

Von der Utopie einer Kreislaufwirtschaft

Interview mit Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Markus Reuter
(Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie HIF)

Interview mit Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Markus Reuter, Direktor am Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie, zur Recyclingfähigkeit von Mobiltelefonen, den Grenzen des Stoffkreislaufs und möglichen Strategien im Umgang mit immer komplexeren High-Tech-Produkten.

- Elektronische Produkte und anfallende Schrotte werden immer komplexer.
- Beim Recycling entstehen dadurch immer größere Materialverluste und es wird schwieriger, den Stoffkreislauf zu schließen.
- Bei vielen Elektronikartikeln ergibt sich eine Mixtur aus vielen wertvollen Metallen und zum Teil wertlosen Kunststoffgemischen, die das Recycling unwirtschaftlich macht.

Wie recycelbar ist ein Mobiltelefon? Dieser Frage haben sich der Smartphone-Hersteller Fairphone und ein Forscherteam des Helmholtz-Instituts Freiberg für Ressourcentechnologie – ein Institut am Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf – gestellt. Die Firma Fairphone gewährte den Freiburger Wissenschaftlern umfassende Einblicke in ihre Stück- und Materiallisten („Bill of Materials“ und „Full Material Declaration“), sodass mithilfe einer Simulationssoftware die möglichen Recyclingraten errechnet werden konnten. Das Ergebnis: Zwischen 30 und 40 Prozent der Materialien aus dem modular aufgebauten Fairphone 2 sind zurückgewinnbar. Die erstmals für ein Mobiltelefon durchgeführte Studie zeigt, dass sich ein spezielles „Design-for-Recycling“, also ein recyclingfreundliches Produktdesign, positiv auf die Wiederverwertbarkeit auswirkt. Ein Interview mit Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Markus Reuter, Direktor am Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie, zu simulationsbasiertem Design-for-Recycling sowie zu den Möglichkeiten und Grenzen der Kreislaufwirtschaft.

Herr Prof. Reuter, die Wahrnehmung in der Öffentlichkeit ist häufig: Jedes Produkt ist recycelbar, alles ist nur eine Frage des Willens und des Preises?

Prof. Reuter: Wenn sie ihr altes Mobiltelefon abgeben, dann erhoffen sich viele Menschen, dass daraus ein schönes Häufchen Schrott, Kunststoff und Metall entsteht, das sich leicht weiterverarbeiten lässt. Also, dass alles zu 100 Prozent recycelt wird. Tatsächlich ergibt sich aber eine Mixtur aus vielen wertvollen Metallen und zum Teil wertlosen Kunststoffgemischen, die das Recycling unwirtschaftlich macht. Wenn man mit solchen Materialmischen technologisch und umwelttechnisch nicht gut umgeht, bleibt die zirkuläre Wirtschaft ein leeres Wort. Je komplexer die Produkte werden, die wir benutzen – und dies ist nun einmal der Fall –, desto größer werden auch die Materialverluste beim Recycling. Folglich gerät die Wirtschaftlichkeit der Kreislaufwirtschaft ins Wanken.

Was ist physikalisch im Recycling überhaupt möglich? Können Sie uns vielleicht anhand des „Metal Wheel“ einige grundlegende Prinzipien erläutern?

Prof. Reuter: Die essentiellen Aussagen des „Metal Wheel“ (dt. Metallrad, Anm. d. Red.) sind relativ einfach: Wir brauchen bestimmte Hauptmetallurgie-Sparten, um überhaupt mit den vielfältigen Metallmischungen in modernen Produkten umgehen zu können. Ist zum Beispiel

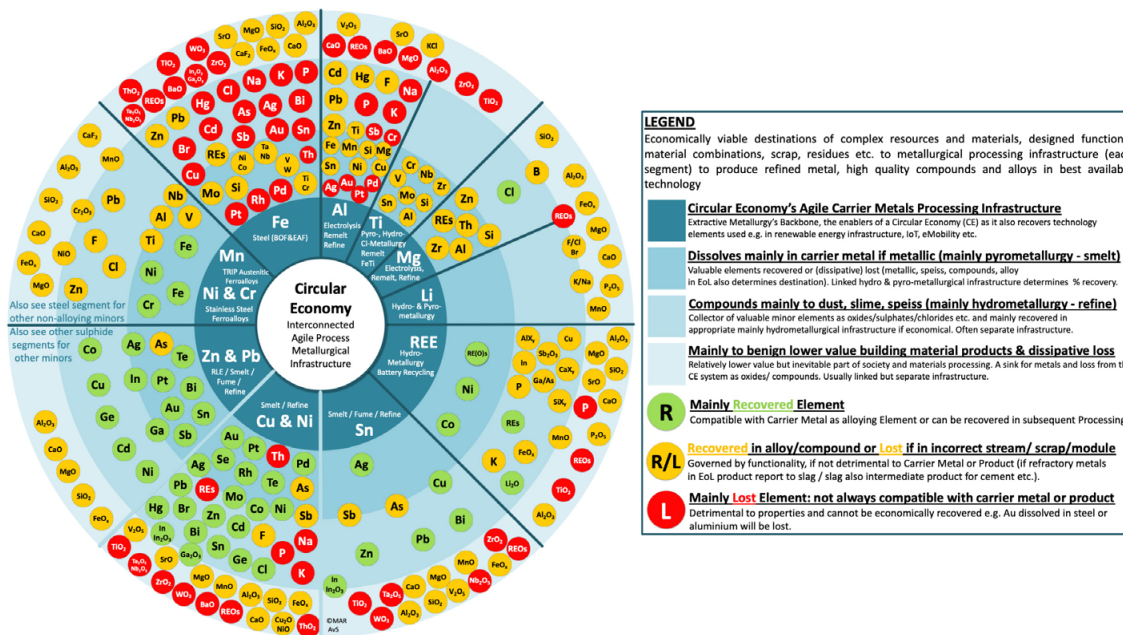


Abb.1: In der Natur und auch beim Recycling stehen die Metalle miteinander im Zusammenhang. Wäre ein Element nicht mehr vorhanden, hätte das folgenschwere Auswirkungen auf das ganze System der Metallproduktion. Das „Metal Wheel“ bzw. „Metallrad“ beschreibt diese Abhängigkeiten. Grafik: HZDR/ Markus Reuter

keine Kupfermetallurgie vorhanden, so wird es schwerer, Gold, Platin und andere Elemente wirtschaftlich zu gewinnen. Diese Substanzen sind chemisch ähnlich wie Kupfer, das für deren Gewinnung deshalb ein sogenanntes Trägermetall ist. Ohne die Kupfermetallurgie gingen viele Raffinationsmöglichkeiten verloren. Entsprechend kann man Metalle nicht einzeln betrachten, sondern muss sie im Zusammenhang mit den jeweiligen, in der Mischung vorhandenen Metallen sehen. Auch müssen wir Rohstoffe und Energie gemeinsam betrachten, da sie eng miteinander verknüpft sind. Im Diskurs zur Kreislaufwirtschaft geht es häufig nur um die Ressourcen, aber die Energie wird vergessen. Umgekehrt werden auch in der Energiediskussion oft die Rohstoffe ausgeklammert, die beispielsweise für die nachhaltigen Energieinfrastrukturen der Zukunft benötigt werden. Dabei kann nur eine ganzheitliche Perspektive den notwendigen Überblick verschaffen.

Ist das „Metal Wheel“ ein neues Instrument?

Prof. Reuter: Das „Metal Wheel“ hat bereits eine fünfundsingzigjährige Geschichte hinter sich. Damals wollte man Zink als toxisch ausweisen. Es ging darum, deutlich zu machen, dass sich das Metallrad ohne die gemeinsame Zink- und Bleimetallurgie sowie Technologieelemente wie Indium, Germanium, Silber usw. nicht drehen kann. Das hätte katastrophale Folgen. Denn ohne diese Metalle und die dazugehörigen metallurgischen Produktionsanlagen können wir nicht gut recyceln. Man kann sich das wie einen Fahrradreifen vorstellen, bei dem ein Stück fehlt: Das ganze Rad funktioniert dann nicht mehr. Heute gibt es Überlegungen im EU-Parlament, die Nutzung von Blei zu verbieten. Die European Chemical Agency hat das Metall im Juni 2018 auf die Liste der Stoffe von sehr hoher Bedenklichkeit gesetzt. Ein Verbot hätte jedoch immense Auswirkungen auf die Kreislaufwirtschaft, da Blei ein Lösungsmittel für andere Elemente ist. Mit einem Blei-Verbot würde eine ganze Infrastruktur verloren gehen, mit der Indium, Antimon, Bismut, Gold und andere Substanzen wiedergewonnen werden. Davon wäre dann auch

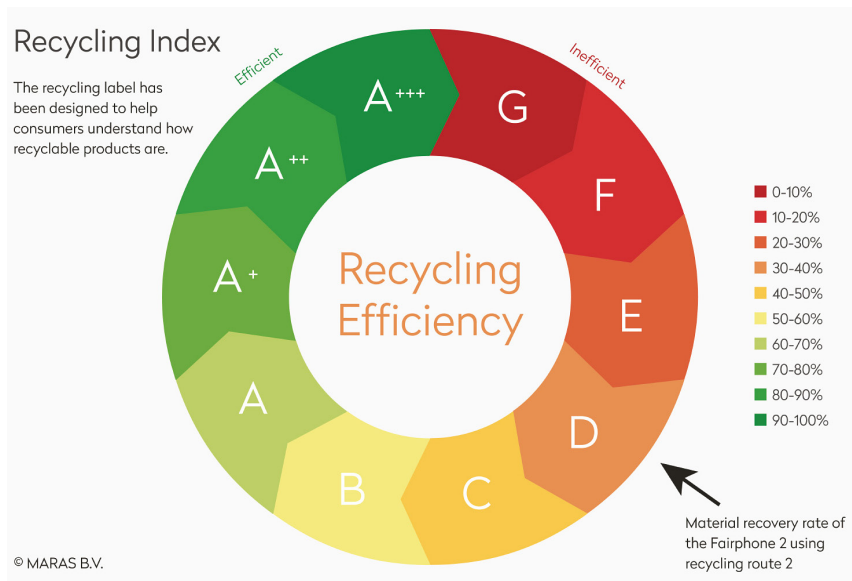


Abb. 2: Ein Recyclingsiegel könnte die Verbraucher ähnlich wie die Energieeffizienzklassen bei elektrischen Geräten über die tatsächliche Recyclingfähigkeit elektronischer Produkte informieren. Aus dem modular aufgebauten Fairphone 2 können zwischen 30 und 40 Prozent der Materialien zurückgewonnen werden, lautet das Ergebnis einer am Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF) durchgeführten Recyclingstudie.

Grafik: MARAS B.V. / Fairphone

das für die Elektromobilität unverzichtbare Element Kobalt betroffen, da die mit der Bleimetallurgie gekoppelte Zinkmetallurgie immer auch Kobalt in den Kreislauf bringt.

Was sind Ihre Sorgen?

Prof. Reuter: Die Politik könnte unwissentlich den Betrieb einiger metallurgischer Sparten unmöglich machen. Dann gäbe es nicht mehr die Vielfalt der vernetzten Prozessmetallurgie, um Metalle herzustellen oder aus komplexen Gemischen zurückzugewinnen. Wenn man dem Kreislauf auch nur ein einziges Element wie Blei entnimmt, gerät das Gesamtsystem in Gefahr, wie die Fahrrad-Metapher zeigt. Die großen E-Waste-Recycler in Europa – Umicore, Boliden und Aurubis – haben alle Blei im Kreislauf ihrer Betriebe. Wenn es in Europa keine Blei-Metallurgie mehr gibt, wird das Recycling wahrscheinlich woanders stattfinden, zum Beispiel in China. Dort ist bereits eine große metallurgische Prozessvielfalt mit zum Teil hochmodernen Anlagen vorhanden, mit der sich das Metallrad gut drehen lässt. Wir sollten sehr genau aufpassen, dass wir nicht über Kreislaufwirtschaft und Design-for-Recycling sprechen, während die dafür nötige Industrie langsam auswandert. Dabei könnte vor allem Deutschland aufgrund des hier vorhandenen, großen metallurgischen Wissens eine führende Position einnehmen.

Ist nicht auch in der Politik etwas falsch gelaufen?

Prof. Reuter: Vor allem in Deutschland hat das Cradle-to-Cradle-Konzept (Philosophie von der vollständigen Rückführung aller Nährstoffe und Ressourcen nach dem Gebrauch von Produkten in biologische und technologische Stoffkreisläufe, Anm. der Red.) sehr viel Aufmerksamkeit erhalten. Es vereinfacht allerdings den Energie- und Rohstoffkreislauf und bildet ihn nicht in seiner ganzen Komplexität ab, sodass es zu falschen Signalen an die Politik kommt. Vergangenes Jahr hat die deutsche Ressourcenforschung einen Verein gegründet, das „German Resource Research Institute (GERRI)“. Es geht darum, der Metallurgie eine deutliche Stimme zu geben und die technischen und ökonomischen Grenzen der Kreislaufwirtschaft zu quantifizieren.

Also sind wir weit weg von der Kreislaufwirtschaft?

Prof. Reuter: Die elektronischen Produkte und auch die anfallenden Schrotte werden immer komplexer. Beim Recycling entstehen dadurch immer größere Materialverluste und es wird schwieriger, den Stoffkreislauf zu schließen. Um die Grenzen des Recyclings und der Kreislaufwirtschaft begreifen zu können, ist vor allem eine systemische Betrachtung der Material-

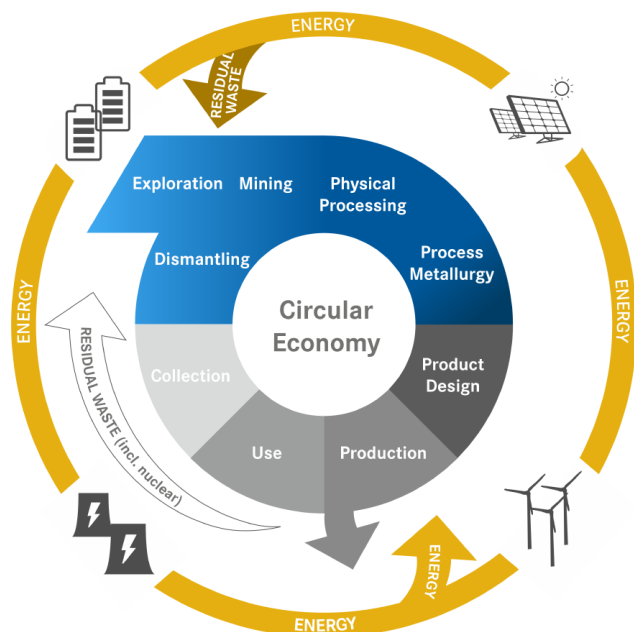


Abb. 3: Die Produktion von Rohstoffen kostet viel Energie. Umgekehrt werden für den Bau von Energiesystemen erhebliche Ressourcen benötigt. Rohstoff- und Energiekreisläufe müssen deshalb zusammen betrachtet werden. Nur dann kann man die Nachhaltigkeit von Kreislaufprozessen beurteilen. Grafik: HZDR

ströme und des Energieverbrauchs nötig. Im Prinzip müsste man bei jedem Gerät den gesamten Lebenszyklus in den Blick nehmen und fragen: Welche Materialien werden dafür benötigt? Welche Rückstände oder Abfälle entstehen? Wie viel Energie wird verbraucht? Durch entsprechende Informationen und ein zertifiziertes Recyclingsiegel könnte dann jeder Konsument beurteilen, inwieweit er zur Kreislaufwirtschaft beiträgt und auch, wie nachhaltig sein Lebensstil ist.

Welche Rolle hat das Produktdesign in diesem Prozess?

Prof. Reuter: Durch die funktionale Verknüpfung von Materialien in Produkten sind der Rückgewinnung Grenzen gesetzt. Das hat das Beispiel Fairphone gezeigt. Es hat aber auch demonstriert, dass eine modulare Bauweise die Recyclingfähigkeit verbessert. Die Frage ist nur, wie viele Module in einem Produkt den Verlust minimieren. Das Fairphone mit seinen sieben Modulen kann eine Recyclingrate zwischen 30 und 40 Prozent erzielen. Man kann also viel erreichen, wenn bei der Produktion der Smartphones die Rohstoffe so auf die Module verteilt werden, dass man am Ende die thermodynamisch und kinetisch bedingten Materialverluste in der Metallurgie verringert. Eine weitere wichtige Frage ist auch, wie stark man die Produkte

vor dem Recycling zerkleinert, da dies die Verluste erhöht. Wir sollten uns zudem bewusst sein, dass auch das Produktdesign nicht beliebig verändert werden kann. Letztlich kann man nur durch eine detaillierte simulationsbasierte Analyse, wie wir sie am Beispiel von Fairphone durchgeführt haben, das Optimum der wiederverwertbaren Materialien für jedes Gerät bestimmen und auf dieser Basis recyclingfreundliche Produkte entwickeln.

Was sagen Sie aus wissenschaftlicher Perspektive zu dem beim Fairphone verfolgten Ansatz? Ist das ein gelungener Versuch und Vorbild für die Elektronikbranche?

Prof. Reuter: Das Unternehmen kam auf uns zu und hat uns umfassende Einblicke in seine Stück- und Materialliste gegeben. Dadurch wissen wir genau, welches Material in dem Produkt mit welchem verklebt ist, welches Oxid, welche Legierung und welcher Kunststoff in dem Smartphone steckt und wie diese miteinander gekoppelt sind. Wenn man diese Informationstiefe hat, ist es relativ einfach, mithilfe von Prozesssimulationsmodellen zu berechnen, wie recycelbar ein Produkt wirklich ist. Eine derartige Betrachtung brauchen wir für die Zukunft. Dann können sich die Verbraucher besser informieren. Greenpeace hat unsere Recyclingstudie in seinen Bericht über nachhaltiges „Green Design“

aufgenommen und bewertet Fairphone als Vorreiter in der Elektronikbranche. Das Unternehmen ist mit gutem Beispiel vorangegangen, dem die größeren Konzerne nun folgen sollten.

Welche Motivation sollten die Original-Gerätehersteller haben, ihre Rezepturen preiszugeben? Was kann die Wissenschaft tun?

Prof. Reuter: Keiner kann ein Unternehmen dazu zwingen, die Stücklisten seiner Produkte offenzulegen. Dennoch verfügt jeder Hersteller über diese Listen, sodass die Verbindung zwischen den Designmodellen und unseren Prozesssimulationsmodellen im Grunde nur einen Mausklick auseinanderliegt. Jedes Produkt im Handel könnte also eine Recyclingkennzeichnung erhalten, vergleichbar mit den Energieeffizienzklassen für elektrische Geräte. Vielleicht ändert sich dann das Konsumverhalten.

Sie benutzen „HSC Sim“ für die Simulation. Wie funktioniert der Simulator? Was leistet er?

Prof. Reuter: Während meiner Tätigkeit in der Industrie bei dem Anlagenbauer Outotec haben wir die Softwareplattform „HSC Chemistry“ entwickelt und zur Konstruktion metallurgischer Anlagen sowie zur Steuerung und Optimierung von Prozessen eingesetzt. Prinzipiell kann man damit den Massen-, Energie- und Exergiefluss – in der modernen Metallurgie sind das die entscheidenden physikalischen Größen und Prozesse – in sehr großen Systemen bei beliebigen Produktdesigns bestimmen. Am Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie haben wir die Software so weiterentwickelt, dass man den ökologischen Fußabdruck von Produkten sowie den exergetischen Verlust bei der Verarbeitung verschiedenster metallischer und mineralischer Stoffe in unterschiedlichen metallurgischen Prozesssystemen simulieren kann. Des Weiteren arbeiten wir an innovativen Prozessmodellen und Datenstrukturen, mit denen sich die Systeme der Kreislaufwirtschaft abbilden lassen.

Wir können die Nutzung sowohl von primären natürlichen Rohstoffen als auch von Sekundärmaterialien aus ausgedienten Produkten betrachten und mit dem Produktdesign verknüpfen. Unsere Modelle stellen die Wege der ver-

wendeten metallischen und mineralischen Rohstoffe dar. Das Ergebnis sind komplexe Lebenszyklusanalysen. Die Material-, Energie- und Exergieflüsse in der Kreislaufwirtschaft können wir mit der Software schon relativ gut abbilden.

Wo liegen die Vorteile der Software gegenüber bisherigen Verfahrensweisen?

Prof. Reuter: Obwohl die Software kommerziell verfügbar ist, greifen die meisten Akteure weiterhin auf vergleichsweise unpräzise Materialflussanalysen zurück, um zu bewerten, wie kreislauffähig ein Produktdesign oder ein System ist. Solche Materialflussanalysen sind aber viel zu grob und können die Systeme nicht im Detail darstellen und evaluieren, zum Beispiel im Hinblick auf Exergieflüsse. Um eine Kreislaufwirtschaft zu beschreiben, die viele Milliarden Euro wert ist, muss man genauer vorgehen. Also müssen Methoden genutzt werden, die ökonomisch haltbare Zahlen liefern, auf deren Grundlage dann die Wirtschaftlichkeit von Systemen bestimmt werden kann. Solche Methoden werden schon lange im Bereich Prozess-Engineering eingesetzt, allerdings noch nicht im Produktdesign und da müssen wir hinkommen.

Warum werden immer noch Materialflussanalysen verwendet?

Prof. Reuter: Das ist eine lange Geschichte. Recycling ist aus der Abfallindustrie hervorgegangen. Man hat sich die groben Ströme von Glas, Stahl, Aluminium usw. angeschaut und die Modelle waren entsprechend einfach. Die Welt hat sich jedoch verändert. Die abbaubaren Erze wurden immer komplexer und damit wurden auch immer mehr Verunreinigungen in den Kreislauf gebracht. In der Primärindustrie ist sehr wohl bekannt, dass man damit gut umgehen muss und in der Verantwortung steht, Metalle wie Arsen oder Quecksilber auf eine umwelttechnisch vertretbare Weise aus dem System herauszuschleusen. Im Recycling haben wir es heutzutage ebenfalls mit Nebenelementen, Vermischungen, Verbindungen und Verklebungen zu tun. Dabei geht es insbesondere um die Technologieelemente, die nur in geringen Mengen vorhanden sind.

Warum wird heute nach wie vor eher traditionell an das Thema herangegangen?

Prof. Reuter: Es reicht heute nicht mehr, wie zuvor beschrieben, die groben Ströme zu betrachten. Wichtig sind auch die Technologieelemente, die die moderne Gesellschaft antreiben. Also Kobalt, Nickel, Lithium, Indium, Germanium und dergleichen. Das Kreislaufsystem ist sehr viel komplexer und detaillierter geworden und kann im Prinzip nur noch mithilfe von metallurgischer Simulationssoftware beschrieben werden. Wir haben eine renommierte Community, die an den Universitäten dieser Welt immer noch diese Materialflussanalysen lehrt. Die Community der Prozessmetallurgen wird hingegen immer kleiner. In Zukunft, wenn wir von Kreislaufwirtschaft sprechen wollen, müssen wir mit den Nebenelementen umgehen. Hier kommt es dann sehr stark auf detailgenaues Fachwissen und die Erfahrung aus der Industrie an.

Zum Abschluss noch eine Frage: Wie sieht es mit alten Bergbauhalden aus, können wir diese reaktivieren?

Prof. Reuter: Meine erste Aufgabe in der Industrie vor fast 40 Jahren war es, eine Anlage zur Gewinnung von Gold aus den Halden der südafrikanischen Goldbergwerke zu betreiben. Wenn es sich wirtschaftlich lohnt, dann können Halden wertvoll werden. Das Thema Remining ist also immer aktuell. Natürlich brauchen wir dafür eine entsprechende Prozessmetallurgie und es muss sich wirtschaftlich auszahlen.

Herr Prof. Dr. Reuter, wir danken für das Gespräch.

Das Interview führten Jana Kandarr und Oliver Jorzik (ESKP), November 2018

Referenzen

- Abadias-Llamasa, A., Delgadoc, A. V., Capilla, A. V., Cuadrac, C. T., Hultgren, M., Peltomäki, M., Roine, A., Stelter, M. & Reuter, M. A. (2019). Simulation-based exergy, thermo-economic and environmental footprint analysis of primary copper production. *Minerals Engineering*, 131, 51-65. doi:[10.1016/j.mineng.2018.11.007](https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.11.007)
- Cook, G. & Jardim, E. (2017, 17. Oktober). *Guide to Greener Electronics 2017* (Greenpeace Report) [www.greenpeace.org]. Washington, D.C.: Greenpeace Inc.
- Reuter, M. A. (2016). Digitalizing the Circular Economy. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 47, 3194–3220. doi:[10.1007/s11663-016-0735-5](https://doi.org/10.1007/s11663-016-0735-5)
- Reuter, M. A., van Schaik, A., Gutzmer, J., Bartie, N. & Abadias-Llamasa, A. (2019). Challenges of the Circular Economy: A Material, Metallurgical, and Product Design Perspective. *Annual Review of Materials Research*, 49, 253-274. doi:[10.1146/annurev-matsci-070218-010057](https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-070218-010057)

Lesetipps

- How recyclable is the Fairphone 2? (2017, 27. Februar). [www.fairphone.com]. Aufgerufen am 09.11.2018.
- UNEP. (2013). Metal Recycling: *Opportunities, Limits, Infrastructure. A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel* (Reuter, M. A., Hudson, C., van Schaik, A., Heiskanen, K., Meskers, C. & Hagelüken, C.) [www.resourcepanel.org]. Paris: United Nations Environment Programme Division of Technology, Industry and Economics.

Impressum

Herausgeber

Helmholtz-Zentrum Potsdam,
Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ
Telegrafenberg
14473 Potsdam

Redaktion

Jana Kandarr
Oliver Jorzik

Layout

Pia Klinghammer

E-Mail: redaktion-eskp@gfz-potsdam.de

Alle Artikel sind auch im Internet abrufbar:

<https://themenspezial.eskp.de/rohstoffe-in-der-tiefsee/inhalt-937105/>

Stand: Dezember 2018

Heft-DOI: <https://doi.org/10.2312/eskp.2018.2>

Zitiervorschlag:

Jorzik, O., Kandarr, J. & Klinghammer, P. (2018). *ESKP-Themenspezial Rohstoffe in der Tiefsee. Metalle aus dem Meer für unsere High-Tech-Gesellschaft*. Potsdam: Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ. doi: 10.2312/eskp.2018.2

Einzelartikel:

[Autor*innen]. (2020). [Beitragstitel]. In O. Jorzik, J. Kandarr & P. Klinghammer (Hrsg.), *ESKP-Themenspezial Rohstoffe in der Tiefsee. Metalle aus dem Meer für unsere High-Tech-Gesellschaft*. Potsdam: Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ. doi:[DOI]

Die Verantwortung für die Inhalte der Einzelbeiträge der vorliegenden Publikation liegt bei den jeweiligen Autorinnen und Autoren.



Text, Fotos und Grafiken soweit nicht andere Lizenzen betroffen:
eskp.de | [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)