

Sauber getrennt ist halb verwertet

Recycling mittels KI

Wolfgang Irrek, Uwe Handmann, Hochschule Ruhr West



Rohstoffe sind in der Regel nicht absolut, sondern nur zeitweise beziehungsweise relativ knapp. Diese zeitweise Knappheit kann substantielle wirtschaftliche Auswirkungen wie Rohstoffpreisschwankungen und Lieferengpässe haben. Daher gilt es zu untersuchen, welche Möglichkeiten es gibt, die Abhängigkeit von Primärrohstoffen zu reduzieren. Hierfür ist es unter anderem notwendig, die Chancen des Einsatzes von Digitalisierung und Künstlicher Intelligenz (KI) und deren Einfluss auf die Nutzbarkeit von sekundären Rohstoffen zu beleuchten.

Schwankende Rohstoffpreise und Lieferengpässe bei Materialien und Komponenten waren in den letzten Jahren eine große Herausforderung für viele Betriebe. In diesem Zusammenhang wurde oft von der Knappheit der Ressourcen gesprochen. Doch sind Ressourcen tatsächlich absolut knapp und das Hauptargument, weshalb wir auf ein zirkuläres Wertschöpfen mit möglichst vollständiger Kreislaufführung von Materialien umsteigen müssen?

Rohstoffknappheit, das heißt eine Knappheit in der aktuellen Versorgung mit geförderten Reserven, bedeutet noch nicht, dass nachgewiesene wirtschaftlich gewinnbare Reserven und darüber hinausgehende Ressourcen knapp sind.

Mit Blick auf eine wachsende Weltbevölkerung hat bereits Thomas Robert Malthus Ende des 18. Jahrhunderts Knappheiten in der Lebensmittelversorgung prophezeit, die zu Krankheiten, Hunger und Tod führen würden [1]. Der Club of Rome malte 1972 mit den Grenzen des Wachstums ein katastrophales Bild von der zukünftigen Entwicklung der Menschheit aufgrund von Reserven- und Ressourcenknappheit bei stark wachsender Weltbevölkerung [2]. Glücklicherweise sind diese Szenarien nicht eingetroffen, weil die industrielle Revolution für Wohlstandssteigerungen gesorgt hat.

Bei knappen Rohstoffen denken wir an Öl, Erdgas, begrenzte Flächen, seltene Erden oder andere Primärrohstoffe, über die Deutschland nur begrenzt verfügt. Wenn es auf sie ankäme, sähe es für die Wohlstandsentwicklung Deutschlands düster aus. Häring ist daher 2012 zur Erkenntnis gekommen, dass die wichtigste Ressource der deutschen Volkswirtschaft die Fähigkeit sei, seine Bevölkerung in Arbeit zu bringen und dabei Werte zu schaffen und diese gerecht zu verteilen [3]. Das Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie hat zudem deutlich gemacht, dass nicht das Aufbrauchen knapper Rohstoffe der zentrale Engpass ist, sondern dass wir an die Grenzen der Tragfähigkeit unseres Planeten Erde stoßen [4]. Unsere Wirtschaftsweise zerstört grundlegende Erdsystemprozesse mit gravierenden Auswirkungen auf den Menschen und seine Umwelt, wie wir es am Beispiel des Klimawandels bereits sehen.

Wirtschaftliche Auswirkungen der derzeitigen Rohstoffversorgung

Zeitweise Knappheiten können aber zu unerwünschten Rohstoffpreisschwankungen und

Lieferengpässen führen und große Probleme für Betriebe verursachen, bis hin zur Insolvenz, auch wenn die Preisschwankungen oft nur vorübergehend sind (Abbildung 1). Auf lange Sicht sind die Preise von nicht-erneuerbaren Rohstoffen nämlich konstant [5].

Da die Herausforderungen zeitweise knapper Primärrohstoffe aber gravierend sein können, sollten Betriebe ihre Rohstoff- und Komponenten-Abhängigkeiten analysieren und deren mögliche Preis- und Mengenentwicklung antizipieren. Eine Risikoreduktion ist zum einen mithilfe eines Portfoliomanagements möglich. Darüber hinaus sollten Substitutionsalternativen frühzeitig identifiziert oder selbst entwickelt werden.

Der Staat kann Betriebe dabei unterstützen, Zugangsmöglichkeiten zu potenziellen Rohstofflieferländern zu schaffen. Vor allem aber kann er durch entsprechende Rahmenbedingungen und Förderinstrumente zirkuläre Ansätze stärken. Gerade kleinere und mittlere Unternehmen benötigen Unterstützung dabei, zirkuläre Lösungsansätze in ihren Wertschöpfungsnetzwerken zu entwickeln, die ihren Kund:innen helfen, Materialien und Komponenten länger zu nutzen und Primärrohstoffe durch Rezyklate zu ersetzen. Dies zeigen Projekte wie das vom Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Industrie und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen geförderte Projekt „Prosperkolleg – Transformationsforschung zur zirkulären Wertschöpfung“, in dessen Rahmen Werkzeuge und Vorgehensweise zur Unterstützung von Betrieben entwickelt, erprobt und evaluiert wurden [6].

Zirkuläre Lösungsansätze

Zirkuläre Ansätze bieten Lösungen zum Umgang mit zeitweise knappen Rohstoffen und reduzieren die Abhängigkeit von Rohstoffpreisschwankungen und Lieferengpässen. Potting et al. grenzen zehn sogenannte „R-Strategien“ voneinander ab, die Unternehmen helfen, den Weg zur zirkulären Wertschöpfung zu beschreiten [7], [8]. Dazu gehören High Level-Strategien wie Rohstoffeffizienzsteigerungen in der Produktion oder die Wieder- und Wiedernutzung von Produkten und Komponenten, aber auch Low Level-Strategien wie das Recycling, das die Nutzung von Sekundärrohstoffen ermöglicht.

Der Ressourcenbericht für Deutschland 2022 des Umweltbundesamtes zeigt auf, dass Deutschland zwischen 2010 und 2019 auf



Prof. Dr. Wolfgang Irrek

Prof. Dr. Wolfgang Irrek ist Professor für Energiemanagement und Energiedienstleistungen am Institut Energiesysteme und Energiewirtschaft der Hochschule Ruhr West und zweiter Vorsitzender des Prosperkolleg e. V. in Bottrop. Er lehrt und forscht zu den Transformationsprozessen und politisch-administrativen Rahmenbedingungen in den Bereichen Klimaschutz und Circular Economy sowie zu aktuellen Themen der Energiewirtschaft und der Energiewende.

Kontakt

Wolfgang.Irrek@hs-ruhr-west.de

www.hochschule-ruhr-west.de

Abbildung 1: Rohstoffpreisschwankungen im Zeitverlauf am Beispiel von Indizes ausgewählter Rohstoffkurse [05.02.2012 = 100] (logarithmisierte Darstellung).

© Hochschule Ruhr-West, auf Basis historischer Rohstoffkurse von finanzen.net GmbH [08.01.2023].



nahezu unverändert hohem Niveau Primärrohstoffe einsetzt. Beispielsweise sind von 14,2 Mio. t Kunststoff, die in Deutschland 2019 importiert oder produziert wurden, nur 2,0 Mio. t Rezyklate (Sekundärkunststoff). Gleichzeitig exportierte Deutschland 1,1 Mio. t Kunststoffabfälle. Zudem wurden 53 Prozent der Kunststoffabfälle verbrannt, anstatt sie werkstofflich oder rohstofflich zu verwerten [9]. Bei den für Elektrogeräte bedeutsamen Metallen, von denen Teile nur in kleinen Mengen verstreut vorkommen und daher als seltene Erden bezeichnet werden, ist die Wiedergewinnung strategisch wertvoller Metalle aus den geschredderten oder zermahlenden Komponenten sehr aufwendig und mit Umweltproblemen verbunden. Daher passiert dies in der Praxis meistens nicht oder nur für wenige Stoffe, und die Teile landen geschreddert im Stahlschrottrecycling oder im Restmüll und dissipieren entsprechend, obwohl ihr Recyclingpotenzial sehr hoch ist [10].

Das anthropogene Lager an Materialien in der Bundesrepublik Deutschland war im Jahr 2010 52 Mrd. t groß und wächst jährlich um rund 820 Mio. t beziehungsweise 10 t je Bundesbürger:in [9]. Die Frage stellt sich, wie dieses Material genutzt und in den Stoffkreislauf wieder hineingebracht werden kann, wenn es für seinen ursprünglichen Zweck nicht mehr benötigt wird. Recycling ist dabei eine wesentliche Strategie, aber nur, wenn sie nicht zu einem „Downcycling“ führt.

Das Circular Digital Economy Lab

Beim Recycling kommt es auf möglichst sortenreine Trennung an, um den Wert der Materialien im Kreislauf zu erhalten. Wie die Steigerung der Wertigkeit von Stoffströmen funktionieren kann, zeigt das Circular Digital Economy Lab (CDEL) der Hochschule Ruhr West am Beispiel von Elektroschrott.

Kern ist eine auf verschiedene Produkte flexibel anpassbare digitalisierte Demontage- und Verwertungslinie, die eine robotisierte Vortrennung von Elektrokleingeräten ermöglicht. Ziel dabei ist, eine möglichst weitgehende Trennung der Produktkomponenten automatisiert zu erreichen, sodass Fraktionen mit einer geringeren Materialkomplexität als das Ausgangsprodukt entstehen, die dann wiederum effektiver in klassischen mechanischen Recyclingprozessen verarbeitet werden können [11].

Objekterkennung und -klassifizierung beim Recycling

Innovative digitale Möglichkeiten der Objekterkennung und -klassifizierung mit KI-basierten Methoden sind eine wesentliche Voraussetzung für die werterhaltende Kreislaufführung von Materialien, insbesondere beim Elektroschrott-Recycling.

Die genaue Sortierung eines Abfallstroms innerhalb eines kurzen Zeitraums kann mit-

hilfe der Digitalisierung, vor allem unter Anwendung KI-basierter Methoden, anstelle von traditionellen, insbesondere händischen Methoden erfolgen. Die automatisierte Behandlung von Elektroschrott (E-Waste) ist dabei von besonderer Bedeutung, da dessen stetige globale Zunahme (2014 44,4 Mio. t, 2019 53,6 Mio. t, Prognose 2030 74,7 Mio. t) [12] eine besondere Herausforderung für eine Sortierung und möglichst sortenreine Extraktion von Sekundärrohstoffen ist.

Der Einsatz von Digitalisierung und KI als interdisziplinäre Erweiterungen klassischer Verwertungsverfahren im Bereich der Recyclingwirtschaft kann viele Prozessschritte geeignet unterstützen und damit das intelligente Recycling von Rohstoffen verbessern. Insbesondere der zunehmende Bedarf an automatisiertem Elektroschrott-Recycling als wesentliche Voraussetzung für die Bewältigung des schnell wachsenden Elektroschrott-Stroms kann mit KI-basierten Methoden unterstützt werden [13]. Durch intelligente Klassifizierung von Geräten wie beispielsweise von Smartphones können Elektrokleingeräte geeignet sortiert und einer produktspezifischen Verwertung zugeführt werden.

In einer im Circular Digital Economy Lab durchgeführten Studie konnte gezeigt werden, dass eine spezielle Technik der KI, das sogenannte Transfer-Lernen, Elektrokleingeräte geeignet klassifizieren kann [14]. Bei dieser Methode werden Künstliche Neuronale Netze (KNN) trainiert und zur sensordatenbasierten Klassifikation von Gegenständen verwendet. Dieser Ansatz benötigt typischerweise große Datenmengen, um die Variabilität vorhandener Daten abbilden zu können. Dieser große Datenhunger kann beispielsweise durch Web-Crawler Technologien unterstützt werden. Ein Web-Crawler durchforstet automatisiert das Internet und sucht nach geeigneten Daten, welche das Training der KNN für eine automatisierte Objektklassifikation unterstützen [14]. Bei einem Ansatz auf Basis von Transfer-Lernen wird alternativ auf vorhandenen vortrainierten KNN aufgebaut und ein Training neuer Objektklassen auch mit kleinen Datenmengen ermöglicht, ohne die Güte bei der Klassifizierung einzelner Bestandteile im Elektroschrott, wie beispielsweise Smartphones, signifikant zu verringern [15]. Diese Technologie kann einerseits genutzt werden, um die automatisierte Klassifizierung von anderen Gerätetypen zu unterstützen [16]. Andererseits kann Transfer-Lernen auch genutzt werden,

um Sensordaten anderer Sensoren in den Objektklassifikator zu integrieren, um gegebenenfalls nichtdestruktiv Bauteile innerhalb eines Elektrokleingeräts zu erkennen [16] oder diese spezifischer zu annotieren. Auf dem European Symposium on Artificial Neural Networks wurde beispielsweise eine Studie vorgestellt [17], welche das Potenzial des Transfer-Lernens bei der Vorhersage aufzeigt, ob in einem Röntgenbild eine Batterie erkennbar ist. Darüber hinaus wird gegebenenfalls die Position der Batterie innerhalb des Bildes lokalisiert und zusätzlich die Identifizierung von drei Batterietypen (prismatische, beutelartige und zylindrische Lithium-Ionen-Batterien) ermöglicht.

Fazit

Die beschriebenen Ansätze aus dem Themenfeld Digitalisierung und KI-basierter Methoden unterstützen das Ziel, beim Recycling zunehmend Rohstoffe aus Elektroschrott möglichst sortenrein zu extrahieren und als Sekundärrohstoffe dem Rohstoffkreislauf wieder zur Verfügung zu stellen. Mithilfe der beschriebenen Methoden kann das automatisierte Recycling unterstützt werden und so dem immer stärkeren Wachstum von Elektroschrott Rechnung getragen und können vorhandene Roh- beziehungsweise Wertstoffe in den Kreislauf geeignet zurückgeführt werden. Die Abhängigkeit von Preisschwankungen und Lieferengpässen zeitweise knapper Rohstoffe wird hierdurch verringert. ■



Prof. Dr. Uwe Handmann

Prof. Dr. Uwe Handmann ist Professor für Neuroinformatik. Er leitet das Institut für Informatik an der Hochschule Ruhr West. Weiterhin ist er erster Vorsitzender des Prospektoleg e. V. Seine Arbeitsschwerpunkte sind Forschung und Transfer in den Themenfeldern Digitalisierung und Künstliche Intelligenz. In diesem Zusammenhang liefert er Beiträge für die Wirtschaft und die Gesellschaft, insbesondere im Themenfeld Circular Economy.

Kontakt

Uwe.Handmann@hs-ruhr-west.de

www.handmann.net

Kurz und Bündig

Zirkuläre Ansätze bieten Lösungen zum Umgang mit zeitweise knappen Rohstoffen und reduzieren die Abhängigkeit von Preisschwankungen und Lieferengpässen. Die Nutzung von Sekundärrohstoffen ist dabei wesentlich. Zur Erhaltung des Materialwertes beim Recycling kommt es unter anderem auf eine möglichst sortenreine Trennung an. Innovative digitale Möglichkeiten der Objekterkennung können hier gewinnbringend eingesetzt werden.



Weitere Infos und Literaturangaben zum Artikel finden Sie unter folgendem Link: <https://bit.ly/3GCMUJG>

Sauber getrennt ist halb verwertet – Recycling mittels KI

Literaturverzeichnis:

- [1] Malthus, Thomas (1798): An Essay on the Principle of Population. An Essay on the Principle of Population, as it Affects the Future Improvement of Society with Remarks on the Speculations of Mr. Godwin, M. Condorcet, and Other Writers. London.
- [2] Meadows, Donella H.; Meadows, Dennis L.; Randers, Jorgen; Behrens III, William W. (1972): The limits to growth, A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind, New York: Universe Books.
- [3] Häring, Norbert (2012, Juli 13). Stimmt es, dass die Ökonomie vor allem das Problem der knappen Mittel lösen muss? Handelsblatt, S. 17
- [4] Schneidewind, Uwe; et al. (2018). Die Große Transformation. Eine Einführung in die Kunst gesellschaftlichen Wandels. Frankfurt a. M.: Fischer.
- [5] Gaitan S., Beatriz; Tol, Richard S. J.; Yetkiner, I. Hakan (2006): The Hotelling's Rule Revisited in a Dynamic General Equilibrium Model. Contribution to the International Conference on Human and Economic Resources. Izmir.
- [6] Hermandi, Carina; Dierke, Linda; Alscher, Stefan; Grundmann, Manuel; Irrek, Wolfgang (2022): Circular Economy in KMU – Konzept zur Initiierung, Einführung und Umsetzung. Prospektiven – Neues zur zirkulären Wertschöpfung 2022/02. Bottrop: Prosperkolleg e.V.
- [7] Potting, J.; Worrell, E.; Hekkert, M.P.: Circular Economy: Measuring innovation in the product chain. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague, 2017.
https://www.researchgate.net/publication/319314335_Circular_Economy_Measuring_innovation_in_the_product_chain/figures [23.01.2021].
- [8] Mast, Julian, Friederike von Unruh und Wolfgang Irrek (2022): R-Strategien und Innovation im Circular Economy Management. Unternehmerische Strategien der zirkulären Wertschöpfung. Prospektiven – Neues zur zirkulären Wertschöpfung 2022/04. Bottrop: Prosperkolleg e.V.
- [9] Lutter, Stephan; et al. (2022): Die Nutzung natürlicher Ressourcen. Ressourcenbericht für Deutschland 2022. Spezial: Rohstoffnutzung der Zukunft. Bericht der Wirtschaftsuniversität Wien (WU), des Instituts für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH (ifeu) und des Umweltbundesamtes (UBA), hrsg. vom Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- [10] Sander, Knut; et al. (2017): Recyclingpotenzial strategischer Metalle (ReStra), UBA-Texte 68/2017, Studie von Ökopol GmbH, Universität Bremen, Fraunhofer ISI, Wuppertal Institut, TU Darmstadt, INTECUS GmbH, UVR Fia und Universität Oldenburg im Auftrag des und hrsg. vom Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- [11] Duddek, Mike; Freitas Seabra da Rocha, Saulo H. (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.
- [12] 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.
- [13] N. Abou Baker and U. Handmann. E-Waste Recycling Gets Smarter with Digitalization. In 10th IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SUSTECH 2023), Portland, Oregon USA, 2023. IEEE.
- [14] Abou Baker, N., Stehr, J., Handmann, U. (2022). Transfer Learning Approach Towards a Smarter Recycling. In: Pimenidis, E., Angelov, P., Jayne, C., Papaleonidas, A., Aydin, M. (eds) Artificial Neural Networks and Machine Learning – ICANN 2022. ICANN 2022. Lecture Notes in Computer Science, vol 13529. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15919-0_57.
- [15] Abou Baker, N.; Zengeler, N.; Handmann, U. A Transfer Learning Evaluation of Deep Neural Networks for Image Classification. Mach. Learn. Knowl. Extr. 2022, 4, 22–41. <https://doi.org/10.3390/make4010002>.
- [16] N. Abou Baker and U. Handmann, „An Approach for Smart and cost-Efficient Automated E-Waste Recycling for Small to medium-Sized Devices Using multi-Sensors,“ 2022 IEEE Sensors, 2022, pp. 1–4, <https://doi.org/10.1109/SENSORS52175.2022.9967195>.
- [17] N. Abou Baker, D. Rohrschneider, and U. Handmann. Battery detection of xray images using transfer learning. In The 30th European Symposium on Artificial Neural Networks (ESANN 2022), pages 241–246, Bruges, Belgium, 2022, <http://dx.doi.org/10.14428/esann/2022.ES2022-60>.