

# GMIT

91 · März 2023 | ISSN 1616-3931 | [www.gmit-online.de](http://www.gmit-online.de)

Geowissenschaftliche  
Mitteilungen



## GEOfokus

### Zwischen Scylla und Charybdis

Die Rolle von Recycling und Primärrohstoffen am Beispiel von Kupfer und Lithium



# GEOfokus



## **Zwischen Scylla und Charybdis Die Rolle von Recycling und Primär- rohstoffen am Beispiel von Kupfer und Lithium**

Mehrphasiger Pegmatit-Gang mit frühem, weißem Feldspat und späterem Lepidolith (blassviolett), intrudiert in Quarz-Glimmer-Schiefer im Tagebau der C57-Mine in Nordportugal (Foto: G. Borg).

# Zwischen Scylla und Charybdis

## Die Rolle von Recycling und Primärrohstoffen am Beispiel von Kupfer und Lithium

Gregor Borg | Deutsches Lithiuminstitut GmbH – ITEL und Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

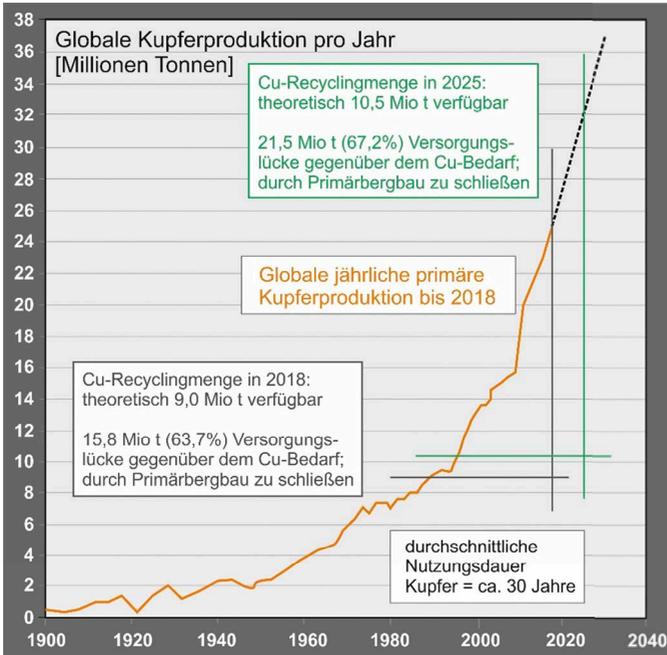
„Das geht doch alles nicht schnell genug!“ ist von vielen besorgten Menschen im Hinblick auf Gegenmaßnahmen zur Klimaerwärmung zu hören; darunter sind besonders viele ungeduldige junge Menschen, die sich verständlicherweise ernsthafte Sorgen um ihre Zukunft machen. Dabei ist die Notwendigkeit zu handeln inzwischen bei fast allen Akteuren in Politik, Industrie, Wirtschaft und allgemein in den Gesellschaften der Welt angekommen.

Zusätzlich haben sich die Probleme, die Weltbevölkerung nachhaltig mit Energie zur Lebensfürsorge und Mobilität zu versorgen, durch den russischen Angriffskrieg gegen die Ukraine seit neuestem nochmals drastisch verstärkt und sind für uns alle täglich spürbar geworden. Was stark variiert, sind allerdings die verschiedenen Rezepte, mit denen gegen die Klimaerwärmung und hin zu einem fundamentalen Systemwandel, d. h. weg von fossilen Energieträgern und hin zu erneuerbaren Energien und zu neuartigen Speichermöglichkeiten, vorgegangen werden soll.

Die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien, die ganz überwiegend Solarstrom, Wasser- und Windenergie sowie Energie aus Biomasse umfassen, ist im Prinzip unstrittig, bedarf aber der zügigen technischen Umsetzung sowohl in der Energiegewinnung als auch im Einsatz der Energie für Wärme, Antriebe aller Art und dabei insbesondere der E-Mobilität und der Energiespeicherung in Batteriesystemen. Die neuen und zum Teil auch neuartigen Anlagen und Antriebe für all diese Nutzungen sind derzeit in (Weiter-)Entwicklung und auch schon in Produktion. Es verwundert eigentlich nicht, dass die Fertigung

solcher Systeme metallische und mineralische Rohstoffe benötigt, auch wenn dies nicht allen Akteuren bewusst zu sein scheint.

Wir stellen allerdings derzeit fest, dass die notwendigen Materialien nicht in ausreichenden Mengen bzw. zu wirtschaftlichen Preisen verfügbar sind bzw. mit zukünftigen Materialengpässen zu rechnen ist oder diese schon eingetreten sind. Dabei kommt erschwerend hinzu, dass ein voll elektrischer Pkw mehr als die vierfache Menge an Kupfer benötigt (70 kg Cu), verglichen mit einem Fahrzeug mit Verbrennungsmotor (17 kg Cu). Zudem ist bei der Produktion erneuerbarer Energien wie Wind-, Wasser- und Solarenergie die Nutzungsintensität von Kupfer zwei- bis viermal so groß (3,0–6,5 t Cu pro MW) wie bei Gas- oder Kohlekraftwerken (1,5–1,7 t Cu pro MW); von der noch geringeren Nutzungsintensität von Kernkraftwerken (1,3 t Cu pro MW) ganz zu schweigen. Es verwundert also wenig, dass der Bedarf an Energie- und Batterie-Rohstoffen, wie zum Beispiel Kupfer, Kobalt, Nickel, Graphit, Neodym und anderen Seltenen Erden, aber insbesondere der Bedarf an Lithium, in letzter Zeit sehr stark gestiegen ist und in naher Zukunft weiter exponentiell steigen wird.



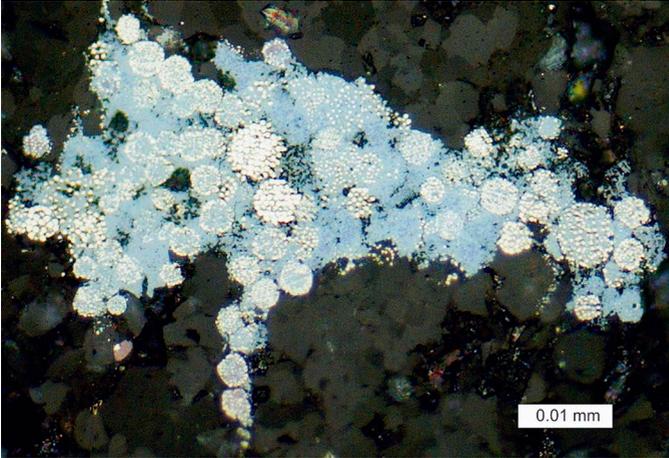
**Abb. 1:** Jährliche Kupferproduktion in Mio. Tonnen (orangefarbene Linie von 1900 bis 2018) mit Vorwärtsprojektion des Verbrauchs ins Jahr 2025 bei konservativer Annahme eines gleichbleibenden Nutzungszuwachses (die globale Elektrifizierung des Verkehrs und der Umstieg auf erneuerbare Energien ist dabei erst teilweise bzw. nicht berücksichtigt). Bei einer Nutzungsdauer von 30 Jahren ergibt sich trotz angenommener 100%iger Recyclingrate eine Versorgungslücke im Jahr 2025 von über 67 %, die durch Primärerze geschlossen werden muss (Daten aus: U.S. Geological Survey (2010) und zur Verfügung gestellt durch Deutsches Kupferinstitut Betriebsverband e. V.).

Bei knappen Energiemetallen ist das Recycling dieser wertvollen Materialien eine absolute Notwendigkeit. Namhafte Berater der Bundesregierung haben bereits vor über zehn Jahren mit eingängigen Slogans das Ziel „100 Prozent erneuerbare Energie und 100%iges Recycling“ postuliert. Dieses charmante und vermeintlich überzeugende Ziel bzw. der Weg dorthin sind aber in der Realität viel komplexer. Wir sind in einigen Ländern bereits auf einem guten Weg, uns in Richtung einer weitgehenden Versorgung mit erneuerbarer Energie zu entwickeln. Vielen Ländern muss hierbei aber noch umfangreich Hilfestellung gegeben werden.

Völlig anders und überhaupt nicht rosig sieht es jedoch derzeit und zukünftig bei der Beschaffung der notwendigen Energiemetalle aus und der Begriff des „100%igen Recyclings“ ist hierbei höchst irreführend und sogar kontraproduktiv. Rezykliert werden kann nämlich nur, was bereits in Anlagen, Infrastruktur, Geräten, Gebäuden oder in anderer Form existiert und vor allem, was nicht mehr genutzt wird. Eine

Prozentangabe des Recyclings kann nur ausdrücken, wie groß der Anteil des zum Recycling erfassten Materials ist; diese Menge ist aber zunächst unabhängig von den derzeit oder gar zukünftig benötigten Materialmengen. Zudem muss neben der physischen Verfügbarkeit das Recycling eines Stoffes auch technisch machbar sein und ökonomisch wie ökologisch eine positive Bilanz aufweisen, um Sinn zu ergeben. Dies soll nachfolgend anhand von zwei Energiemetallen skizziert werden.

Kupfer gehört zu den kritischen Energiemetallen aufgrund seiner äußerst vielfältigen Einsatzmöglichkeiten und -mengen. Sowohl der Bedarf als auch die Produktion von Kupfer stiegen seit Jahrzehnten stetig und zuletzt exponentiell an (Abb. 1). Die durchschnittliche Nutzungsdauer von Kupfer, z. B. als Stromkabel in Gebäuden oder Fahrzeugen beträgt ca. 25 bis 30 Jahre, erst nach dieser Nutzung steht das Kupfer für ein Recycling wieder zur Verfügung. Dies bedeutet, dass wir selbst bei optimalen Erfassungsquoten des Kupfers nur maximal die Menge an Kupfer



**Abb. 2:** Mikroskopisches Auflichtfoto von Kupfervererzung in bituminösen Mergeln des basalen Zechstein aus dem Mansfelder Bergbaurevier. Frühdiagenetische Framboidalpyrite sind teilweise bis vollständig von epigenetischem Chalkosin verdrängt worden. Auf ähnliche Erze wird derzeit in NW-Thüringen sowie in der Lausitz exploriert (Foto: S. Meißner in Borg et al. 2012).

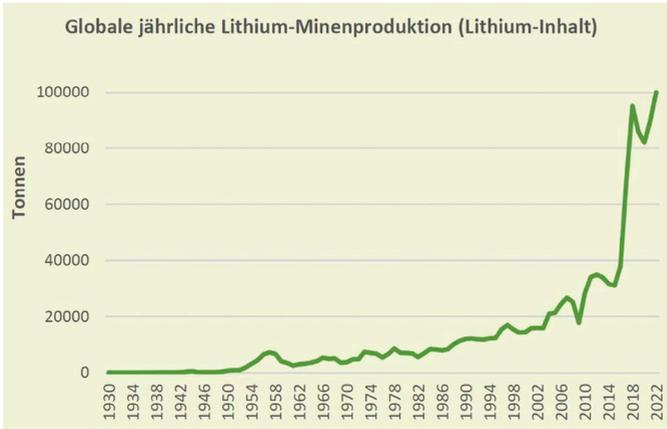
recyklieren können, die vor 25 bis 30 Jahren verbaut oder montiert worden ist. Die theoretisch erfassbare Menge ist dabei substantiell geringer als die Menge, die wir derzeit industriell benötigen, es besteht also eine Versorgungslücke, die ausschließlich durch Kupfer aus Primärquellen, d.h. bergmännisch gewonnenen Erzen, geschlossen werden kann. Steigende Bedarfe, wie wir sie durch den Umstieg auf erneuerbare Energien und E-Mobilität erleben, vergrößern diese Lücke drastisch (Abb. 1).

Da mit der nur vordergründig beruhigenden Ankündigung von „100%igem Recycling“ eine Scheinlösung angeboten wurde und teilweise immer noch wird, konnte sich zugleich die Ansicht, dass der Bergbau von Primärerzen schmutzig, umweltschädlich, allgemein nicht mehr zeitgemäß und damit unerwünscht sei, in weiten Teilen der Bevölkerung festsetzen. Der Widerstand gegen Bergbauprojekte wächst inzwischen global stetig (Conde 2017) – meist in völliger Verdrängung des o. g. Versorgungs dilemmas.

Zum Glück besteht kein wirklicher Mangel an geologischen Kupfervorräten in Form von neuen Lagerstätten, diese müssen aber erkundet und die notwendigen Bergwerke und Aufbereitungsanlagen genehmigt, geplant, technisch umgesetzt und betrieben werden.

So wird schon seit kurzem mit modernsten geophysikalischen und geologischen Erkundungsmethoden ein höffiges Gebiet in Nordwest-Thüringen von der Firma *Kupfer Copper Germany GmbH* unter maßgeblicher Beteiligung des internationalen Bergbaukonzerns *Anglo American plc* auf Kupfer-Blei-Zink-Erze im Bereich des Kupferschiefers exploriert. Die erwarteten Erze sind dabei vergleichbar mit der Buntmetallvererzung an der Grenze von Unterem und Oberem Perm, die sich über Bereiche der liegenden Grauliegend-Sandsteine, den bituminösen Kupferschiefer *sensu stricto* sowie die hangenden Mergel (Abb. 2) und Karbonate des Unteren Zechsteins in Sangerhausen, Mansfeld, Spremberg-Weißwasser sowie im westlichen Polen findet (Borg et al. 2012). Die Firma *Kupferschiefer Lausitz GmbH* exploriert schon seit mehreren Jahren derartige Vererzungen im Raum Spremberg (Kopp et al. 2022). Der aktive Kupferbergbau in Polen erkundet und erschließt derzeit tiefere Lagerstättenbereiche in nordwestlicher Fortsetzung der präsudetischen Monokline (Oszczepalski et al. 2019).

Für das noch weitaus spannendere Energiemetall Lithium sieht die Lage noch viel drastischer aus (Abb. 3). Lithium wurde über sehr lange Zeit nur in kleinen Mengen verwendet, so z. B. als Flussmittel in der keramischen Industrie, in



**Abb. 3:** Jährliche globale Lithium-Minenproduktion von 1930 bis 2022. Bei einer Verwendungsdauer des Lithiums von zehn Jahren in Fahrzeugbatterien ergibt sich durch den exponentiell steigenden Bedarf selbst bei 100%igem Recycling eine immense Deckungslücke, die nur durch primäre Lithiumrohstoffe (Solen und Erze) gedeckt werden kann (ICMLR & BGR 2016, Garside 2021, U.S. Geological Survey 2022).

Kleinbatterien (AAA und AA) und in sehr kleinen Mengen als wichtiges Pharmazeutikum. Der Lithiumpreis war dabei so gering, dass sich die Entwicklung und der Betrieb von skalierbaren Recyclingverfahren und -anlagen wirtschaftlich nicht lohnten. Taschenlampenbatterien wurden zwar in vielen Ländern „brav“ in Sammelsystemen erfasst, danach aber nicht einer Wiederverwendung des Lithiums zugeführt. Die moderne Lithium-Batterieproduktion deckt derzeit ihren Bedarf nahezu vollständig aus Lithium, das aus Solen (Li-brines) in Südamerika und inzwischen auch in China gewonnen wird, sowie aus bergmännisch gewonnenen Lithium-Erzen, die überwiegend Spodumen ( $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ ), Lepidolith ( $\text{K}(\text{Li},\text{Al})_3(\text{F},\text{OH})_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}]$ ) oder Zinnwaldit ( $\text{K}(\text{Fe}^{2+},\text{Al},\text{Li},\square)_3[(\text{OH},\text{F})_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}]$ ) als silikatische oder hydro-silikatische Lithiumträgerminerale enthalten. Ein eher kleineres Beispiel für den aktiven Abbau pegmatitischer Lepidolith-Erze ist die C57-Mine in Portugal (Abb. 4 und Abb. 5). Im deutschen und tschechischen Erzgebirge liegt die grenzüberschreitende Lithium-Zinn-Lagerstätte Zinnwald/Cinovec, die derzeit von den Firmen *Deutsche Lithium GmbH* im deutschen Teil sowie *GEOMET s.r.o.* im tschechischen Teil erkundet wird (Abb. 6 und Abb. 7). Als durchschnittliche Dauer eines Erstnutungszyklus kann bei Lithium in Batterien von ca. 10 Jahren ausgegangen werden. Es wird zudem diskutiert, diese Nutzungsdauer durch mögli-

che Zweitnutungsanwendungen deutlich zu verlängern. Diese nachhaltige Weiternutzung könnte darin bestehen, dass ausgemusterte Fahrzeugbatterien gebündelt zur allgemeinen Energiespeicherung weitergenutzt werden könnten, was diese Batterien einem Recycling weiter vorenthalten würde. Derzeit fallen zum Batterierecycling hauptsächlich Fehlproduktionen oder Batterien aus Unfallfahrzeugen an (Abb. 8). Bei einer Nutzungsdauer von über zehn Jahren kann aus logischen Gründen nur die damals verwendete Lithiummenge einem Recycling zugeführt werden. Die exponentielle Bedarfssteigerung an Lithium führt zukünftig dazu, dass sich die Versorgungslücke ebenfalls exponentiell ausweitet (Abb. 3). Da voraussichtlich erst in 20 oder mehr Jahren substantielle Lithiummengen aus Batterien zum Recycling zur Verfügung stehen, ergibt sich als logische Folgerung, dass die notwendigen Mengen an Lithium auf absehbare Zeit weiter aus Primärquellen gewonnen werden müssen. Ob dabei die Gewinnung aus Sole oder Erzen die am wenigsten umweltschädliche Weise ist, muss dringend erforscht und bewertet werden; weiterhin sind die notwendigen Regularien und Gewinnungsmethoden zu entwickeln. Die Deutsche Rohstoffagentur (DERA) geht in ihrer Einschätzung „Ergebnisse der Rohstoffrisikobewertung Lithium“ vom Juni 2022 davon aus, dass die (primäre) Lithiumförderung in den kommenden



**Abb. 4:** Multiphasige Pegmatitgänge mit Feldspäten (weiß) und Lepidolith (grau-pink) durchschlagen Glimmerschiefer im Tagebau der C57-Mine in Nordportugal. Die Mine wird von der Fa. Pegmatitica – Sociedade Mineira de Pegmatites Ltda., betrieben (Foto: G. Borg).



**Abb. 5:** Lepidolith (violett), Feldspat (weiß) und Quarz (grau) im pegmatitischen Lithiumerz der C57-Mine in Nordportugal. (Foto G. Borg)

Jahren um den Faktor 4–7 ausgebaut werden muss (DERA 2022). Gleichzeitig müssen innovative Recyclingverfahren entwickelt und im Industriemaßstab umgesetzt werden, damit eine möglichst große Annäherung an das besagte „100%ige“ Recycling umgesetzt werden kann.

Was ist also zu tun, um dem Vorwurf zu begegnen, zu wenig, zu langsam zu agieren und auf alte Technik zu setzen? Dies ist selbstverständlich die dringend notwendige Entwicklung und Markteinführung von industriell skalierbaren Recyclinglösungen für Lithiumbatterien mit möglichst vollständig im Kreislauf geführten

Stoffströmen und Wertschöpfungsketten. Flankierend müssen absehbar die notwendige Exploration und der Abbau primärer Lithiumvorkommen möglichst minimalinvasiv gestaltet werden, und auch hier ist durch Nachnutzung möglichst vieler Nebenprodukte eine „zero waste“-Philosophie anzustreben. Für die mineralischen Rohstoffe und letztlich die gesamten Wertschöpfungsketten sind zudem Lieferkettennachweise zu entwickeln, was die Forschung vor ganz erhebliche Herausforderungen stellt.

Europaweit passiert viel, um Versorgungslücken der europäischen Industrie zu vermeiden



**Abb. 6:** Explorationskernbohrungen der Firma *Deutsche Lithium GmbH* im Erzgebirge bei Zinnwald. Ziel der Erkundung ist der deutsche Teil der Zinnwaldit-Vererzung in Form von Quarz-Zinnwaldit-Glimmer-Greisen und Adern (Foto: G. Borg).



**Abb. 7:** Untertägige grobkristalline Zinnwaldit-Vererzung in subhorizontalen Adern (oberer Bereich) sowie in mittelkristallinen Greisen (unterer Bereich) in den zugänglichen Teilen der Grube Zinnwald (Foto: G. Borg)

und diese ausreichend mit Energiemetallen für die Zukunftstechnologien zu versorgen, ohne neue fatale Abhängigkeiten entstehen zu lassen. So hat die Präsidentin der Europäischen Kommission die Erarbeitung und Verabschiedung eines „European Critical Raw Materials Act“ angekündigt. Sinngemäß sagte sie in ihrer Rede vor dem Europäischen Parlament, dass die europäische Absicht, der erste klimaneutrale Kontinent zu werden, ohne einen sicheren und nachhaltigen Zugang zu den notwendigen (mineralischen) Rohstoffen in Gefahr sei. Das *European Institute of Innovation and Technology*

fördert bereits mit seiner EIT-Raw-Materials-Initiative viele Forschungs- und Entwicklungsprogramme zur Aufsuchung, Gewinnung und nachhaltigen Nutzung europäischer mineralischer Rohstoffvorkommen. Von Untätigkeit kann also nicht die Rede sein, zumal diese Programme insbesondere den – zurecht manchmal ungeduldigen – wissenschaftlichen Nachwuchs fördern und damit das notwendige Know-how für Europas Zukunft schaffen, an dem es derzeit massiv mangelt.

Um sich nicht metaphorisch zwischen Scylla (dem fehlenden Li-Recycling) und Charybdis



**Abb. 8:** Schadhafte Lithium-Ionen-Pkw-Batterie, die zum Recycling vorbereitet wurde. Derzeit werden nahezu ausschließlich Fehlproduktionen oder Akkus aus Unfallfahrzeugen recycelt, da der überwiegende Teil der Lithium-Ionen-Batterien ihren Nutzungszyklus noch nicht vollendet hat (Foto: G. Borg).

(schmutzigem Bergbau) entscheiden zu müssen, ist es notwendig, sich verstärkt um die Erforschung und Entwicklung von Lithium-Recyclingverfahren zu kümmern als auch den Herausforderungen und Aufgaben, die sich aus der Verwendung primärer Lithiumerze ergeben, zu widmen. Wer sich in der deutschen und europäischen Forschungslandschaft umsieht, kann feststellen, dass hier die Zukunft längst begonnen hat, auch wenn die einzelnen Arbeitsschritte im Gelände und Labor nicht immer so schnell sind, wie sich das mancher wünschen würde. Neben der Forschung zur Methodenentwicklung ist aber auch ein politischer und gesellschaftlicher Diskurs notwendig, in dem offen ausgesprochen wird, was für die Implementierung der Zukunftstechnologien der erneuerbaren Energien und der E-Mobilität in den kommenden zwei bis drei Jahrzehnten notwendig ist, nämlich erhebliche Mengen an Primärrohstoffen. Dies als eine „ewig gestrige“ Meinung abzutun, wird in absehbarer Zeit zu neuen Konflikten führen, deren Ausgang aus heutiger Sicht weitgehend offen sein dürfte.

Neben den notwendigen Primär- wie auch Sekundärrohstoffen für neue Energieversorgungs- und Mobilitätslösungen besteht aber auch ein immenser und stark wachsender Bedarf an dem entsprechenden Know-how. Dieser

Bedarf besteht auf den Gebieten der Batterietechnik, der hydro- und pyrometallurgischen Recyclingtechniken wie auch auf dem Gebiet der mineralischen Rohstoffwissenschaften. Den geowissenschaftlichen und insbesondere mineralisch-rohstoffwissenschaftlichen Universitäts- und Forschungsstandorten kommt daher für die Ausbildung des qualifizierten Nachwuchses eine Schlüsselrolle zu. Neben den universitären und etablierten außeruniversitären Forschungseinrichtungen, die auf dem Gebiet der strategischen mineralischen Rohstoffe forschen und ausbilden, wurde kürzlich von Firmen des deutschen Mittelstandes die *Deutsche Lithiuminstitut GmbH (ITEL, Institute for Technologies and Economics of Lithium; www.lithiuminstitut.com)* in Halle (Saale) gegründet. Das ITEL ist inzwischen zu einem An-Institut der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg ernannt worden und widmet sich der industrienahen Erforschung von ökonomischen, technischen und rohstoffgeologischen Fragestellungen, die einen direkten Bezug zu Lithium und seinen Rohstoffen und Recyclingverfahren haben, aber auch zu indirekten Wertschöpfungsketten, die sich durch die Nutzung von Nebenprodukten der Lithiumkonversion von Erzkonzentraten zu Lithiumsalzen ergeben. Dies umfasst unter anderem alumosilikatische

Reststoffe und Gipse aus der Prozessierung der Spodumen-, Lepidolith- oder Zinnwalditerze.

Der ungeduldige Vorwurf „Das geht doch alles nicht schnell genug!“ lässt sich sicher nicht so leicht für jeden entkräften, allerdings passiert in der deutschen, europäischen und globalen Forschungslandschaft schon sehr viel, um die Konversion zu Zukunftstechnologien möglichst schnell, aber auch nachhaltig zu gestalten. Der

geowissenschaftlichen „Community“ kommt dabei eine entscheidende Rolle zu, sie nimmt sie derzeit vielerorts und auf vielfältige Weise wahr und bildet zudem den wissenschaftlichen Nachwuchs aus, der heute und in Zukunft dringend gebraucht wird.

Ob sich Scylla und Charybdis geowissenschaftlich, technisch und sozioökonomisch zähmen lassen, wird sich zeigen, es bleibt spannend.

## Quellen

- Borg, G., Piestrzyński, A., Bachmann, G., Püttmann, W., Walther, S. & Fiedler, M. (2012): An Overview of the European Kupferschiefer Deposits. – *Economic Geology, Spec. Publ.* 16, 455–486.
- ICMLR & BGR (2016): Supply and Demand of Lithium and Gallium. – Information Center of Ministry of Land and Resources (ICMLR), Beijing, China und Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) Hannover, Germany. Autoren: Rongguo, C., Juan, G., Liwen, Y., Huy, D. & Liedtke, M., Hannover, 50 S.
- Conde, M. (2017): Resistance to Mining – A Review. *Ecological Economics* 132, 80–90.
- DERA (2022): DERA stellt Ergebnisse der Rohstoffrisikobewertung Lithium vor: Hohe Angebotskonzentration bei Lithium – Schlüsselrohstoff und limitierender Faktor für die Verkehrswende und Speicherung regenerativer Energien. – Deutsche Rohstoffagentur, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Pressemitteilung Berlin 24.6.2022.
- Garside, M. (2021): Global Lithium Mine Production 2010–2020. – Statista. [www.statista.com/statistics/606684/world-production-of-lithium](http://www.statista.com/statistics/606684/world-production-of-lithium).
- Kopp, J. C. (2022): Kupfer-Silber-Lagerstätten im basalen Zechstein (Kupferschiefer und -mergel; Oberes Perm) zwischen Leszczyna (Nordsudetische Mulde, Polen) und Spremberg (Lausitz, Deutschland). – Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften 97, 267 S.
- Oszczepalski, S., Speczik, S., Zielinski, K. & Chmielewski, A. (2019): The Kupferschiefer Deposits and Prospects in SW Poland: Past, Present and Future. – *Minerals* 2019(9), 592; doi:10.3390/min9100592.
- U.S. Geological Survey (2010): Copper statistics. – In Kelly, T.D., & Matos, G.R., comps., *Historical statistics for mineral and material commodities in the United States: U.S. Geological Survey Data Series* 140.
- U.S. Geological Survey (2022): Lithium. – *Mineral Commodity Summaries* 2022, 100–101.

## Kontakt

**Gregor Borg**  
 ITEL – Deutsches Lithiuminstitut GmbH  
 Leipziger Straße 70  
 06108 Halle (Saale)  
 —  
[gregor.borg@lithiuminstitut.de](mailto:gregor.borg@lithiuminstitut.de)

**Gregor Borg**  
 Institut für Geowissenschaften und Geographie  
 Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
 Von-Seckendorff-Platz 3



Tektonisch vertikal verstelltes vulkanogenes Massivsulfiderz der Neves-Corvo-Lagerstätte im Süden Portugals. Die Neves Corvo Mine ist Teil des iberischen Pyritgürtels und eines der bedeutendsten Kupferbergwerke Europas. Deutlich sichtbar sind das chalcopyritreiche (goldgelb, Mitte und rechts) und das bornitreiche (violett, links) Erz (Foto: G. Borg).