



Benjamin Monneron-Enaud
2012–2016 Master in Bioverfahrenstechnik an der Polytech Nantes, Frankreich. 2016–2018 Projekttechniker im Unternehmen Lumila, Frankreich. Seit 2018 Promotionsstudent an der TU Bergakademie Freiberg.

DOI: 10.1007/s12268-021-1551-2
© Der Autor 2021

■ Mikroorganismen und ihre Rolle sowie Anwendungen im Bergbau stehen im Fokus unserer Forschung. Wir untersuchen Bakterien und Archaeen, um das Entstehen von Umweltproblemen nachvollziehen zu können, wie z. B. saure Bergbauwässer. Dieses Wissen erlaubt uns die Entwicklung biotechnologischer Verfahren zur Gewinnung und zum Recycling von Metallen.

Bakterien können Sulfidminerale auflösen, wie verschiedene Kupfersulfide oder Pyrit (FeS_2). Dieser Bereich der Biotechnologie wird als Biohydrometallurgie bezeichnet. Hauptakteure sind schwefeloxidierende und eisenoxidierende Mikroorganismen, die Schwefelverbindungen oder Eisen, z. B. $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, S^0 , Fe^{2+} , als Elektronendonoren nutzen. Die entsprechenden Organismen sind acidophil und machen sich den Protonengradienten zwischen der sauren Lösung und ihrem Cytoplasma zu Nutze, um ATP zu produzieren. Für die Biolaugung, also die Gewinnung von Metallen durch Auflösung von Mineralien, werden eisenoxidierende Bakterien eingesetzt, die Fe^{3+} produzieren. Fe^{3+} ist ein starkes Oxidationsmittel, das Mineralien und Metalle korrodieren kann. Schwefeloxidierende Bakterien werden eingesetzt, um Schwefelsäure zu produzieren und damit den pH-Wert niedrig zu halten. Dies ist für die Löslichkeit von Eisen(III)-Ionen und vielen Metallionen notwendig. Die Kupferproduktion mittels Biolaugung macht etwa 15 Prozent der Weltproduktion aus [1].

In jüngerer Zeit wurde mittels Biolaugung versucht, das Problem des Elektronikschrottrecyclings anzugehen. Wertvolle und strategische Metalle, die in Elektronik-Altgeräten enthalten sind, können durch Laugung mit anschließender Gewinnung aus der wässrigen Phase recycelt werden. Das Hauptpro-



◀ **Abb. 1:** Leiterplatte nach 20 Tagen in der bakteriellen Biodismantling-Lösung, bereit für den weiteren Prozess der Metallrückgewinnung (links) – im Vergleich zum Original (rechts).

Nachwuchswissenschaftler/innen stellen sich vor

Bakterien helfen beim Recycling von Elektronikschrott

BENJAMIN MONNERON-ENAUD, JULIUS KRAMER
ARBEITSGRUPPE MIKROBIOLOGIE, TU BERGAKADEMIE FREIBERG

blem von Altgeräten bzw. Leiterplatten ist deren Komplexität und die Vielfalt ihrer Zusammensetzung. Das Zerkleinern der Abfälle ist eine logische Konsequenz, um ein homogenes Material zur weiteren Verarbeitung zu erhalten. Allerdings werden dadurch einige spezifische Metalle, die in den elektronischen Komponenten der Leiterplatten konzentriert sind, während des Zerkleinerungsprozesses verdünnt. Dies führt zu sehr geringen Konzentrationen, die dann nicht mehr zurückgewonnen werden können [2]. Um dieses Problem zu umgehen, ist ein Abtrennen der elektronischen Bauteile von den Leiterplatten notwendig. Dazu muss das Lötzin, das die Bauteile mit der Platine verbindet, entfernt werden. Unser Team konnte kürzlich zeigen, dass Bakterien unter Biolaugungsbedingungen in der Lage sind, Lötzin zu oxidieren und die Komponenten in einem neuen Prozess, den wir „Biodismantling“ nannten, freizulegen [3].

Für unser Experiment stellten wir eine Eisenlösung (20 mmol/l) her und impften diese mit einer Mischkultur bestehend aus verschiedenen Bakterien, dominiert von *Acidithiobacillus ferrooxidans*, an. Die Bakterien nutzen das Eisen II als Energiequelle und oxidieren es dabei zu Eisen III. Nach der vollständigen Oxidation des Eisens nach etwa zwei Tagen werden die Leiterplatten hinzugegeben. Eisen III kann als starkes Oxidationsmittel Lötzin in Lösung bringen und wird dabei selber wieder zu Eisen II reduziert. Durch das selektive Entfernen des Lötzins fallen nach etwa 20 Tagen die Komponenten von der Leiterplatte ab und können gezielt recycelt werden. Die Rolle der eisenoxidierenden Bakterien ist es, das Eisen II wieder zu regenerieren, sodass es erneut zum Lösen des Lötzins zur Verfügung steht. Das Experiment zeigte sowohl durch die Biolaugung als auch durch die abiotische Positivkontrolle mit Eisen III ein fast vollständiges Ablösen der Komponenten von der Leiterplatte.

Kombiniert mit einer geeigneten Auftrennung ermöglicht das Biodismantling die Rückgewinnung von Metallen wie Dysprosium aus keramischem Mehrschichtkondensatoren oder Ruthenium aus Dünnschichtwiderständen.

Bei diesen Ressourcen handelt es sich um kritische Materialien, die ohne diese Behandlung nicht zurückgewonnen werden könnten. Daher wird die Leiterplatte auf eine vollständigere Art und Weise recycelt, was sie kompatibler mit einer Kreislaufwirtschaft macht.

Schließlich bringt der biotechnologische Ansatz aufgrund der niedrigen Betriebstemperatur von 30 °C auch eine höhere Energieeffizienz mit sich.

Biodismantling ist ein neues Konzept und hat noch einen langen Weg vor sich, bevor es in die Recyclingindustrie integriert werden kann, aber zusammen mit anderen Biotechnologien bringt es Hoffnung für eine Zukunft, in der die Schonung von Ressourcen durch Recycling an oberster Stelle steht.

Danksagung

Die Autoren danken der Erich-Krüger-Stiftung für die großzügige finanzielle Unterstützung. ■

Literatur

- [1] Johnson DB (2014) Biomining – biotechnologies for extracting and recovering metals from ores and waste materials. *Curr Opin Biotechnol* 30: 24–31
- [2] Ueberschar M (2017) Assessing recycling strategies for critical raw materials in waste electrical and electronic equipment. PhD Thesis, Technische Universität Berlin, Berlin, Germany. <http://dx.doi.org/10.14279/depositonnce-6156>
- [3] Monneron-Enaud B, Wiche O, Schlömann M (2020) Biodismantling, a novel application of bioleaching in recycling of electronic wastes. *Recycling* 5: 22

Funding note: Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.
Open Access: Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden. Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen. Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Korrespondenzautor:

Benjamin Monneron-Enaud
Institut für Biowissenschaften
TU Bergakademie Freiberg
Leipziger Straße 29
D-09599 Freiberg
benjamin.monneron@ioez.tu-freiberg.de
<https://tu-freiberg.de/fakultaet2/bio/mitarbeiter/der-umweltmikrobiologie>