

Von der Kunst, Berge zu bewegen

Elektronik- und Kunststoffabfälle wachsen rasant. Recycelt werden beide bis heute nur unzureichend. Die Politik versucht, das Problem mit neuen Vorgaben zu lösen. Forscher arbeiten an innovativen Verfahren bis hin zu einer echten Kreislaufwirtschaft. Von Christian Rauch



Alte Smartphones sind eine wahre Goldgrube. In einer Tonne Handymüll stecken ein paar Hundert Gramm Gold, einige Kilogramm Silber und noch mehr Kupfer. Aber auch Stoffe wie Indium oder Metalle der sogenannten Seltenen Erden. Eine Tonne, das sind etwa 6000 Stück – doch allein 2017 wurden gut 1,4 Milliarden neue Smartphones weltweit verkauft. Ein Haushaltsgerät wie ein Kühlschrank oder eine Waschmaschine enthalten ebenfalls ein wenig Elektronik, Kupfer sowie viel Aluminium. Nimmt man alle weggeworfenen großen und kleinen Elektrogeräte zusammen, stecken darin schätzungsweise 55 Milliarden Euro an Rohstoffwert! Diesen Wert könnte man nun durch Recycling wiedergewinnen. Aber es geschieht nur zu einem

Immer rascher werden »alte« elektronische Geräte gegen neue ausgetauscht. Übrig bleiben gigantische Schrotberge.

Teil. Und so türmen sich alte Elektrogeräte auf Deponien in Entwicklungsländern, wo sie Luft und Wasser verschmutzen und die Gesundheit von Menschen und müllsammelnden Kindern gefährden. Hersteller setzen für die Geräte noch immer deutlich mehr frische Rohstoffe ein als wiederverwertete. Und Rohstoffe gehen dem Wirtschaftskreislauf schlicht verloren, wenn sie am Ende deponiert oder verbrannt statt recycelt werden. Dabei schreibt die WEEE-Richtlinie (Waste Electrical and Electronic Equipment) in EU-Ländern seit langem vor, dass Hersteller für jedes ihrer Geräte eine ordentliche Entsorgung gewährleisten müssen. In Deutschland heißt das zugehörige Gesetz ElektroG. Wird Elektroschrott mit dem Kennzeichen des



Leiterplatten von PC's oder Mobiltelefonen bergen zahlreiche wertvolle Metalle.

»durchgestrichenen Mülleimers« ordnungsgemäß an einer Sammelstelle abgegeben, sorgen anschließend spezialisierte, von den Herstellern beauftragte Unternehmen für das Sortieren, Zerkleinern und Recyceln.

Defizite beim Elektroschrott

Doch bei jedem dieser Schritte gibt es Defizite. Die Sammelquote liegt in Deutschland bei nur 40 Prozent – 65 Prozent sollten 2019 eigentlich schon erreicht werden. Doch viele Altgeräte bleiben noch immer beim Konsumenten jahrelang in der Schublade, auf dem Dachboden oder im Keller liegen. Oder sie landen im Restmüll und werden schließlich verbrannt. Nicht selten holen sich findige Schrottsammler Elektrogeräte aus dem Sperrmüll oder aus illegalen Sammelaktionen und schlachten sie ungezielt aus. Ein erheblicher Teil landet auch in Entwicklungsländern, vor allem in Afrika und Asien. Manches geschieht über illegale Kanäle, anderes wird aus guter Absicht zur Wiederverwendung verschifft, ist aber teilweise so alt oder unbeliebt, dass es auf Deponien landet. In anderen Ländern ist die Sammelquote teilweise noch schlechter – international liegt sie bei nur 20 Prozent. Und das obwohl mehr als 60 Länder mittlerweile eine Elektroschrott-Richtlinie erlassen haben. Doch an der praktischen Umsetzung hapert es dort meist noch deutlich stärker als in europäischen Ländern.

»Es ist paradox, dass wir den Elektroschrott als wertvollsten Müll am weitesten wegbringen«, sagt Rüdiger Kühr, Direktor des Programms für nachhaltige Kreisläufe an der Universität der Vereinten Nationen. »Papier, Restmüll und Plastik werfen wir dagegen vor der Haustür in eine Tonne.« Doch der Experte gibt zu, dass dieses Problem nicht so leicht zu lösen ist. »Elektromülltonnen würden in vielen Städten schlicht ausgeräubert.« So mussten in den letzten Jahren schon Menschen aus großen Elektroschrottcontainern befreit werden, die bei der Suche nach werthaltigen Geräten stecken geblieben waren. Sammelversuche gab es an Tankstellen, mit Boxen im Einzelhandel, Sammeltagen oder Sammelolympiaden in Schulen. Doch entweder ist die versuchte Lösung teuer oder schlicht unbeliebt. Das gilt auch für das seit Jahren vorgeschlagene Handypfand. Eine effektive Lösung wurde bisher tatsächlich nicht gefunden. Und so schlägt Rüdiger Kühr vor, dass

Kunden Elektrogeräte in Zukunft nur mehr leihen sollten. Der Hersteller würde Eigentümer bleiben und müsste so alte oder fehlerhafte Geräte automatisch zurücknehmen.

Der Teil an Elektroschrott der in den folgenden Prozessschritten, der Zerkleinerung, Sortierung und dem Recycling ankommt, wird allerdings auch nicht immer ideal wiederverwertet. So leitet ein sogenannter Erstbehandler zwar gefährliche Substanzen wie die Flüssigkeiten in einem Kühlschrank ordnungsgemäß ab. Das Haushaltsgerät wird dann geschreddert, danach kann Stahl und Aluminium entnommen werden. Die Elektronik aber wird meist nicht extra ausgebaut. Bei PCs, Notebooks und anderen Kleingeräten ist der Elektronikanteil proportional deutlich wertvoller. Wenn möglich werden daher Akkus und Leiterplatten entnommen. Ansonsten wird alles in kleine Stückchen zerkleinert. Das passiert vor allem, wenn der Schrott von den Sammelstellen sehr vermischt und unsortiert ankommt. Handys und Smartphones werden, sofern sie nicht zu sehr vermischt eintreffen, nach Entnahme der Akkus direkt zum finalen Recycling weitergeleitet.

Wertvolle Metalle werden aus Elektronikschrottresten gewonnen

Und so landet nach Abtrennung von Kunststoff, Eisen und Aluminium aus dem geschredderten Gemisch ein Strom aus Leiterplatten, Kupfer-/Elektronikfraktionen und ganzen Handys schließlich bei einer Handvoll großer spezialisierter Unternehmen weltweit, die es in Hochöfen einschmelzen – man nennt sie Kupfer- und Edelmetallhütten oder moderner »integrated smelter«. Im Hochofen trennen sich verschiedene Metalle. Das schwerere Kupfer sinkt auf den Boden und nimmt die Edelmetalle mit. Andere Bestandteile bleiben als Schlacke oben. Aus dem Kupfergemisch wird wiederum reines Kupfer gewonnen. Der Edelmetallrest wird durch weiteres Schmelzen und komplizierte chemische Verfahren in reine Edelmetalle wie Gold, Silber und Palladium aufgedröselt – das wertvollste Ergebnis. Aus der Schlacke schließlich können noch Blei und Nickel gewonnen werden. Das belgische Unternehmen Umicore, eine der wichtigsten »integrated smelter« gewinnt auch noch Antimon, Zinn, Wismut und Indium zurück. In einer solch modernen Hütte können insgesamt bis zu 17 Metalle



Alte Blechdosen werden in Deutschland zur Wiederverwertung gesammelt. Beim Einschmelzen wird allerdings fast ebenso viel Kohlendioxid frei wie bei der Verbrennung.



Aus alten Batterien stammen die Bleibarren aus der Gießmaschine der »Muldenhütten Recycling und Umwelttechnik GmbH« in Freiberg (Sachsen). Verwendet wird das Recyclat vor allem für Batterien in der Chemie- und Elektroindustrie. Das anfallende Natriumsulfat geht in die Waschmittel- und Glasindustrie, die aufbereiteten Gehäusereste in die Kunststoffindustrie.

der Wiederverwertung zugeführt werden. Auf einem modernen Chip sind mittlerweile aber noch mehr Rohstoffe enthalten und so gehen einige auch verloren. Zum Beispiel Tantal oder Metalle der Seltenen Erden. Alles zurückzugewinnen ist laut Umicore aber nicht auf ökonomische Weise möglich. Daher forscht man dort daran, die Prozesse energiesparender zu machen und die Metallausbeute in bestehenden Verfahren quantitativ zu erhöhen.

Auch an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen untersucht man Möglichkeiten, wie man die Verfahren der Metallrückgewinnung perfektionieren könnte. Zugleich sollen sie laut den Forschern auch einfacher werden, damit sie bei mehr Unternehmen und damit dezentraler eingesetzt werden könnten – womöglich auch in Entwicklungsländern. In einem Projekt wurde die Vorbehandlung des Elektronik-Kunststoff-Gemisches getestet. »Durch starke Erhitzung unter Sauerstoffabschluss, sogenannte Pyrolyse, wird der Kunststoff gasförmig abgespalten«, erklärt Benedikt Flerus vom IME-Institut für Metallurgische Prozesstechnik und Metallrecycling an der RWTH. »Besondere Metalle wie Indium nimmt das Gas mit sich, später können sie aus dem Abgasstrom auskondensiert und wiedergewonnen werden.« Auch Schadstoffe wie Brom, das als Flammschutzmittel enthalten war, entweichen. Übrig bleibt ein schadstofffreier Feststoff, der zur Rückgewinnung von Kupfer und Edel-

metallen im »integrated smelter« weiterverarbeitet werden kann. Andere Forschungsarbeiten zielen auf hydrometallurgische Verfahren, also auf eine Herauslösung von Metallen durch wässrige Chemikalien. Generell ermöglicht es die Gesamtheit solcher neuer und verbesserter Verfahren so gut wie alle Rohstoffe aus Elektronikschrott zurückzugewinnen – aber eben im Labormaßstab. Eine wirtschaftliche Umsetzung ist noch nicht absehbar.

In einem anderen Projekt am IME namens MetalSens soll die gesamte Prozesskette vom Sortieren und Zerkleinern bis zur Wiedergewinnung optimiert werden. Dabei geht es zum einen um eine automatisierte Erkennung und Sortierung, denn in der Elektroschrottbranche werden werthaltige Ressourcen noch aufwendig per Handklaubung aus Geräten ausgebaut – oder es wird auf den Ausbau aus Kostengründen verzichtet. Im Projekt entwickelte Sensoren sollen nun physikalische und chemische Eigenschaften der Komponenten erkennen, die aus dem Schredder kommen und diese sortieren. Ein weiteres Ziel ist den Prozess staubärmer zu machen, denn vor allem beim Schreddern gibt es ein hohes Aufkommen der feinen Staubfraktion. Mit diesem Staub gehen wertvolle Rohstoffe verloren und außerdem erfordert der Staub bei den Betrieben aufwendige Verfahren zur Entstaubung zur Reduzierung von Umweltbelastungen.

MetalSens ist eines von 40 Förderprojekten der Fördermaßnahme »r4 – Innovative Technologien für Ressourceneffizienz« des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Dort liegt das Augenmerk vor allem auf wirtschaftsstrategischen Rohstoffen – also auf Rohstoffen, die unsere Wirtschaft braucht, die aber bisher hauptsächlich durch Import eingeführt werden, auch aus Ländern, bei denen die Rohstoffversorgung und die Arbeitsbedingungen unsicher sind. Dazu gehören Platingruppenmetalle, Stahlveredler und Hochtechnologiemetalle. Zum Beispiel Tantal für Kondensatoren auf Mikrochips, Kobalt für Akkus oder die Metalle der Seltenen Erden, die wiederum unter anderem für Magnete in Elektromotoren und Windkraftanlagen sowie Leuchtmittel benötigt werden. Neben Projekten wie MetalSens, die solche Metalle besser aus dem Recyclingprozess zurückgewinnen möchten, fördert r4 auch Projekte, welche die früheren deutschen Erzlager-



Gold, Silber und Kupfer können neben zahlreichen anderen Metallen aus Elektronikschrott gewonnen werden.

stätten unter die Lupe nehmen. Denn vielleicht könnten Hochtechnologiemetalle auch hierzulande als Primärrohstoffe gewonnen werden.

Wie kommt man an Rohstoffe in Altfautos?

Viele solche Stoffe verstecken sich allerdings auch als Sekundärrohstoffe in alten Autos. Kraftfahrzeuge laufen zwar nicht unter der Elektroschrott-Richtlinie sondern unter einer eigenen Altfahrzeug-Verordnung. Doch auch hier entscheidet der Erstbehandler ob er werthaltige Elektronik oder kleine Elektromotoren vorher ausbaut oder einfach mit der Karosserie schreddert. Und gerade die kleinen Elektromotoren werden im Pkw immer mehr, sind längst nicht mehr nur in Fensterhebern, Motorlüftung und Scheibenwischer verbaut. Und sie enthalten zahlreiche Metalle und Seltene Erden. Am Clausthaler Umwelttechnik Forschungszentrum CUTEC hat man daher mit dem Land Baden-Württemberg erforscht, wie man eine Demontagefabrik aufbauen könnte. Auch bei ihr soll kein manueller, sondern ein automatisierter Ausbau von werthaltigen Komponenten aus Autos, Industriemaschinen und den immer häufiger verkehrenden E-Bikes erfolgen. Mittels ausgefeilter Bilderkennung schaffen das Roboter mehr als dreimal schneller als der Mensch. Eine vermehrte Demontage der werthaltigen Komponenten könnte sich so zukünftig lohnen.

In Elektroautos wird die Batterie ein entscheidender neuer Faktor sein. Hier ist es einer der »integrated smelter«, Umicore, der Lithium-Ionen-Batterien recyceln kann. Momentan kommen die Batterien noch mehr aus Smartphones und Notebooks, doch der Anteil an E-Auto-Batterien wächst und macht in Zukunft deutlich größere Kapazitäten nötig. Kobalt, Nickel und Kupfer werden in einem speziellen Hochofenverfahren aus der Altbatterie zurückgewonnen. Und seit einem Jahr gelingt es Umicore auch, das Lithium auf wirtschaftliche Weise zu recyceln. Ansonsten unterscheidet sich ein Elektroauto nicht viel von einem klassischen Pkw, so dass die Wiederverwertung analog erfolgen kann. Allerdings enthält ein Elektroauto auch mehr Elektronik, was den Bedarf an einer verbesserten Demontage und Entstückung weiter erhöhen wird. Zumal auch im Autobereich die Sammelquote unzurei-

chend ist, das heißt nur ein recht kleiner Teil der Altfautos geht in den deutschen Recyclingprozess. Denn viele aus-rangierte Pkws landen als Gebrauchtwagen irgendwo auf der Welt oder stehen auf Grundstücken still.

Auch der Plastikmüll kämpft mit Quoten

Bei Kunststoffabfällen aus dem Verpackungsbereich ist die Verwertungsquote mit nahezu 100 Prozent eigentlich perfekt. Keine Plastiktüten oder Schachteln, die in den gelben Tonnen oder Säcken hierzulande geworfen werden, landen mehr in einer Deponie. Doch wer genauer in den Prozess der Dualen Systeme blickt, wird sehen, dass die eigentliche Recyclingquote nur bei rund 40 Prozent liegt. Der restliche Kunststoff wird thermisch verwertet, also zur Energieerzeugung verbrannt. Deutschland steht damit im internationalen Vergleich zwar gut da: In vielen europäischen Ländern ist die Recyclingquote niedriger, in den USA beträgt sie nur rund zehn Prozent und China, das mal mehr, mal weniger Kunststoffabfälle für das eigene Recycling importiert, lässt sich ungern in die Karten schauen. Doch Fakt ist auch: Glas, Metall und Papier werden hierzulande bereits zu über 80 Prozent recycelt. Der Kunststoff ist damit neben dem Elektroschrott das Problemkind in der deutschen Abfallwirtschaft.

Das neue Verpackungsgesetz schreibt ab 1. Januar vor, die Recyclingquote beim Kunststoff bis zum Jahr 2022 zumindest auf 63 Prozent zu erhöhen. Doch auch das ist gar nicht so einfach. Sortieranlagenbetreiber müssen in verbesserte technische Verfahren investieren, um die Ausbeute an recyclingfähigem Kunststoff zu steigern. Im Projekt »Technische Potenzialanalyse zur Steigerung des Kunststoffrecyclings und des Rezyklateinsatzes«, gefördert durch das Umweltbundesamt, untersuchten mehrere Partner aus Forschung und Wirtschaft, wie sich dieses Ziel am besten erreichen lässt. »Beispielsweise ist es bislang schwierig, schwarze Kunststoffe und Kunststofffolien im Sortierprozess gut zu erkennen«, erklärt Umwelttechniker Rüdiger Oetjen-Dehne vom Ingenieurbüro u.e.c. Berlin, der am Projekt mitgewirkt hat. »Diese Kunststoffarten landen daher bisher oft in der Verbrennung.«

Schwarze Kunststoffe werden von den Nahinfrarotsensoren, die Stand der Technik in Sortieranlagen sind,



In China landete bisher ein Gutteil deutschen Plastikmülls. Dort wurde er von billigen Arbeitskräften sortiert und anschließend zu Granulaten zermahlen. Künftig will China jedoch keinen europäischen Plastikmüll mehr annehmen.

schlecht erkannt, da Schwarz schlecht reflektiert. Mittlerweile gibt es allerdings Verfahren mit hochauflösenden Zeilenkameras oder Laserunterstützung, die auch das dunkelste Stück Plastik identifizieren. Ähnliches gilt für Folien. Sie flogen bisher auf schnellen Förderbändern durch den Luftwiderstand herum und konnten durch Sensoren schlecht erfasst werden. Doch auch hier haben findige Ingenieure Abhilfe geschaffen: Mit der Bandgeschwindigkeit synchronisierte Luftströme zwingen die Folien, auf dem Boden des Förderbands liegen zu bleiben. Nun können auch beim schwarzen Plastik und bei den Folien verschiedene Typen von Kunststoffen sicher erkannt werden, beispielsweise Polystyrol, PET oder Polyethylen, so dass sie sortenrein für das folgende Recycling getrennt werden. Nur bei mehrschichtigen Folien, bei denen die Sensoren das Material der Oberseite, aber nicht die darunter liegenden Schichten erkennen, gibt es noch Probleme. »An sich aber«, so ist Rüdiger Oetjen-Dehne sicher, »existiert für jedes Problem im Sortierprozess eine technische Lösung.« Anlagenbetreiber müssen nun auch in diese Lösungen investieren.

Vom recyclinggerechten Konstruieren zur Kreislaufwirtschaft

Eine andere Herausforderung im Kunststoffrecycling lässt sich weniger durch Technik lösen – die niedrige Akzeptanz der Rezyklate. Rezyklate sind die frischen Rohstoffe, die aus dem Recycling kommen und nun in neuen Kunststoffprodukten zum Einsatz kommen könnten. Doch die Kunststoffhersteller ziehen häufig neuen Kunststoff den Rezyklaten vor oder mischen Rezyklate lediglich bei. Aus-

schließlich aus Rezyklaten entstehen daher noch immer häufig minderwertige Produkte, wie Parkbänke, Mülltüten, Blumenkübel oder Rohre für den Baubereich. Auch neue Lebensmittelverpackungen dürfen nur mit Einschränkungen aus Rezyklaten bestehen, damit nicht bedenkliche Stoffe die Gesundheit gefährden. Diese Stoffe gehen freilich meist auf die Produkte und ihre Befüllung (beispielsweise Pflanzenschutzmittel in Plastikbehältern), weniger auf das Recycling zurück.

Um dieses Problem zu lösen, fordert Henning Wilts, Abteilungsleiter Kreislaufwirtschaft am Wuppertal Institut, Produkte in Zukunft so zu designen, dass Rohstoffe in bestmöglicher Qualität zurückgewonnen werden können. »Recycling ist kein Selbstzweck, es muss die Umwelt stärker entlasten, indem wir zu geschlossenen Stoffkreisläufen kommen!« Einen ersten Schritt macht das neue Verpackungsgesetz. Es sieht vor, dass Hersteller höhere Lizenzgebühren zahlen müssen, wenn sie Verpackungen nicht recyclinggerecht designen. Lizenzgebühren müssen Hersteller an die Betreiber der Dualen Systeme leisten, wann immer sie Verpackungen in den Handel bringen. Deutlich weitergehende Forderungen würden die Hersteller ganz für die Kosten der Entsorgung verantwortlich machen – denn dann würden sie noch viel mehr darauf achten, dass die Produkte in einer gut recycelbaren Form entwickelt werden. Noch beäugt die Europäische Union die Selbstverpflichtungen der Wirtschaft. Dort wollen Discounter nun offenbar eine Vorreiterrolle annehmen: Aldi will bis 2022, dass die Verpackungen der Eigenmarken zu 100 Prozent recycelbar sind. Lidl plant gar ein eigenes duales System. Und andere Einzelhändler haben sich zur Reduzierung von Plastik in Verpackungen bekannt.

Für eine echte Kreislaufwirtschaft sei aber Umdenken in allen Bereichen erforderlich, so Henning Wilts. »Wir dürfen nicht länger darauf schauen, aus welcher Branche der Müll kommt, sondern was im Müll drinsteckt.« So sind in der gegenwärtigen Abfallwirtschaft ein Föhn und ein Smartphone beide Elektroprodukte und gelten beide als »Kleingeräte«. Sie landen im selben Container, doch im Smartphone steckt viel mehr Rohstoffwert. In einer Kreislaufwirtschaft würde das Smartphone also einen eigenen Entsorgungsweg gehen.



DER AUTOR

Dipl.-Ing. Christian Rauch ist freier Journalist für Zeitungen und Zeitschriften. Schwerpunkte: Wissenschaft/Technik sowie Reise und Tourismus. Sein neues Buch *Technik und Wissenschaft erleben: Rund um München* zeigt 50 Ausflugsziele für Technikinteressierte: u. a. Wind- und Wasserkraftwerke, Bergwerke, Flugplätze oder Sternwarten.



Aus recyceltem Plastikgranulat werden neue Kunststoffe gegossen.

Henning Wilts stellt den Vorteil der Kreislaufwirtschaft volkswirtschaftlich dar: »Man kann hohe oder steigende Recyclingquoten hierzulande loben. Dreht man aber die Sichtweise um, erkennt man, dass trotzdem erst 14 Prozent aller Rohstoffe, die in Deutschland verarbeitet werden, aus Recycling stammen. In den Niederlanden sind es bereits 25 Prozent!« Unser Nachbarland arbeitet ebenso wie Finnland, Schottland und Slowenien an Plänen für eine Kreislaufwirtschaft. Freilich kann eine gute Kreislaufwirtschaft nicht darin bestehen, dass aus jeder Tüte wieder genau eine neue Tüte, aus jedem Handy ein neues Handy entsteht. »Doch die stofflichen Qualitäten müssen erhal-

ten werden«, stellt Henning Wilts klar. Auch 100 Prozent Recyclingquote sind utopisch, weil Materialverluste existieren und Recycling gleichzeitig Energie benötigt, für die man wiederum Ressourcen braucht. Doch die Quote von 14 Prozent beim Einsatz von Recyclingstoffen deutlich zu steigern, ist für Henning Wilts alles andere als unrealistisch.

Und manchmal können recycelte Rohstoffe gar upcycelt werden: So sollen die 5000 Medaillen bei den Olympischen Spielen 2020 in Tokio überwiegend aus Edelmetallen gefertigt werden, die aus recyceltem Elektroschrott stammen. ■■

Anzeige



Als Familienunternehmen im Norden Münchens stehen wir unseren Kunden nun seit mehr als 60 Jahren als zuverlässiger Partner in allen Fragen rund um Entsorgung- und Recycling kompetent zur Seite. Mit unserem eigenen Fuhr- und Containerpark, unserer ultramodernen, zertifizierten Aufbereitungs- und Sortieranlage, unserer Kompetenz in Sachen Sondermüll und Gefahrgut und unserer langjährigen Erfahrung können wir unsere Kunden mit ihren ganz speziellen Wünschen bedienen. Dabei ist es unerheblich, ob ein Keller entrümpelt, ein Handwerksbetrieb beraten, eine Großbaustelle betreut werden will oder ein Industrieunternehmen einen verlässlichen Partner sucht – **Breitsamer ist Ihr Partner.**

Wir erhalten den Kreis

Dachauerstr. 535 80993 München Telefon 089 3090989-0 www.breitsamer.com

