

Pre-Recycling mit chirurgischer Präzision: Robotisierte Zerlegung von Elektrokleingeräten

Tom Jost, Mike Duddek

Jährlich fallen weltweit ca. 50 Millionen Tonnen Elektroschrott an. Die darin enthaltenen Rohstoffe werden jedoch nur zu einem kleinen Teil wiedergewonnen. Ein Grund dafür: Es ist nicht wirtschaftlich, die Geräte manuell so zu zerlegen, dass die Bestandteile sauber getrennt dem Recycling zugeführt werden können. Das Projekt Prosperkolleg der Hochschule Ruhr West hat mit dem Circular Digital Economy Lab (CDEL) ein beispielhaftes Verfahren entwickelt, wie dieser Elektroschrott durch präzise und automatisierte Zerlegung besser recycelt werden kann.

Steigende Mengen Elektroschrott

Sie sind in jedem normalen Haushalt in großer Anzahl zu finden: Elektrische Geräte, die leuchten, kühlen oder heizen, sägen und bohren, waschen oder Kaffee kochen – 50 kg pro Haushalt kommen dabei schnell zusammen. Am Ende ihrer Nutzung verwandeln sich die Geräte in das, was als Elektroschrott bezeichnet wird – nach Schätzung der UN waren es 2019 weltweit 53,6 Millionen Tonnen, von denen nur 17,4 Prozent gesammelt und recycelt wurden. Elektroschrott gehört zu den am stärksten wachsenden Abfallströmen (The Global E-Waste Monitor 2020).

Häufig werden die Kleingeräte nicht richtig entsorgt, landen in der Mülltonne und werden mit dem Hausmüll verbrannt. Was in Rasierapparaten, Fernbedienungen, Toastern, elektrischen Pfeffermühlen und batteriebetriebenen Kuscheltieren an Kabeln, Motoren und Platinen steckt, geht auf diese Weise verloren. Seit 2019 gilt zwar in Deutschland, dass jährlich eine Menge an Elektro-Altgeräten eingesammelt werden muss, die mindestens 65 Prozent der verkauften Neuware entspricht. Doch dieser Anspruch wurde auch vorher kaum erfüllt, als die Quote noch bei 45 Prozent lag. Besser sieht es bei Geräten aus, die tatsächlich in den Rücknahmecontainern von Handel, Herstellern und auf Wertstoffhöfen landen. Doch auch da ist eine nennenswerte stoffliche Wiederverwertungsquote nicht

in Sicht: Während beim Eisen noch 31 Prozent der Produktion aus Altmaterial stammen, sind es bei Lithium, einem der Grundstoffe für moderne Akkus, null Prozent (Umweltbundesamt 2022).

Akkuschrauber als Demonstrationsobjekt

Das Bottroper CDEL, untergebracht in einer kleinen Werkhalle auf dem Gelände der ehemaligen Steinkohlezeche Prosper III, hat sich zur Demonstration bisheriger und künftiger Recyclingverfahren ein Kleingerät ausgesucht, das fast in jedem Haushalt anzutreffen ist: einen Akkuschrauber. Das Werkzeug verfügt über ein Kunststoffgehäuse, unter dem in der Regel vier Hauptkomponenten angeordnet sind. Der Bohrkopf mit Getriebe und Spannfutter besteht aus legiertem Stahl, angetrieben wird die Einheit von einem Motorblock, der Magneten, oft aus Neodym, Kupfer und Stahl enthält. Im Griffteil stecken Schalter nebst Platine, bei manchen Geräten auch der Akku, der ansonsten im Standfuß zu finden ist.

Diese vier Hauptbestandteile, auch „Fraktionen“ genannt, sollten beim Recycling möglichst nicht vermischt werden – Kupferanteile würden beispielsweise die Stahlqualität erheblich verschlechtern, das Neodym ginge einfach im Stahl verloren. Dazu müsste allerdings die Gerätehülle in Handarbeit geöffnet und die Komponenten sauber entnommen werden – am fast wertlosen Ende eines Gerätelebens ist dieser Aufwand wirtschaftlich nicht darstellbar. Stattdessen wandert der Akkuschrauber meist im Ganzen in einen sogenannten Querstromzersetzer, der zwar die Hülle „knackt“, aber oft auch die Innereien zertrümmert und anschließend in einer Mühle feinmahlt. In der Folge werden die Materialien vermischt und sind für anspruchsvolleres Recycling kaum noch nutzbar, da sie sich nur schwer trennen lassen. Ihr Wert sinkt also deutlich.

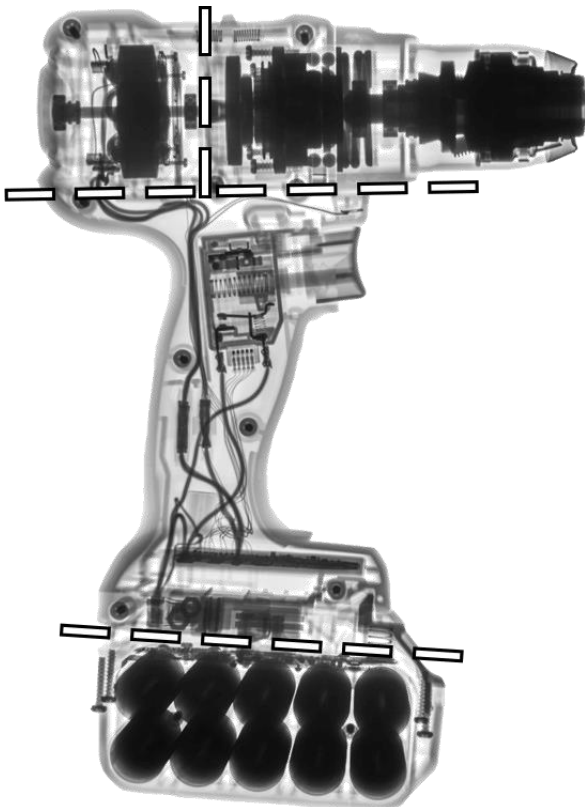


Abbildung 1: Röntgenaufnahme eines Akkuschraubers, mit eigenzeichneten Schnittlinien für eine Fraktionierung, Quelle: eigene Aufnahme

Problem: Ein Hersteller – 200 Modelle

Das im Prosperkolleg-Projekt entwickelte alternative Verfahren besteht aus drei wesentlichen Schritten, angefangen mit der Objekterkennung. Ist das Altgerät auf dem Band überhaupt ein Akkuschauber - und wenn ja, welcher Typ und wer hat ihn wann gebaut? Diese Informationen sind wichtig, denn das Werkzeug kann verhältnismäßig neu sein, aber auch schon 40 Jahre alt. Die Zahl der Hersteller ist groß und die Bandbreite ihrer Modelle riesig: 200 verschiedene Ausführungen können im Laufe der Jahre durchaus von einem Unternehmen produziert worden sein. Zur Erkennung des Modells wird eine Fotobox eingesetzt, die das Gerät von allen Seiten fotografiert und mit einer Datenbank abgleicht, bei deren Erstellung Verfahren der Künstlichen Intelligenz (KI) eine wesentliche Rolle spielen (siehe dazu auch den RETHINK-Beitrag [Künstliche Intelligenz ermöglicht automatisiertes Smartphone-Recycling](#)).

Diese Datenbank als zweiter Schritt ist von zentraler Bedeutung. Hier sind alle benötigten Informationen zu einem erkannten Gerätetyp vorhanden oder werden neu angelegt. Wo sind die vier Hauptkomponenten verbaut? Welche Akku-Technologie wurde verwendet? Wieviel Materialmasse kann beim Trennen erwartet werden? Wo müssen dafür die optimalen Schnitte angesetzt werden? Ist der Gerätetyp noch unbekannt, wird das Gerät robotisiert gewogen und es kommt zusätzlich Röntgentechnik zum Einsatz, um den inneren Aufbau analysieren zu können.

Aus all diesen Daten wird ein 3-D-Modell des Objektes erzeugt, damit im letzten Schritt ein zweiter Roboterarm weiß, wie der Schrauber angefasst und zerteilt werden muss.

Für jedes Akkuschauber-Modell liegt schließlich ein Schnittplan vor, um die Materialfraktionen möglichst ohne Verunreinigungen abzutrennen und schlecht zu trennende Materialmischungen frühzeitig zu vermeiden. Dafür wird in einer separaten Box ein Wasserstrahl mit einem Druck von 3800 bar eingesetzt, mit dem dreidimensional geschnitten werden kann - und der auch immer scharf bleibt. Für das Zertrennen von Stahl wird ein Abrasiv wie Granat- oder Olivsand zugesetzt. Vorteil dieses Präzisionsverfahrens ist die möglichst genaue Trennung, so dass die erzeugten Fraktionen in sehr viel größerer Reinheit einer Verwertung zugeführt werden können. Beispielsweise können komplex zu verarbeitende Motoren von einem Motor-Verwerter bearbeitet werden, der Verfahren anwendet, die sich für einen Motor alleine lohnen, nicht aber für ein ganzes Gerät.

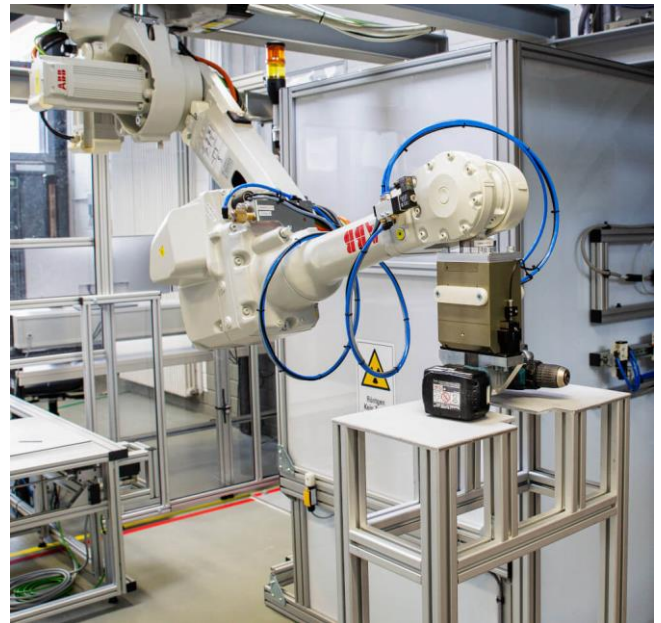


Abbildung 2: Industrieroboter mit Akkuschauber an der Übergabestation zwischen Analyse und Verwertung, Quelle: eigene Aufnahme

Werte retten aus Allerweltsgeräten

Angefangen hat das Circular Digital Economy Lab (CDEL) diese Verfahrensentwicklung mit gängigen Kleingeräten wie Heckenscheren, Stichsägen und eben Akkuschaubern - also elektrischen Werkzeugen, die in vielen Haushalten zu finden sind. Die Objekte sollen am besten nicht zu klein, aber auch nicht zu groß sein, weswegen Akku-Zahnbürsten vorerst ebenso unberücksichtigt bleiben wie Waschmaschinen. Hier ist jedoch eine Erweiterung denkbar, um die entwickelte Technologie auf weitere Produktgruppen anzuwenden. Wichtig ist, dass die potenziellen Volumina stimmen: Mit Nischenprodukten lässt sich wahrscheinlich schwer ein Markt für ein rentables Pre-Recycling begründen, während millionenfach hergestellte Allerweltsgeräte solch automatisierten Erkennungs- und



Zerlegeprozessen, wie sie im CDEL entwickelt worden sind, eine auch wirtschaftlich optimierte Zukunft eröffnen. Nicht von ungefähr haben die Bottroper Wissenschaftler:innen ihre Entwicklung auf ein weiteres „Allerweltsgerät“ fokussiert: Mobiltelefone. Davon schlummern nach einer repräsentativen Schätzung des Branchenverbandes Bitkom gegenwärtig etwa 200 Millionen Exemplare allein in deutschen Schubladen. Ein Drittel wird noch als aktive Stand-by-Reserve betrachtet, die große Überzahl dürfte allerdings schon die Definition von Elektroschrott erfüllen, nach der das Gerät entweder defekt oder dauerhaft abgelegt ist.

Wie können nun interessierte Unternehmen die Arbeit des CDEL für ihre Strategien nutzen? Einerseits will das Prosperkolleg zeigen, was inzwischen technologisch möglich ist und wie Recycling perspektivisch gedacht werden kann. Dazu gehört, Prozesse zu optimieren und zusammen mit betrieblichen Fachleuten Materialströme zu erschließen, die bisher ungeeignet erschienen oder übersehen wurden. Ein besseres Recycling eröffnet die Perspektive der intensivierten Kreislaufwirtschaft, in der gebrauchte Materialien zur Herstellung neuer Produkte verwendet werden. Zugleich erlauben die Forschungsergebnisse eine weitere qualitative Rückkopplung mit den Geräteherstellern: Sie könnten beispielsweise dazu verwendet werden, beim technischen Produktdesign die Geräte besser und langlebiger zu konstruieren - und etwa beim Akkuschauber durch minimal veränderte Abstände die vier Fraktionen künftig leichter trennen zu können.

Neben dem Aspekt der verbesserten Materialrückflüsse und Ressourcenschonung streift die CDEL-Forschungsarbeit aber auch eine grundsätzliche Frage der Arbeitswelt: Sollen - um maschinell gefertigte Massengüter an ihrem Lebensende zu recyceln - Menschen diese schwierige und schmutzige Sortier- und Zerlegearbeit ausüben? Aus vielen Medien sind Bilder

von schwelenden Müllhalden in entfernten Ländern, auf denen vorwiegend arme Frauen, Männer und Kinder Elektroschrott nach wertvollen Elementen durchsuchen und ausschichten, bekannt. Angesichts der immensen Zunahme von Elektroschrott weltweit und der begründeten Vermutung, dass es nicht genug Menschen geben wird, die auch unter halbwegs humanen Bedingungen diese Arbeiten verrichten möchten: Existiert langfristig eine Alternative zur Automation der Rückgewinnung, wenn Rohstoffe absehbar seltener und teurer werden?

Literatur

Mike Duddek, Saulo H. Freitas Seabra da Rocha (2022): Robotized Pre-recycling for Improved Material Recovery. In: Leal Filho W., Azul A.M., Doni F., Salvia A.L. (eds) Handbook of Sustainability Science in the Future. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68074-9_71-1.

Forti V., Baldé C.P., Kuehr R., Bel G.: The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential. United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam. Online verfügbar unter https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2020/11/GEM_2020_def_july1_low.pdf, zuletzt geprüft am 25.08.2022.

Umweltbundesamt (2022): Elektro- und Elektronikgeräte. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/elektro-elektronikaltgeraete>, zuletzt geprüft am 22.08.2022.

Reihe

RETHINK. Impulse zur zirkulären Wertschöpfung / Enabling the Circular Economy | Uwe Handmann, Wolfgang Irrek, Sabine Büttner (Hrsg.)
ISSN (Print) 2750-6215 | ISSN (Online) 2750-6223 | 1. Auflage, 07.09.2022
Online abrufbar unter: www.prosperkolleg.ruhr

Impressum / Kontakt

Prosperkolleg e.V.
Gladbecker Straße 19b, 46236 Bottrop
Germany
info@prosperkolleg.ruhr



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz.

Titelbild: www.unsplash.com, Photo by Francesco Lo Giudice, bearbeitet

