

Das Wissen

## **Müllproblem Energiewende – Wenig Recycling, verlorene Rohstoffe**

Von Hellmuth Nordwig

Sendung vom: Mittwoch, 26. November 2025, 08.30 Uhr

Redaktion: Dirk Asendorpf

Regie: Andrea Leclerque

Produktion: SWR 2025

**Ausgediente Windräder, Solarzellen oder Autobatterien enthalten sehr viel Stahl, Kunststoffe und auch kostbare Metalle wie Lithium, Nickel oder Kobalt. Nur ein Teil wird bisher wiederverwendet. Dabei gibt es Verfahren für das industrielle Recycling.**

Das Wissen können Sie auch im **Webradio** unter [swrkultur.de](https://www.swr.de/swrkultur.de) und auf Mobilgeräten in der **SWR Kultur App** hören – oder als **Podcast** nachhören:

<https://www.swr.de/swrkultur/programm/podcast-swr-das-wissen-102.html>

---

### **Bitte beachten Sie:**

Das Manuskript ist ausschließlich zum persönlichen, privaten Gebrauch bestimmt. Jede weitere Vervielfältigung und Verbreitung bedarf der ausdrücklichen Genehmigung des Urhebers bzw. des SWR.

---

### **Die SWR Kultur App für Android und iOS**

Hören Sie das Programm von SWR Kultur, wann und wo Sie wollen. Jederzeit live oder zeitversetzt, online oder offline. Alle Sendung stehen mindestens sieben Tage lang zum Nachhören bereit. Nutzen Sie die neuen Funktionen der SWR Kultur App: abonnieren, offline hören, stöbern, meistgehört, Themenbereiche, Empfehlungen, Entdeckungen ...

Kostenlos herunterladen: <https://www.swr.de/swrkultur/swrkultur-radioapp-100.html>

## MANUSKRIFT

### *Atmo 01: Schredder*

**Sprecherin:**

Seit einiger Zeit gehört dieses Geräusch zur Energiewende. (Atmo) Batterien für Elektroautos, Solarzellen und die Flügel von Windrädern: Was ausgedient hat, damit passiert das gleiche wie mit Papieren, die keiner lesen soll. (Atmo)

**O-Ton 01 Andreas Obst, Chemiker:**

Man nimmt das Modul, jagt es durch einen Schredder, einen deutlich größeren Aktenvernichter, zerkleinert es sukzessive und fängt dann an zu trennen.

**Sprecherin:**

Denn in den Schnipseln...

### *Atmo 02: Geschreddertes wird geschaufelt*

**Sprecherin:**

... stecken zum Beispiel bei einem Solarmodul viele Rohstoffe. Manche sind wertvoll. Aber allein durch Schreddern lassen sich nicht alle zurückholen.

**O-Ton 02 Jan-Philipp Mai, Solar Materials:**

Wenn ich Silber haben möchte: Silber macht nur 0,07 Gewichtsprozent aus. Wenn ich so einen Berg schreddere, dann funktioniert das einfach nicht.

### *Musikakzent*

**Ansage:**

Müllproblem Energiewende – Wenig Recycling, verlorene Rohstoffe. Von Hellmuth Nordwig.

**Sprecherin:**

Windräder und Solarzellen gehören längst zu unserer Landschaft. Zu Beginn des Jahrtausends war das anders. Aber es gab auch damals schon Pioniere, die Strom aus Wind und Sonne gewonnen oder die ersten Elektroautos gekauft haben. Dass Rotorblätter, Photovoltaik-Module oder Antriebsbatterien auch mal ausgedient haben und dass darin wertvolle Rohstoffe stecken – daran hat zu der Zeit noch kaum jemand gedacht.

**O-Ton 03 Andreas Obst:**

Das Recycling war damals kein Thema.

**Sprecherin:**

Andreas Obst hatte vor 25 Jahren gerade sein Abitur in der Tasche. Heute ist der Chemiker für einen Teil dieses Recyclings zuständig. Bei ihm geht es um Solarmodule, am Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik in Halle. 2024 sind von

diesen Modulen weltweit so viele produziert worden, dass ihre maximale Leistung 500 mittlere Kernkraftwerke ersetzen würde.

**O-Ton 04 Andreas Obst:**

Die Stromerzeugung mit Solarzellen ist die billigste Stromerzeugung geworden. Das ist etwas, das vor 20 Jahren nicht vorstellbar war, dass es sich so entwickeln würde.

**Sprecherin:**

Jetzt ersetzen die Betreiber häufig die Solarzellen der ersten Generation. Manchmal kann man die noch eine Weile für andere Zwecke weiter verwenden: etwa Parkscheinautomaten damit betreiben oder Berghütten mit Strom versorgen. Aber die meisten Module werden ausrangiert.

**O-Ton 05 Ian Marius Peters, Physiker:**

Die Menge, die jetzt zum Recycling anfällt, sind die Module, die vor mindestens 20 Jahren installiert worden sind. Und da war die Menge noch gar nicht so wahnsinnig groß.

**Sprecherin:**

Sagt Ian Marius Peters. Der Physiker arbeitet am Helmholtz-Institut für Erneuerbare Energien in Erlangen. Wie groß die Menge an ausgedienten Solarmodulen zurzeit tatsächlich ist? Kommt darauf an, wen man fragt – genaue Zahlen gibt es nicht.

**O-Ton 06 Ian Marius Peters:**

Wir reden jetzt im Augenblick von einigen tausend, vielleicht 10.000 Tonnen pro Jahr.

**Sprecherin:**

Meint Ian Marius Peters. Andreas Obst bietet mehr:

**O-Ton 07 Andreas Obst:**

Dieses Jahr rechnen wir so mit 30.000 Tonnen.

**Sprecherin:**

Wie auch immer: Da kommt noch einiges auf die Abfallwirtschaft zu. Sei es von den Eigentümern, zum Beispiel den Betreibern eines Solarparks; von den Herstellern, die sich seit 2015 um solche kommerziellen Anlagen kümmern müssen; oder auch von uns als Privatpersonen, die Photovoltaik-Module vom Dach oder Balkon beim Wertstoffhof abgeben. Dort werden sie vom sonstigen Elektroschrott getrennt gesammelt und an spezielle Entsorgungsunternehmen geliefert. Mindestens 80 Prozent des Materials müssen dann umweltgerecht recycelt werden – das schreibt eine EU-Richtlinie vor.

**O-Ton 08 Ian Marius Peters:**

Ich denke, der Gedanke dahinter ist richtig. Wo ich ein Problem sehe, ist mit dem, was als Recycling durchgeht. Zum Beispiel wenn wir die Polymerstoffe verbrennen und aus dem Verbrennungsprozess nochmal Energie zurückgewinnen, weil wir ein Heizkraftwerk betreiben: Dann ist das auf dem Papier Recycling, selbst wenn der

Prozess natürlich von einem echten Recycling, wie man es sich normalerweise so vorstellt, meilenweit entfernt ist.

**Sprecherin:**

Dass ein stoffliches Recycling zur Wiederverwendung der Inhaltsstoffe nicht einfach ist, hat damit zu tun, dass ein Solarmodul aus vielen verschiedenen Komponenten besteht. Der Rahmen ist aus Aluminium. Er kann leicht abgenommen werden, und das Metall wird dann eingeschmolzen und kann tatsächlich wieder verwendet werden. Danach wird es aber schon kompliziert für die wenigen Recyclingbetriebe, die es gibt.

**O-Ton 09 Jan-Philipp Mai, Geschäftsführer Solar Materials:**

Das kann man sich so vorstellen: Ich habe oben das Deckglas, in der Mitte die Zellen und eine Rückseite, meist eine Plastikrückseite. Und zwischen diesen Schichten habe ich ein verbindendes Element, eine Folie, die verschweißt das ganze Paket quasi zu einem großen Laminat.

**Sprecherin:**

Das sagt einer, der sich nicht damit abfinden will, dieses ganze Laminat einfach zu schreddern: Jan-Philipp Mai, Mitgründer und Geschäftsführer der Firma Solar Materials in Magdeburg.

**O-Ton 10 Jan-Philipp Mai:**

Was wir gemacht haben: Ich bringe nur so viel Wärme ein, um diese Haftkraft etwas zu verringern, um mechanisch eben das Deckglas abheben zu können, die Zellen abnehmen zu können – ohne diese Folie komplett zu zersetzen. Sodass ich am Ende wirklich einen mechanischen Prozess habe und keine schädlichen Abgase aus dem System raushole.

**Sprecherin:**

Vor allem am Silber ist Solar Materials interessiert – an den Bahnen aus silberner Druckpaste, die man von außen gut sieht. Denn Silber allein macht rund die Hälfte des Materialwerts bei einem Modul aus. Aber nur 0,07 Gewichtsprozent. In geschreddertem Material gleicht das einer Nadel im Heuhaufen. Anders bei dem Verfahren, das die Magdeburger Firma entwickelt hat: Schicht für Schicht wird dort vorsichtig vom erwärmten Modul abgetragen – also die Glasscheibe und die Folie, in die die eigentliche blaue Solarzelle mit den silbernen Leiterbahnen eingeschweißt ist.

**O-Ton 11 Jan Philipp Mai:**

Das Silber ist dann das, was für uns zugänglich ist an der Oberfläche. Und dort ist es meist als Siebdruck aufgebracht und dann nochmal eingebrannt worden. Das heißt, ich trage letztendlich mechanisch die oberste Schicht ab. Das sind so 10, 20, 30 Mikrometer, je nachdem. Und habe dann einen silberreichen Staub, und aus diesem Staub kann ich dann das Silber wieder extrahieren.

**Sprecherin:**

Nach Angaben des Magdeburger Unternehmens werden nahezu alle Komponenten an lokale Abnehmer verkauft. Nicht nur das Silber, sondern auch Aluminium, Kupfer

und das Glas, aus dem neues Flachglas gefertigt wird. Auch das Herzstück der Zellen wird wieder verwendet: Silizium. Es dient meist als Vorprodukt für Halbleiter.

### ***Atmo 03: Trennmaschine läuft an***

#### **Sprecherin:**

Diese Materialien lassen sich aber auch aufreinigen, nachdem die Module geschreddert wurden, wie Andreas Obst im Fraunhofer-Center in Halle demonstriert. (Atmo) Zunächst werden die größeren Glasstücke abgesiebt.

### ***Atmo 03: Maschine läuft aus / blenden in***

### ***Atmo 04: feineres Material schaufeln***

#### **Sprecherin:**

Was übrig bleibt, sieht aus wie grober Sand: fein gemahlene Glas, Kunststoff und Solarzellbruch – also Silizium, Kupfer und Silber. Das sind elektrisch leitfähige Materialien, die elektrostatisch vom Rest abgetrennt werden können. Die einzelnen Metalle werden schließlich chemisch voneinander getrennt.

Schreddern oder Schicht für Schicht ablösen – mit beiden Verfahren kann ein großer Teil des Materials in Solarmodulen zurückgewonnen und wieder verwendet werden. Aber beide Verfahren sind auch sehr aufwendig. Deshalb gibt es nur wenige Industriebetriebe, die sich darauf spezialisiert haben. Viele ausgediente Solarmodule liegen noch auf Halde und warten auf ein Recycling. Denn ob sich dieses wirtschaftlich lohnt – da fallen die Antworten wieder mal unterschiedlich aus. Während Andreas Obst vor dem Schredder steht, erklärt er, dass in einem Solarmodul Wertstoffe für gerade mal 10 bis 15 Euro enthalten seien.

### **O-Ton 12 Andreas Obst:**

Es ist aktuell noch nicht so, dass sich das Recycling rein aus den Materialerlösen trägt. Dafür sind zum einen die Mengen noch nicht groß genug, dass man riesige Anlagen hat. Und zum anderen sind auch die Materialpreise, also die Preise für die Rohstoffe, starken Schwankungen unterlegen. Das heißt, wenn Rohstoffwerte weiter steigen – beim Silber sieht man das aktuell ziemlich deutlich –, dann kann natürlich auch der Punkt kommen, an dem das Recycling auch aus sich selbst kostendeckend erfolgt.

#### **Sprecherin:**

Diesen Punkt hat Solar Materials nach Angaben von Jan-Philipp Mai bereits erreicht. Mit jeder Tonne verdiene sein Unternehmen Geld.

### **O-Ton 13 Jan-Philipp Mai:**

Das muss ja auch der Weg sein, zu zeigen: Hey, Kreislaufwirtschaft ist nicht nur Idealismus pur und ich rette die Welt. Sondern am Ende ist es ein tragfähiges Geschäftsmodell, das es uns erlaubt, auch am Markt diese Dienstleistung anzubieten und damit einen positiven Impact zu machen. Und das ist auch etwas, das alle Mitarbeitenden hier im Unternehmen antreibt.

**Sprecherin:**

Aus Sicht der Umwelt und des Klimas lohnt sich das Recycling auf jeden Fall – da sind sich alle Experten einig. Zum Beispiel beim Silizium. Das wird in einem aufwendigen Verfahren aus Sand hergestellt – bei Temperaturen von über 2.000 Grad. Deshalb hat es einen großen CO2-Fußabdruck. Bei Silizium aus dem Recycling ist er viel geringer. Denn das Halbmetall lässt sich relativ leicht zurück gewinnen, erklärt Ian Marius Peters.

**O-Ton 14 Ian Marius Peters:**

Das unterscheidet Silizium-Module zu einem deutlichen Grad von anderen Energietechniken, die wir haben. Ob das Windturbinen sind, ob es Batterien sind: Die sind oftmals sehr viel komplexer und in Teilen sehr viel schwieriger zu recyceln, als wir das bei Solarmodulen haben. Das heißt, mit Solarmodulen haben wir die Chance, auch wirklich zu einer Energietechnologie hinzuarbeiten, die das Potenzial hat, vollständig recycelbar zu sein.

*Musikakzent***Sprecherin:**

Windenergie spielt für die deutsche Stromversorgung eine deutlich größere Rolle als die Photovoltaik: Die hat im Jahr 2024 knapp 14 Prozent der Elektrizität geliefert, die in Deutschland erzeugt worden ist. Windkraft hat dagegen mit 31,5 Prozent mehr als doppelt so viel beigetragen. Windräder benötigen allerdings sehr viel Material: 500 bis 1.000 Tonnen Beton für das Fundament und noch einmal so viel für den Turm, falls auch er aus Beton besteht. Meistens wird für den Turm allerdings Stahl verwendet, zwischen 100 und 250 Tonnen, bei sehr hohen Windrädern auch weit über 1.000 Tonnen. Es fallen also große Mengen an, wenn ein Windrad demontiert wird. Die gute Nachricht:

**O-Ton 15 Detlef Spuziak-Salzenberg, Hochschule Bremen:**

Stahl, Eisen, Gusseisen: Da habe ich wirklich einen Kreislauf. Da schaffe ich es wirklich, die Stoffe als Anteile in die Primärproduktion reinzubekommen.

**Sprecherin:**

Erklärt Detlef Spuziak-Salzenberg vom Institut für Energie und Kreislaufwirtschaft an der Hochschule Bremen. Er ist auch für die Forschung beim Industrieverband RDR Wind zuständig, der sich unter anderem um das Recycling ausgedienter Anlagen bemüht. Kleinere können manchmal abgebaut werden und bekommen woanders ein zweites Leben – zum Beispiel in Afrika oder Südamerika. Inzwischen werden die Anlagen aber immer größer, und damit wird es schwieriger, sie komplett an einen anderen Ort zu transportieren. Beim Fundament aus Beton ist das gänzlich unmöglich.

**O-Ton 16 Detlef Spuziak-Salzenberg:**

Bei dem Beton tut man sich am Markt immer schwer mit Recyclingbeton. Das heißt, er geht nicht unbedingt in den Kreislauf, sondern wird als Ersatzbaustoff in anderen Zweigen mit genutzt.

**Sprecherin:**

Etwa für den Straßenbau. Problematisch war lange Zeit auch die Wiederverwertung der Generatoren. Das sind die Bauteile, die – genau wie ein Dynamo am Fahrrad – die Bewegung der Rotoren in elektrischen Strom umwandeln. Dazu braucht es starke Magnete.

**O-Ton 17 Detlef Spuziak-Salzenberg:**

Man hat die zwar gesammelt, aber der Recyclingprozess fand in Nordamerika oder in Asien statt. Wir haben es aber geschafft seit 2024, dass die erste Anlage in Deutschland von Heraeus Permanentmagneten annehmen kann, dass man die zumindest anfängt in Europa zu recyceln.

**Sprecherin:**

Bisher können daraus allerdings nur Magnete hergestellt werden, die sich nicht wieder für die Windenergie eignen. Die enthalten nach wie vor fast nur Neuware aus China. Das größte Problem beim Recycling von Windrädern stellen aber nicht Beton, Stahl oder Generatoren dar, sondern die bis zu 130 Meter langen Rotorblätter. Sie bestehen vor allem aus glasfaserverstärkten Kunststoffen. 5.000 Tonnen ausgedienter Rotorblätter sind allein 2024 angefallen. Und sehr viel mehr stehen kurz vor der Ausmusterung. Bisher werden sie meist in Müllverbrennungsanlagen oder Zementwerken verbrannt. Die Zementindustrie spricht dann von "Ersatzbrennstoffen", die an Stelle von Kohle eingesetzt werden. So trage das Verbrennen ausgedienter Rotorblätter zum Klimaschutz bei, weil weniger fossiler Brennstoff nötig ist.

**O-Ton 18 Holger Sasse, Novo-Tech:**

Finde ich eine eigenartige Darlegung, muss ich ehrlich sagen. Denn CO<sub>2</sub> ist CO<sub>2</sub>, ob es aus Kohle kommt, aus Öl oder aus einem verbrannten Windrad.

**Sprecherin:**

Dabei müssten ausgediente Rotorblätter gar nicht verbrannt werden, meint Holger Sasse. Er ist Unternehmer in Aschersleben in Sachsen-Anhalt. Über 2.500 Windräder drehen sich in dem windreichen Bundesland. Viele davon sind neu, als Ersatz für kleinere Anlagen. Deren Reste sieht Holger Sasse manchmal beim Spaziergehen.

**O-Ton 19 Holger Sasse:**

Ich bin sehr viel in der Natur unterwegs mit meinen Schäferhunden, sehr viel zu Fuß unterwegs. Und bin viele Jahre in der Feldflur über dort liegen gebliebene Windflügel gestolpert. Und das hat mich einfach geärgert.

**Sprecherin:**

Vom Ärger führte ihn der Weg zur Forschung und letztlich zu einem neuen Betrieb in seiner Unternehmensgruppe Novo-Tech. Marek Junghans ist in der Firma fürs Marketing zuständig und zeigt auf eine Halde, auf der zersägte Rotorblätter von Windrädern lagern.

**O-Ton 20 Marek Junghans, Marketing Novo-Tech:**

Hier sammeln wir alle Rohstoffe, die wir zurücknehmen. Im Hintergrund sehen wir überall die bestehenden Windparks, und hier sehen wir sozusagen die Reste davon, die wir dann bei uns weiter verarbeiten können.

**Sprecherin:**

Die meisten Abschnitte sind etwa einen Meter lang und gebogen wie eine Mondsichel. Auf den ersten Blick bestehen sie aus einem beigen, harten Kunststoff. Erst bei genauerem Hinsehen ist zu erkennen, dass in diesen Kunststoff kreuz und quer haarfeine Glasfasern eingelagert sind.

**Atmo 05: Tür öffnen / Halle Novotech****Sprecherin:**

In einer großen Fabrikhalle verarbeitet Novo-Tech dieses Material zu Terrassendielen. Dafür eignen sich allerdings nicht alle ausgedienten Rotorblätter. Nur etwa die Hälfte dessen, was ihm angeboten wird, nimmt Holger Sasse an – die Filetstücke, wie er sie nennt. Von Windradflügeln, die PVC enthalten oder bromhaltige Flammschutzmittel, lässt er die Finger. Auch Kunststoff, der mit Carbonfasern verstärkt ist, kommt nicht in Frage – er würde den Schredder ruinieren, der hier zum Einsatz kommt. Weil dieser gerade nicht in Betrieb ist, kann Marek Junghans dessen Innenleben zeigen. An einen Aktenvernichter würde hier niemand denken: Die Anlage ist haushoch, man könnte problemlos ein Auto hineinschieben.

**O-Ton 21 Marek Junghans:**

Wir haben hier so eine Art Stempel. Und der Stempel presst das Material kontinuierlich gegen die zwei großen Walzen. Auf den Walzen sind die Zähne befestigt. Die Walzen laufen entgegengesetzt und knabbern sozusagen immer das Material klein.

**Sprecherin:**

Nach mehreren Zerkleinerungsschritten ist der glasfaserverstärkte Kunststoff fast so feinkörnig wie Mehl. Zusammen mit klein gemahlten Holzresten wird er aufgeschmolzen und fast wie Knete durch eine Düse in die Form von Brettern gepresst.

**O-Ton 22 Marek Junghans:**

Das ist ein Gemisch, das auch so ein bisschen aussieht wie Knete. Und wenn man es anfasst, merkt man aber auch schon die hohen Temperaturen, die da drinnen sind.

**Atmo 05: Übergang Atmo 06: Halle 2****Sprecherin:**

Schließlich wird das gepresste Kunststoffbrett zugesägt, gehobelt und geschliffen.

**O-Ton 23 Holger Sasse:**

(klopf klopf) Diese Diele...

**Sprecherin:**

... stehe für Kreislaufwirtschaft, darauf ist Holger Sasse besonders stolz.

**O-Ton 24 Holger Sasse:**

Daraus können unsere Kinder nochmal Bretter machen und unsere Enkelkinder. Das können Sie mindestens zehnmal im Kreis fahren hier. Und wenn die normative Nutzungszeit 20, 30 Jahre ist von so einem Brett, dann haben wir für die nächsten 200 bis 300 Jahre Rohstoff.

**Sprecherin:**

Auch bei Novo-Tech werden aber keine neuen Windräder aus den alten. Windräder zu Terrassendielen: Ist das wirklich Kreislaufwirtschaft? Ist es nicht klassisches Downcycling, so wie bei den oft genannten Parkbänken, die aus gebrauchtem Kunststoff hergestellt werden?

**O-Ton 25 Detlef Spuziak-Salzenberg:**

Nee. Wenn ich den Anspruch nachvollziehe und sage: Ich will mein Material auch wieder zurücknehmen und kriege dort einen Kreislauf rein, dann ist das für mich kein Downcycling. Auch wenn wir da keine Rotorblätter mehr daraus machen. Aber ich habe einen vernünftigen Weg gefunden, um dann einen Kreislauf auch zu etablieren.

**Sprecherin:**

Sagt Detlef Spuziak-Salzenberg. Dielen sind bisher das einzige Produkt, das direkt aus alten Rotorblättern entsteht – der Markt für sie ist allerdings begrenzt. Holger Sasse hätte schon noch andere Ideen: Schwellen für die Deutsche Bahn zum Beispiel. Tests laufen gerade. Andere Forscher wollen den Windrädern chemisch zu Leibe rücken: Zum Beispiel können die Kunststoffe in Lösungsmitteln aufgelöst, von den Fasern abgetrennt und teilweise anderweitig verarbeitet werden. Das Problem dabei sind die zurückbleibenden Glasfasern.

**O-Ton 26 Detlef Spuziak-Salzenberg:**

Sie sind so billig in der Primärproduktion, dass dieser Aufwand, den ich betreibe, das wirtschaftlich nicht darstellen lässt. Bei den Carbonfasern, da sieht das komplett anders aus. Das ist ein sehr teures Material. Und da läuft der Weg hin, dass man diese Carbonfasern auch in einen zweiten Markt mit reinbekommt.

**Sprecherin:**

Zumal neue Carbonfasern mit hohem Energieaufwand hergestellt werden müssen und deshalb einen großen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck aufweisen. Zurzeit erforschen Wissenschaftler, wie sich diese Fasern am besten vom Kunststoff trennen lassen, um beides wieder zu verwenden. Vorerst bleibt es aber schwierig mit dem Recycling von Rotorblättern: Industriell werden aus ihnen bisher in begrenztem Umfang Terrassendielen. Sonst bleibt derzeit nur die Möglichkeit, sie als Müll oder in Zementwerken zu verbrennen.

*Musikakzent*

**Sprecherin:**

Auch ausgediente Antriebsbatterien von Elektroautos können mitunter ein zweites Leben bekommen. Zum Beispiel als Stromspeicher im Haus. Irgendwann stellt sich aber auch hier die Frage nach dem Recycling. Für Andreas Letsch, Physiker bei der Firma Bosch Rexroth, bedeutet das:

**O-Ton 27 Andreas Letsch, Bosch-Rexroth:**

Man versucht natürlich, viele von den Metallen, die man vorher irgendwann mal aus dem Boden gezogen hat, wieder zurückzuholen und damit wieder eine Kreislaufwirtschaft zu etablieren.

**Sprecherin:**

35 Prozent des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes bei der Produktion der Akkus ließen sich so einsparen. Das hat eine chinesische Forschungsarbeit im Herbst 2025 gezeigt. Wie Solarzellen enthalten auch die Akkus von E-Autos Aluminium und Kupfer. Aber das sind nicht die Metalle, die Andreas Letsch vor allem im Auge hat. In den meisten Batterien stecken heute auch Kobalt, Nickel, Mangan und das Leichtmetall Lithium. Nach diesem Element sind die Lithium-Ionen-Batterien benannt, die wir in kleinerer Bauform auch für Handys oder Notebooks nutzen. Wenn ein Fahrzeugakku nicht mehr brauchbar ist, steckt aber fast immer noch Energie drin – oft sogar gefährlich viel. Deshalb muss die Batterie erst einmal entladen werden. Bosch Rexroth liefert Anlagen dafür – eine davon steht in der sogenannten Modellfabrik des Unternehmens in Ulm. Andreas Letsch zeigt, was da hinter Sicherheitsglas passiert.

**Atmo 07: Halle Bosch Rexroth****O-Ton 28 Andreas Letsch:**

Ich lege wirklich zwei Kupferkabel an. Das sind zwei große dicke, denn da kann natürlich sehr viel Strom fließen. Die Kunst besteht darin, das langsam und kontrolliert zu tun, damit keine Gefahr entsteht. Man kann bei Youtube viele Videos finden, was passiert, wenn man das falsch macht, wenn man die Zelle kurzschließt. Das kann dann schnell zu einem Feuer führen. Wir ziehen also kontrolliert raus, machen den Entladeprozess sicher, plus: Wir ermöglichen, nachhaltig die Energie zu nutzen, entweder auf der eigenen Fertigung, oder man speist sie zurück ins Netz. So wie man auch seinen überschüssigen Strom daheim von der Photovoltaik-Anlage eben ins Netz einspeist, genauso kann ich das für eine große Fabrik machen.

**Sprecherin:**

Nach dem Entladen wird die Batterie zum Recycling geöffnet und zerlegt – fast wie eine Schatzkiste, in der wertvoller Inhalt steckt. Bei einem mittelgroßen Pkw wiegt diese Kiste aus Stahl oder Aluminium knapp eine Tonne. Sie ist etwa einen Meter lang, nicht ganz so breit und gut eine Handbreit hoch.

**Atmo 08: Roboter****Sprecherin:**

Nur selten kann ein Roboter diese Kiste öffnen – es gibt einfach zu viele verschiedene Typen. Künstliche Intelligenz soll künftig dabei unterstützen, sie zu

identifizieren. Immerhin gibt es aber ein System, das Menschen zeigt, in welcher Reihenfolge sie die Schrauben lösen müssen. In einer Zerlegestation bittet Andreas Lesch zum Selbstversuch.

**O-Ton 29 Andreas Letsch:**

Da wird jetzt auf das Batteriepack projiziert, welche Schraube man rausnehmen muss als erstes. Das wird alles mit Kameras überwacht. Jetzt sagt er: Bitte nehmen Sie die linke untere Schraube raus. Insofern: Nehmen Sie doch einfach den Schrauber in die Hand. Den hier, genau. (Atmo) Hoppla. Fast richtig, runterziehen... (Atmo) Sie müssen noch ein bisschen nacharbeiten. (lacht) Ja, Sie haben nicht ganz richtig bis zum Ende geschraubt. – Ich mache es auch zum ersten Mal. – Genau, das üben wir noch. (Atmo)

**Sprecherin:**

Nachdem der Deckel abgehoben ist, wird klar, warum der Physiker von einem Batterie-"Pack" gesprochen hat: Innen drin sind dicht an dicht kleinere Schachteln, etwa so groß wie Taschenbücher: Die sogenannten Module des Akkus, die es auch in zylindrischer Form gibt. 30 bis 100 solcher Module sind in einem "Pack". Sie werden jetzt herausgenommen und noch einmal vollständig entladen – sicher ist sicher. Was wir nicht sehen, ist das Innenleben der Module: wie bei einer russischen Matrjoschka-Puppe wiederum viele einzelne Batteriezellen, in denen große Mengen der wertvollen Metalle stecken. Nach einer Untersuchung des ADAC in einem einzigen Batteriepack mit 50 Kilowattstunden Kapazität insgesamt je 12 Kilogramm Kobalt und Nickel, fast so viel Mangan und vier Kilogramm Lithium. Dazu 33 Kilogramm Kunststoffe, Graphit und Bindemittel. Was nach dem Zerlegen mit den Modulen der Batterie passiert, kennen wir schon von den Solarmodulen:

**Atmo 01: Schredder**

**Sprecherin:**

Nach mehreren Schritten kommt aus dem Schredder eine schwarze Masse heraus. Sie ähnelt dem dunklen Sand, der dort vorkommt, wo einst Vulkane aktiv waren. Schwarz ist dieses Pulver wegen des Graphits, einer Form von Kohlenstoff. Unter der Bezeichnung "Black mass" wird es international gehandelt.

**O-Ton 30 Helmut Ehrenberg, Materialforscher:**

Im Moment haben wir in Deutschland relativ wenige Akteure, die die Black Mass herstellen. Und die verschipern das Zeug meistens über Korea nach China wieder zurück.

**Sprecherin:**

Dorthin also, wo die allermeisten Batterien weltweit herkommen, sagt Helmut Ehrenberg, Materialforscher am Karlsruher Institut für Technologie. Wie die wertvollen Metalle und der Graphit dann aus der schwarzen Masse zurückgewonnen werden, darüber sind kaum Details zu erfahren. Weder bei der BASF, die sich auch daran versucht, noch bei Startup-Firmen. Auch nicht von der – nach eigener Aussage – "ersten Batterie-Recycling-Fabrik Europas", die Mercedes in Kuppenheim bei Rastatt errichtet hat. Helmut Ehrenberg betreut diese Anlage wissenschaftlich.

**O-Ton 31 Helmut Ehrenberg:**

Tatsächlich werden Salze in Lösung zurückgewonnen, die dann wieder für die Resynthese von neuem Batteriematerial verwendet werden. Eine von wenigen Stellen, wo die Schwarzmasse tatsächlich verarbeitet wird.

**Sprecherin:**

Im Oktober 2024 war die Anlage in Kuppenheim mit viel Medienrummel in Betrieb gegangen. Sogar der damalige Bundeskanzler Olaf Scholz war dort. Jetzt heißt es aber: keine Journalistenbesuche, wegen "strenger Sicherheitsauflagen", wie die Pressestelle von Mercedes schreibt. Wie viele Batterien dort verarbeitet werden, dazu nimmt eine Sprecherin ebenso wenig Stellung wie zu der Frage nach der tatsächlich erreichten Recyclingquote. Aber: Es sei grundsätzlich möglich, in Kuppenheim 96 Prozent des Gewichts einer Batterie zu recyceln, behauptet die Pressestelle.

**O-Ton 32 Helmut Ehrenberg:**

Das muss der Anspruch sein, ansonsten erfüllt der Prozess nicht die Erwartungen. Aber das ist nicht trivial, das müssen Sie erstmal überprüfen. Über das Projekt kann ich Ihnen keine Details sagen, aber es klappt überraschend gut. Nein, nicht überraschend – es klappt sehr gut.

**Sprecherin:**

Helmut Ehrenberg setzt sich dafür ein, dass mehr Firmen diesem Beispiel folgen. Dass also auch in Deutschland eine Recyclingindustrie für Antriebsbatterien entsteht. Die gebe es derzeit nicht, beklagt er, vor allem aus einem Grund:

**O-Ton 33 Helmut Ehrenberg:**

Wir haben eine klare politische Lobby für den Verbrenner über Jahrzehnte gesehen, das sehen Sie immer noch. Wenn ich Elektrofahrzeuge erstmal nicht in den Verkehr bringe, dann brauche ich mich in zehn Jahren auch nicht wundern, dass ich dann keine Batterien zum Recycling habe, dass dann andere Länder auch da vorne sind. Wenn ich sage: Das will ich nicht, dann habe ich damit auch gesagt: Dann will ich auch keine Batterieproduktion und kein Recycling. Dann bin ich weg, dann bin ich irgendwann mal keine Hightech-Nation mehr.

*Musikakzent***Sprecherin:**

Beim Recycling von Solarmodulen sieht es bislang nicht viel besser aus. Das macht der Besuch in Halle beim Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik klar. Dort können Wissenschaftler zwar die Materialien aus Solarmodulen zurückgewinnen; der Chemiker Andreas Obst kann alle nötigen Schritte zeigen. Aber kann man Solarzellen aus recyceltem Material schon kaufen?

**O-Ton 34 Andreas Obst:**

Nein! Es gibt aktuell keine, zumindest in Deutschland keine Solarmodule zu kaufen, die mit Silizium aus 100 Prozent Recyclat hergestellt wurden. Es gibt aber auch in

Deutschland keinen mehr, der überhaupt Silizium kristallisiert. PV-Silizium ist quasi ausschließlich in China, die Fertigung.

**Sprecherin:**

So wie das weitgehend auch bei den Akkus für Elektroautos der Fall ist. Es gibt aber in Deutschland immer mehr Wissenschaftlerinnen und Unternehmer, die sich damit nicht abfinden wollen. Oder die es unsinnig finden, die Flügel von Windrädern einfach in Zementwerken zu verbrennen. Auch Andreas Obst nimmt die Herausforderung an – und führt deshalb zu einem eingezäunten Bereich außerhalb des Fraunhofer-Center.

**O-Ton 35 Andreas Obst:**

Wir haben hier unser PV-Feld, um circa ein Drittel unseres Stromverbrauchs selber zu decken. Und was wir hier eben haben, ist ein Solarmodul mit Solarzellen aus 100 Prozent recyceltem Silizium. Und wir sind ziemlich stolz, dass wir es überhaupt hinbekommen haben. Wir waren sehr zufrieden.

**Sprecherin:**

Solarmodule, Akkus für E-Autos, Windräder: Für die Energiewende sind sie unentbehrlich. Und die Forschung zur Rückgewinnung der dort verbauten Materialien hat in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht. Aber eine breit aufgestellte Recycling-Industrie in Deutschland: Die gibt es noch nicht.

**Abspann:**

Das Wissen (über Soundbett)

**Sprecherin:**

Müllproblem Energiewende. Autor: Hellmuth Nordwig. Sprecherin: Nadine Kettler. Redaktion: Dirk Asendorpf. Regie: Andrea Leclerque.

Abbinder