitdenken.



Verglichen mit einem normalen Auto mit Verbrennungsmotor verfügt ein E-Mobil über deutlich weniger Bauteile, wie die 3-D-Grafik eines elektrischen SUVs mit Aufhängung, Lenksystem und Batteriepaket zeigt. Die Batteriepacks der E-Autos (rechts) bestehen aus ganz unterschiedlichen Materialien und Komponenten, die zudem verklebt oder verschweißt sind. Diese Architektur erschwert das Recycling enorm.

KODLAB / GETTY IMAGES / ISTOCK



der Elektromobilität«. Insbesondere vor dem Hintergrund des »European Green Deal«, mit dem die EU-Kommission einen gemeinsamen Weg aus der Klimakrise sucht, habe die Wiederverwendung »strategische Relevanz«. Bei der gesetzlichen Regelung sind gleichwohl noch viele Fragen offen: Welche Quoten sollen für die Menge der wiederverwendeten Materialien gelten? Lassen sie sich vom Recycling der Akkus von Mobiltelefonen und Laptops ableiten? Oder müssen sie verschärft werden? Auf EU-Ebene wird momentan intensiv um entsprechende Antworten gerungen.

Vorbild ist dabei die Aufbereitung der Blei-Säure-Starterbatterien konventioneller Autos, die in Deutschland laut Umweltbundesamt derzeit zu 82 Prozent verwertet werden.

Generell gilt für Autos sogar, dass am Ende ihrer Lebenszeit mindestens 85 Prozent ihrer Masse recycelt werden müssen; Deutschland erreichte 2017 fast 90 Prozent. Die europäische Autoindustrie wehrt sich aber momentan gegen Quoten für einzelne Materialien. Setzt sie sich durch, würden möglicherweise einige der Metalle in den Batterien durchs Recycling-Raster fallen.

Wie ein zukunftssträchtiger Weg aussehen könnte, erörtert die »Circular Economy Initiative« der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften »Acatech« in einem im Oktober 2020 erschienenen Bericht zu ressourcenschonenden Batteriekreisläufen. Die Autoren regen unter anderem ein neues Design der Batterien für Reparaturen und Recycling an, Standards und autonome Verfahren für die Demon-



LUCA GALUZZI (COMMONS WIKIMEDIA ORGANISATION) FILES OF: SALT FLATS, DE: JYUNN, BOLIVIA, LUCA GALUZZI, 2006.JPG / CC BY-SA 2.5 (CREATIVECOMMONS ORGANISATION) FILES OF: SALT FLATS, DE: JYUNN, BOLIVIA, LUCA GALUZZI, 2006.JPG / CC BY-SA 2.5 (CREATIVECOMMONS ORGANISATION)

In den Salzwüsten und -seen der drei Staaten Bolivien, Chile und Argentinien sollen 70 Prozent der weltweiten Lithiumvorkommen lagern. Umweltschützer kritisieren unter anderem, dass durch den Abbau natürliche Süßwasservorkommen versalzen.

tage sowie einen umfassenden Informationsaustausch über die Lebensgeschichte der Produkte. Laut ihren Berechnungen könnten so bis zum Jahr 2030 in Deutschland aus alten Batterien rund 8000 Tonnen Lithium, knapp 28000 Tonnen Kobalt und knapp 26000 Tonnen Nickel zurückgewonnen werden – genügend Material für 1,3 Millionen neue Elektroautos. Das entspricht schätzungsweise etwa einem Siebtel der bis dahin in Deutschland fahrenden Elektroautos.

Eine Studie, die das Wuppertal-Institut zurzeit für die Veröffentlichung vorbereitet, prognostiziert allerdings, dass die Zahl der verwerteten Autobatterien im Jahr 2030 realistisch etwa eine halbe Million Aggregate erreichen wird. Daraus könnten immerhin 85 Prozent des Lithiums, je 90 Prozent von Kobalt, Nickel und Kupfer sowie 95 Prozent von Stahl und Aluminium zurückgewonnen werden. »Bei Kobalt und Nickel sollten diese Werte eigentlich mit sauberer Prozessführung gut zu erreichen sein«, sagt Arno Kwade, Professor an der Technischen Universität Braunschweig und einer der Leiter der Acatech-Arbeitsgruppe. Beim Lithium sei das Ziel etwas schwieriger zu erfüllen. Ob entsprechende Vorgaben am Ende in EU-Direktiven verankert werden, ist jedoch offen.

Bislang zumindest lassen sich Batteriepacks kaum demontieren, automatisiert geht es schon gar nicht. »Recycling« bedeutet hier in der Regel: aufreißen, schreddern, rösten, mit Schockwellen oder Laugen und Säuren behandeln, einschmelzen, teilweise abfackeln, zu Füllmaterial für Zement reduzieren. Wirklich nachhaltig ist das nicht.

Darüber hinaus ist noch unklar, wie sehr sich die heutigen Verfahren finanziell auszahlen. Eine entsprechende Verwertung von Lithium-Ionen-Akkus, sowohl aus Elektrogeräten wie aus Fahrzeugen, kostet derzeit bis zu 3000 Euro pro Tonne, schätzt das Umweltbundesamt. Gilt das in Zukunft auch für die Energiespeicher von Elektroautos, bedeutet das 700 bis 1600 Euro pro Autowrack. Eine Analyse der Beratungsfirma Boston Consulting ergab hingegen,

dass mit dem Recycling 25 Dollar Umsatz und vier Dollar Gewinn pro Kilowattstunde Kapazität zu machen sind. Das wären beim Stromspeicher eines heutigen VW Golf e 690 Euro Umsatz und 110 Euro Gewinn.

Eine neue Batterie erhält man nach dem Recyclingprozess wohlgerne nicht. Es lassen sich lediglich manche Bestandteile zur Herstellung anderer Produkte wiederverwenden. Entsprechend warnen Experten seit Langem vor einem Berg nicht recycelter Batterien, die sich im Schatten des E-Auto-Booms anhäufen könnten. Schätzungen zufolge werden bis 2030 elf Millionen Tonnen ausgediente Akkus anfallen, jährlich sollen danach weitere zwei Millionen Tonnen dazukommen. Für Deutschland rechnet das Umweltbundesamt mit einer Menge von 30000 Tonnen pro Jahr. Immerhin: Die sechs »Recycling«-Anlagen, die es hier zu Lande bereits gibt, könnten bereits 21000 Tonnen verwerten.

Akkus der Zukunft könnten anders aussehen

Trotzdem stehen der Branche schwierige Richtungsentscheidungen bevor, warnt Jens Peters: »Ein Grundproblem ist, dass man Prozesse und Anlagen planen muss und dabei nicht weiß, wie die Batterien der Zukunft aussehen werden.« Offen sei zudem, welche zurückgewonnenen Materialien künftig gefragt sein werden und welche Form sie dazu haben müssten. Als Trend erscheint jedoch erkennbar, so stellt es der Bericht des Wuppertal-Instituts dar, dass teures Kobalt mehr und mehr durch Nickel ersetzt wird. Der Autohersteller Tesla arbeitet Berichten zufolge schon daran, vollständig auf Kobalt zu verzichten. Das würde den Preis für die Energiespeicher weiter nach unten treiben.

Neben dem Recycling der Materialien verfolgen manche Entwickler das Ziel, Autobatterien länger zu nutzen. Sie versuchen etwa, die Energiespeicher gezielt zu reparieren oder nur jene verbrauchten Komponenten auszusortieren

und auszutauschen, welche die Leistung des Batteriepacks senken.

Zudem verhelfen Autohersteller und andere Firmen den Akkus nach ihrem Straßendasein bereits zu einem so genannten »Second Life« – etwa als Zwischenspeicher von erneuerbaren Energien. Wie viele der Batterien letztlich fit genug für ein Nachleben sein werden, ist unklar. Die Arbeitsgruppe des Wuppertal-Instituts hält es für möglich, dass die Hälfte der Aggregate vor der Demontage und dem Wiederverwerten für etwa acht weitere Jahre einen stationären Einsatzort finden könnten. Auf Dauer werden diese Initiativen die Mengen nutzloser Autobatterien jedoch nicht reduzieren, sondern ihre Ankunft auf dem Recyclingmarkt nur verzögern.

Dort müssen sich die Arbeiter dann mit dem komplizierten Innenleben der Energiespeicher auseinandersetzen. Ein Batteriepack besteht aus einem oder etlichen Dutzend Modulen, in denen wiederum bis zu mehrere hundert Zellen zusammengeschaltet sind. Hinzu kommen Anschlüsse und Ladeelektronik, Gehäuse und mechanische Verstärkungen. Das alles wird an die Platzverhältnisse im Auto angepasst und für mögliche Unfälle versteift und verkapselt. Bei Wagen mit großer Reichweite und hohem Preis erreichen Batteriepacks eine halbe Tonne an Masse und viele hundert Liter Volumen.

Schaut man genauer hin, wird die Sache noch komplexer: Auf der Zellebene, dem eigentlich aktiven Part des Aggregats, sind viele Schichten zusammengepresst oder -gewickelt und mit einer eigenen, hermetischen Hülle versehen. So kann das Bauteil die Form eines Zylinders, eines Quaders oder einer flachen, leicht biegsamen Tasche annehmen.

Im Inneren finden sich die beiden Elektroden: Die Kathode besteht meist aus einem feinen Pulver von Lithiumoxid-Metallverbindungen auf einer Aluminiumfolie. Die enthaltenen Metalle wie Nickel und vor allem Kobalt sind teuer und wertvoll; sie wiederzugewinnen, treibt heute oft die Recyclingbemühungen an. Weniger wichtig sind den Verwertern die Anteile von Mangan, Eisen, Phosphor oder Aluminium.

Die Anode, der Pluspol, besteht dagegen üblicherweise aus einer Graphitschicht auf Kupfer. Eine Art Klebstoff hält die pulvrigen Materialien auf beiden Seiten an den jeweiligen Metallfolien fest. Zwischen den Elektroden befindet sich zur Isolierung ein dünner, durchlöcherter Plastikfilm, der auf beiden Seiten von einer meist lithium- und fluorhaltigen, Strom leitenden Flüssigkeit umgeben ist. Hier bewegen sich die Lithium-Ionen, die dem Batterietyp seinen Namen gegeben haben, zwischen den Elektroden. Beim Laden oder Entladen schlüpfen sie in die porösen Materialien auf beiden Seiten und wieder hinaus.

Um ein solch komplexes Gebilde sachgerecht zu recyceln, sind Informationen über Bauweise, absolvierte Ladezyklen und Zustand notwendig. Derartige Daten sind meist schwer zu bekommen. Fachleute für Kreislaufwirtschaft fordern, dass sich dies in Zukunft ändern müsse. Im Idealfall gäbe es eine Art elektronischen »Batterie-Pass«, der jedem Berechtigten den Zugang zu allen verfügbaren Informationen ermöglicht.

Ein weiteres Hindernis beim Recyclingprozess ist die in den alten Akkus enthaltene Energie. Sie muss üblicherweise aus Sicherheitsgründen zunächst abgeführt werden. Einige Unternehmen machen aus der Not bereits eine Tugend: Sie nutzen den gespeicherten Reststrom, um Wärme zu erzeugen, oder speisen ihn ins Netz. Anschließend beginnen Mitarbeiter dann mit der händischen Demontage. Gehäuse, Kabel und Elektronik liefern dabei relativ sortenrein Aluminium, Stahl und Kupfer. Aber schon bei diesem Schritt erschweren Schweißverbindungen und Verklebungen an den Batteriemodulen das Zerlegen, wie teilnehmende Fachleute eines Workshops zum Recycling von Akkus am KIT im Jahr 2018 festhielten.

Das Problem hatten zuvor schon andere benannt: Man solle doch mehr »Schrauben und Muttern« verwenden, um die Trennung der Komponenten zu vereinfachen, forderte die US-amerikanische Wissenschaftlerin Linda Gaines vom Argonne National Laboratory bereits 2015 im Fachmagazin »Nature«. Allerdings haben sich bisher weder diese noch andere Lösungen durchgesetzt. Manche Forscher erproben immerhin, ob Wärme oder Schockwellen in einem Wasserbad dabei helfen können, die Verklebungen zu lösen.

Herausforderungen im Inneren der Akkus

Trotz der beschriebenen Probleme ist die äußere Demontage der einfachere Teil. Sobald es daran geht, Module oder gar Zellen zu öffnen, müssen weitere Vorsichtsmaßnahmen greifen. Die fluorhaltigen Elektrolyte dürfen nicht austreten, denn sie sind toxisch und leicht brennbar – unter anderen deshalb sind die Batteriepacks hermetisch gesichert, denn Elektroautos sollen nach Auffahrunfällen nicht in Flammen aufgehen. Beim kontrollierten Verbrennen von Komponenten, die nicht mehr gebraucht werden, entstehen Flüssigkeiten und Dämpfe, deren Entsorgung höchste Standards in der Abgaskontrolle erfordert. Laut den Experten des KIT-Workshops stellt das eine der größten Herausforderungen der Prozesskette dar.

Darum werden die Module oft unter Luftabschluss zerstört – hauptsächlich mit zwei verschiedenen Verfahren. Die Pyrometallurgie schmilzt die Bauteile bei bis zu 1500 Grad Celsius ein. Diese Methode wenden zum Beispiel die Firmen Umicore an ihrem Standort im belgischen Hoboken und Nickelhütte in Aue im Erzgebirge an. Am Ende bleibt eine Legierung der wertvollen Kathoden-Metalle Kobalt, Nickel und Kupfer übrig, die weiter getrennt werden müssen, um sie sortenrein verkaufen zu können. Der Aufwand, der in die Herstellung des keramischen Kathoden-Pulvers geflossen ist, geht so verloren.

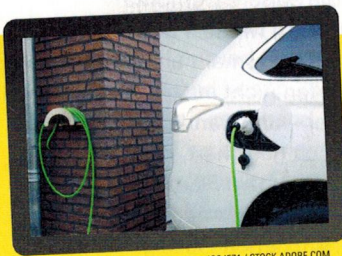
Kunststoffe, Elektrolyte, Graphit und andere Stoffe verbrennen im Schmelzofen entweder einfach und verbessern so die energetische Bilanz des Prozesses, oder sie enden teilweise in einer amorphen schwarzen Masse. Das Lithium kann dann zusammen mit Anteilen von seltenen Erden als Konzentrat an einen Verwerter geliefert werden – so hält es Umicore.

Sowohl die weitere Aufspaltung der Reste als auch die Zurückgewinnung des Lithiums sind zwar möglich, wie Forschungsprojekte herausgefunden haben. Sie lohnen sich bei diesem Verfahren finanziell aber kaum – etwa, weil sie

unverhältnismäßig viel Energie benötigen. Zu diesem Schluss kamen die Teilnehmer des KIT-Workshops und auch amerikanische und britische Fachleute in einer Publikation im Fachmagazin »Nature« aus dem Jahr 2019.

Oft bilden Lithium, Mangan sowie Aluminium nach dem pyrometallurgischen Recycling dagegen eine Art Asche, die Zementhersteller verwenden können. Wenn das geschieht oder die Schlacke aus dem Einschmelzen wie bei anderen Batterietypen im Straßenbau verwendet wird, gilt es aktuell als erfolgreiches »stoffliches« Recycling. Laut europäischen Bestimmungen muss für dieses Etikett nur die Hälfte der Masse von Lithium-Ionen-Akkus wiederverwendet werden. Und dazu zählt auch das so genannte Downcycling, wenn also Reste eines Hightech-Produkts etwa in Fahrbahnen oder Rohbauten landen.

Die andere wichtige Methode der Verwertung nennt sich Hydrometallurgie. Dafür werden die Batteriezellen unter Luftpabschluss geschreddert. Im Anschluss lassen sich einige der Trümmer magnetisch oder mechanisch sortieren, etwa durch Sieben. Außerdem kommen ätzende Flüssigkeiten wie Schwefelsäure oder Wasserstoffperoxid zum Einsatz, um Metalle aus den Batteriefetzen auszulaugen oder auszufällen. Die Temperaturen liegen dabei nur bei etwa 100 Grad Celsius.



Mehr Wissen auf Spektrum.de

Unser Online-Dossier zum Thema finden Sie unter [spektrum.de/t/elektromobilitaet](https://www.spektrum.de/t/elektromobilitaet)

Die deutsche Firma Duesenfeld mit Sitz in der Nähe von Braunschweig sammelt bei einem solchen Prozess nach eigener Darstellung auch die Elektrolytflüssigkeit, das Lithium und das Graphit. Sie rühmt sich, 91 Prozent des Materials der Batteriezellen zurückzugewinnen. Diese Quote sei knapp dreimal so hoch wie im pyrometallischen Prozess. Volkswagen baut im Moment ebenfalls eine Recyclinganlage nach diesem Prinzip auf, die schon bald in Betrieb gehen soll.

Eine etwas andere Variante der Hydrometallurgie nutzt das Unternehmen Accurec in Krefeld: Dort erhitzen Mitarbeiter die Batteriemodule zunächst auf einige hundert Grad, damit Elektrolyte und Kunststoffe sich unter Sauerstoffabschluss zersetzen und Verklebungen sich lösen. Danach erst beginnt der weitere Prozess mit dem Zerkleinern der abgekühlten, oft schon verformten Reste. Zurzeit läuft dort ein vom Bundesumweltministerium gefördertes Projekt, das die Kobalt-Nickel-Fraktion der Kathode als »produktfähiges Pulver« gewinnen und auch Graphit und Lithium industriell weiterverarbeiten will.

Diese beiden Grundverfahren des Batterierecyclings, das Schmelzen und das Auslaugen, liegen auch den Überlegungen in dem Acatech-Bericht zu Grunde: Ziel ist in jedem Fall, möglichst große Mengen sortenreiner Rohstoffe

zurückzugewinnen, die sich dann wieder für neue Batterien nutzen lassen.

Ob das gelingt, ist offen. Bislang sind jedenfalls nicht alle Experten überzeugt. Die Autoren des »Nature«-Artikels von 2019 schreiben zum Beispiel: »Es ist klar, dass das momentane Design von Batteriezellen das Recycling extrem kompliziert macht und dass weder Hydro- noch Pyrometallurgie zu reinen Strömen von Material führen, die sich einfach in ein Kreislaufsystem für Batterien einspeisen lassen.«

Besser könnte das so genannte direkte Recycling abschneiden. Dieses Verfahren würde das Lithium-Metall-Pulver auf der Kathodenseite möglichst in seiner Form bewahren und nicht sortenrein zurückgewinnen. Denn das Herstellen der Verbindungen ist aufwändig und energieintensiv. Probleme könnten allerdings entstehen, wenn das Pulver aus verschiedenen Batterietypen stammt, deren Zusammensetzung gar nicht genau bekannt ist. Und womöglich entspricht es Jahrzehnte nach der Herstellung ohnehin nicht mehr den aktuellen Anforderungen der Produzenten.

Darum sieht das Verfahren vor, die Module zu zerkleinern und das isolierte Pulver mit Metallverbindungen in der nötigen Menge zu ergänzen. So ließe sich zum Beispiel das erwünschte Verhältnis von Mangan, Nickel und Kobalt herstellen, die in einem derzeit viel verwendeten Batterietyp Dienst tun. Und dann bleibt das Material für einige Zeit in einer Reaktionsflüssigkeit, bis sich Pulverpartikel der erwünschten Korngröße gebildet haben.

Eine Woche hat das bei einem Versuch gedauert, den Forscher des Worcester Polytechnic Institute in Massachusetts mit Entwicklern verschiedener Firmen unternommen haben. Das Team hatte 30 Kilogramm Batteriemodule aus Autos von Chevrolet, Ford und Fiat zusammen verarbeitet. Das ist ein Fortschritt, denn in einem ersten Versuch betrug die recycelte Menge bloß ein Kilogramm. Dennoch dürfte der Weg zum industriellen Maßstab noch weit sein, zumal das so gewonnene Material den Beweis erbringen muss, dass es die nötige Leistung liefert.

Umweltbilanz des Recyclings fragwürdig

Nur mit einer solchen Methode aber lohnt sich das Recyceln der Batteriezellen womöglich auch für das Klima, wie erste Daten zeigen. In Deutschland hatte das Öko-Institut im Jahr 2016 Umweltbilanzen für wissenschaftliche Recyclingprojekte aufgestellt, die den Verfahren bei den Firmen Accurec und Duesenfeld zu Grunde liegen. Die Prüfer erteilten durchweg gute Noten. Doch uneingeschränkt positiv war die Bilanz nur für die anfängliche Demontage der Batteriepacks. Für die »Aufbereitung des Aktivmaterials« in den Zellen ergaben sich für Treibhauspotenzial und Primärenergiebedarf keine »Nettogutschriften«, wie es die Kontrolleure formulierten. Fürs Klima war das Verwerten der Zellen also eher eine Belastung.

Ähnlich sehen Wissenschaftler der Carnegie Mellon University die Verfahren, wie sie 2019 in »Nature Sustainability« berichteten: Nur direktes Recycling, das freilich nach wie vor in den Kinderschuhen steckt, könne demnach verlässlich helfen, CO₂-Emissionen zu verhindern.



ALAMY / REUTERS / SYLVIA BUCHHOLZ

Für den Bau von E-Auto-Batterien ist Kobalt notwendig; ein wichtiger Lieferant ist die Demokratische Republik Kongo. Zwar gilt Kobalt heutzutage nicht mehr als Konfliktrohstoff, doch laut Beobachtern kommt es in dem Land im Bergbau nach wie vor zu Menschenrechtsverletzungen. In illegalen Minen ist zudem Zwangs- und Kinderarbeit keine Seltenheit.

Aus zylindrischen Zellen, auf die etwa Tesla setzt, muss man damit aber etwa 90 Prozent des Kathodenmaterials wiedergewinnen, damit tatsächlich CO₂ eingespart wird; aus Zellen im Taschenformat ungefähr 60 Prozent.

»Pyro- und hydrometallurgische Prozesse haben keine Umweltvorteile«, urteilte das Autorenteam um Rebecca Ciez. Eine Einschätzung, welche die Ingenieurin, die mittlerweile an der Columbia University in New York arbeitet, gegenüber »Spektrum der Wissenschaft« per E-Mail unterstreicht: »Die Folgen für die Umwelt wären in einer gut gemanagten Müllkippe viel geringer«, schreibt Ciez.

Darüber hinaus ist die Wirtschaftlichkeit des Recyclings mit Unsicherheiten behaftet: Zurzeit mag es sich lohnen, Kobalt aus den Zellen zurückzugewinnen. Doch da die Preise schwanken und Produzenten seit Langem versuchen, immer weniger von dem teuren Metall zu verwenden, kann sich das Blatt genauso gut wenden. Wenn überdies die Initiative von Tesla, ganz auf Kobalt zu verzichten, Erfolg hat und die Batterien deswegen preiswerter geworden sind, könnte das ganze Recycling unrentabel und ökologisch fragwürdig werden, warnt Beatrice Browning von der britischen Faraday Institution, einem unabhängigen Forschungsinstitut, das sich mit elektrochemischer Energiespeicherung beschäftigt.

Beim Lithium könnte es umgekehrt sein: Aktuell rechnet sich die aufwändige Wiederaufbereitung nicht, urteilen die Sachkundigen auf dem KIT-Workshop. Denn der Abbau des Leichtmetalls ist billiger und teils sogar ökologischer als das Recycling. Eine verbesserte Wiederaufbereitungstechnik und eine erhöhte Nachfrage durch einen Elektroauto-Boom könnte aber dazu beitragen, dies zu ändern.

Der größte Teil des weltweit verarbeiteten Lithiums – etwa die Hälfte – wird momentan in australischen Bergwer-

ken gefördert. Große Mengen stammen darüber hinaus aus dem bolivianischen, chilenischen und argentinischen Hochland, wo es teilweise unter sehr umstrittenen Bedingungen produziert und dann um den halben Planeten transportiert wird. Auch das spricht dafür, die Wiederverwertung weiter voranzutreiben.

Gleichermaßen kann die Herkunft der Batteriemetalle als Argument für mehr Recycling herangezogen werden: 60 Prozent des Kobalts auf dem Weltmarkt kommen aus der Demokratischen Republik Kongo. Zwar werden davon heute immerhin 80 Prozent in industriellen Bergwerken abgebaut, wo bis auf Ausnahmen keine Kinder beschäftigt sind, wie das UN-Kinderhilfswerk UNICEF und Beobachter der deutschen Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe konstatieren. Gleichwohl führen im Kongo Armut und politische Instabilität weiterhin zu Zwangs- und Kinderarbeit besonders in illegalen Minen. Zudem sind laut Beobachtern auch im industriell geführten Bergbau Menschenrechtsverletzungen nicht ausgeschlossen.

Deutsche Autohersteller wie BMW und Volkswagen überwachen daher die Herkunft des für ihre Batterien verwendeten Rohstoffs sorgfältig, auch wenn Kobalt inzwischen nicht mehr als »Konfliktrohstoff« gilt und somit keinen besonderen Importkontrollen unterliegt. Nichtsdestoweniger könnte man es als moralische und gesellschaftliche Verantwortung betrachten, jedes Gramm des Metalls wiederzugewinnen.

Bevor das passiert, sind aber noch etliche industriepolitische und europarechtliche Fragen zu klären – etwa: Was soll man in Deutschland mit dem recycelten Material machen, wenn die meisten Batterien in Asien hergestellt werden? Baut man – wie es etwa Volkswagen plant – hier zu Lande eigene Produktionsstätten auf, um die Rohstoffe direkt verwerten zu können? Oder wird das Gros der gebrauchten Elektroautos ohnehin aus Deutschland in Billiglohnländer exportiert, wo sie deutlich preiswerter zerlegt werden können? Wer würde darauf achten, dass auch dort gewisse Standards während des Recyclingprozesses eingehalten werden?

Peters und seine Kollegen verdichten solche Zielkonflikte im Begriff »Recycling-Tiefe«. Sie ist eine von vielen Herausforderungen, für die Industrie und Politik in den kommenden Jahrzehnten Lösungen finden müssen. Eins ist den Forschern hingegen jetzt schon klar: »Wenn die Autohersteller damit beginnen würden, auf das spätere Recycling zu achten und es vorzubereiten, wären viele dieser Probleme leichter zu lösen.« ◀

QUELLEN

Chen, M. et al.: Closed loop recycling of electric vehicle batteries to enable ultra-high quality cathode powder. *Scientific Reports* 9, 2019

Ciez, R.E. et al.: Examining different recycling processes for lithium-ion batteries. *Nature Sustainability* 2, 2019

Gies, E.: Recycling: Lazarus batteries. *Nature* 526, 2015

Harper, G. et al.: Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles. *Nature* 575, 2019