

# Wie kann man Seltene Erden nachhaltiger (zurück)gewinnen?

Selten Erd Elemente (SEE), häufig auch als Seltene Erden bezeichnet, werden für zahlreiche Technologien benötigt und spielen eine wichtige Rolle in der Energiewende. Sie sind nicht annähernd so selten, wie ihr Name glauben macht, aber ihre Gewinnung ist problematisch und die Rückgewinnung bislang schwierig. Doch das soll sich nachhaltig ändern.

von Prof. Dr. Lena Daumann und  
Dr. Franziska Lederer

Es hat über 200 Jahre gedauert: Von der Entdeckung der ersten Selten Erd Elemente (SEE) bis zu deren Anwendung verging viel Zeit. Heute sind SEE nicht mehr aus unserem Alltag und vor allem nicht mehr aus modernen Technologien und der nachhaltigen Energiegewinnung wegzudenken.

Doch wie jeder andere Rohstoff müssen diese Elemente auch irgendwoher kommen. Zwar sind die geschätzten weltweiten Vorkommen an SEE genug, um einen momentanen jährlichen Bedarf von etwa 180.000 Tonnen für die kommenden Jahrhunderte abzudecken, jedoch werden diese Elemente von der Europäischen Union als kritisch eingestuft. Man verlässt sich hierzulande noch vollständig auf Importe. Es ginge aber auch anders. Die Europäische Union plant die Verabschiedung eines Gesetzes, welches die Verpflichtung zum Einsatz eines gewissen Anteils an Rohstoffen aus Europa in Neuprodukten festlegt. Dies wird durch die Erschließung heimi-

scher Rohstoffquellen beispielsweise in Schweden, welches die größte SEE Lagerstätte in Europa besitzt, sowie durch die Stärkung von Recyclingverfahren möglich.

Der Abbau der Elemente und deren Aufreinigung ist außerdem problematisch (wie das auch für viele andere Metalle der Fall ist). Zum einen kommen SEE in Mineralen vergesellschaftet mit den beiden natürlich vorkommenden radioaktiven Actinoiden Uran und Thorium vor. Daher produziert der Abbau von SEE auch immer große Mengen radioaktiver Abfälle. Sie sind außerdem eine Gruppe von chemisch sehr ähnlichen Elementen, die sich daher nur sehr schwer voneinander trennen lassen. Und oft findet man sie zwar überall, doch nur feinverteilt und der Abbau ist wenig lohnend. Viele Reinigungs- und Trennschritte sind notwendig, um Elemente wie Neodym oder Dysprosium, die beispielsweise für die Magnetherstellung unerlässlich sind, in ausreichender Reinheit zu erhalten.

Doch nicht nur wir Menschen ‚brauchen‘ diese Elemente. Seit 2014 weiß man, dass es Bakterien gibt, die SEE zum Leben brauchen, und inzwischen auch, dass diese Organismen in der Natur weitverbreitet sind. Solche Bakterien finden sich auf Blättern, im Boden, im Meerwasser, Vulkanschlammpfützen und anderen ökologischen Lebensräumen. Methylophile Bakterien nutzen C<sub>1</sub>-Kohlenstoffverbindungen wie Methanol und Methan für ihren Energiestoffwechsel. Ein wichtiger Schritt in diesem Metabolismus in Bakterien ist die Oxidation von Methanol zu Formaldehyd durch das Enzym Methanoldehydrogenase (MDH). Für ein halbes Jahrhundert waren nur MDH-Enzyme bekannt, die Kalzium im aktiven Zentrum verwendeten. Eine Studie der niederländischen Mikrobiologen Arjan Pol und Huub Op den Camp fand jedoch heraus, dass es in vielen Bakterien MDH-Enzyme gibt, welche stattdessen SEE binden und für die Methanoloxidation nutzen.

Wie hilft uns nun die Erkenntnis weiter, dass Bakterien SEE nutzen? Zum einen hat sich gezeigt, dass Bakterien bestimmte SEE präferieren, sie sortieren also quasi die Elemente ganz automatisch. Und sie machen

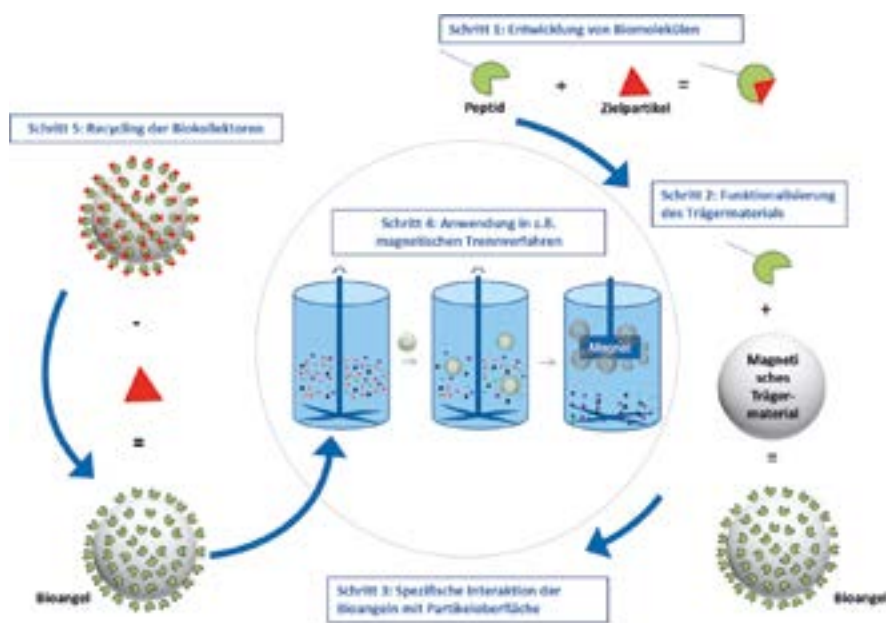


Abbildung 1. SEE und ihre Anwendungen in Transport, Hightech, Kommunikation, Medizin und Landwirtschaft.



Abbildung 2. In der Natur gibt es Bakterien die SEE nutzen. Deren Bindungsmechanismen kann man sich beim Recycling zunutze machen.

GRAFIKEN: SOPHIE GUTENTHALER

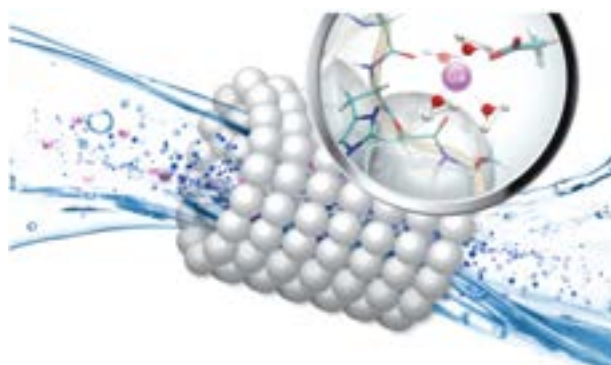


**Abbildung 3. Illustration der Entwicklung und Nutzung von Bioangeln zur Trennung SEE-haltiger Partikel aus Elektroschrott.**

GRAFIK: HZDR/LEDERER

dabei auch nicht vor unnatürlichen SEE-Quellen halt: Sie können alte Neodym-Magneten oder Leuchtstoffpulver nutzen, um ihren SEE Bedarf zu decken. Manche der Bakterien sind Extremophile, sie kommen mit hohen Temperaturen (60 °C) und sehr niedrigen pH-Werten (einer sauren Umgebung) klar. Zudem ist es möglich, diese Bakterien zu verändern, damit sie bestimmte SEE bevorzugen, z. B. Gadolinium.

Dieses Element wird weltweit bei der Magnetresonanztomographie (MRT) in Kontrastmitteln eingesetzt. Die Gadoliniumgehalte in unseren Gewässern steigen dadurch rapide, da die Kontrastmittel oft nicht von Kläranlagen zurückgehalten werden. Cecilia Martinez-Gomez an der University of California, Berkeley, konnte jedoch kürzlich zeigen, dass ein Bakterium (*Methylobacterium extorquens AM1*) durch Evolution im Labor darauf trainiert werden kann, sich mit Vorliebe Gadolinium herauszupicken. Doch nicht nur die Bakterien können genutzt werden, um SEE selektiv aus Abwässern, Elektroschrott und Co zu filtern, sondern auch die von ihnen verwendeten Biomoleküle. Die Natur hat hier im Laufe der Evolution Moleküle hervorgebracht, die SEE sehr fest und sehr selektiv binden können. Da gibt es zum Beispiel das Protein Lanmo-



**Abbildung 4. Peptidfunktionalisierter Filter zur Gewinnung von Gallium-Ionen aus industriellem Abwasser.**

GRAFIK: HZDR/SAHNEWEISS

dulin, das aus dem Bakterium *Methylobacterium extorquens AM1* isoliert wurde und eine millionenfach höhere Selektivität zeigt für SEE im Vergleich zu Kalzium. Aber weil große Proteine zuweilen etwas unpraktisch sind für die Anwendung, sind kleinere Moleküle manchmal besser. Deswegen gibt es Bestrebungen, kleinere Liganden (Moleküle, die Metalle binden) zu synthetisieren oder zu isolieren und zu nutzen, die von der Natur inspiriert (bioinspiriert) sind.

Eine solche Idee verfolgen auch Forscher in Dresden. Hier werden SEE-haltige Elektroschrottteilchen, beispielsweise Leuchtstoffe aus Energiesparlampen, gezielt mithilfe von Biomolekülen aus einem Gemisch verschiedener Teilchenarten getrennt. Diese Biomoleküle wurden über eine Methode gefunden, die sich ‚Phage Surface Display‘ nennt. Im Jahr 2018

erhielt deren Erfinder George P. Smith dafür den Chemienobelpreis. Mit dieser Methode ist es möglich, für jedes denkbare Material – seien es reine Metallpartikel, reines Plastik, bestimmte Metallionen, Krebszellen oder das HI-Virus – passende und bindende Biomoleküle zu finden. Im Falle der Dresdner Forscher werden die gefundenen Biomoleküle, auch Peptide genannt, an magnetische Nanopartikel als sogenannte Bioangeln oder, je nach Zielmaterial, an Filtermaterialien gehängt. In magnetischen Trennprozessen oder Filtrationsprozessen werden SEE-haltige Partikel oder SEE-Ionen gezielt aus einem Gemisch mit verschiedenen Materialien gefischt.

Fazit: Die Gewinnung von SEE mithilfe von Biomolekülen ist aktuell nur im Labor möglich. Noch ist ihre Herstellung zu kostspielig. Immer mehr biotechnologische und interdisziplinäre Konzepte fokussieren den Einsatz von Biomolekülen. Ihr Einsatz im Bergbau und im klassischen Recycling ist noch Zukunftsmusik, aber der große Bedarf, nachhaltiger zu arbeiten und Materialien dauerhaft im Kreislauf zu halten, ebnet inzwischen auch Wege hinein in die Industrie. Biomoleküle zur Ressourcen(rück)gewinnung werden die Chemie der Zukunft erheblich mitbestimmen. ◀

## Quellen

de.euronews.com/my-europe/2022/09/27/bauxit-lithium-seltene-erden-brussel-will-nicht-in-eine-rohstofffalle-tappen

Rare Earth Chemistry, De Gruyter 2020, Herausgegeben von: Rainer Pöttgen, Thomas Jüstel und Cristian A. Strassert, In der Reihe De Gruyter STEM, www.doi.org/10.1515/9783110654929

Bérénice Jahn, Lena Daumann, Die faszinierende bioorganische Chemie der Selten-Erd-Elemente: Weder Erden noch selten, Chemie in unserer Zeit 2018, www.doi.org/10.1002/ciuz.201700800

## Autorinnen

Dr. Franziska Lederer leitet seit 2018 die Nachwuchsforscherguppe BioKollekt am Helmholtz Institut Freiberg für Ressourcentechnologie des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf. Als gelernte Biologin kombiniert sie in ihrem multidisziplinären Forschungsfeld Genetik, Chemie, Bioinformatik, Materialwissenschaften und Verfahrenstechnik, um neue Prozesse zur Rückgewinnung von SEE aus Elektroschrott zu entwickeln.

Prof. Dr. Lena Daumann ist derzeit Professorin für Bioorganische und Koordinationschemie an der Ludwig-Maximilians-Universität in München. Ihre Arbeitsgruppe untersucht die biologische Rolle von SEE, um zukünftig eine nachhaltigere Nutzung dieser Elemente zu ermöglichen. 2020 erhielt sie den Starting Grant ‚Lanthanophore‘ des European Research Council zur Untersuchung der Aufnahme von SEE durch Bakterien.