

Innovative Technologien für Ressourceneffizienz
Forschung zur Bereitstellung
wirtschaftsstrategischer Rohstoffe (r⁴)

ZWISCHENERGEBNISSE

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



FONA

Ressourceneffizienz

BMBF



**Innovative Technologien
für Ressourceneffizienz**

Bereitstellung wirtschafts-
strategischer Rohstoffe

Innovative Technologien für Ressourceneffizienz

Forschung zur Bereitstellung
wirtschaftsstrategischer Rohstoffe (r⁴)

ZWISCHENERGEBNISSE

Die BMBF-Fördermaßnahme

Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Forschung zur Bereitstellung wirtschaftsstrategischer Rohstoffe (r⁴)

ROHSTOFFBASIS FÜR ZUKUNFTSTECHNOLOGIEN SICHERN

Zukunftstechnologien bauen auf Hightech-Ressourcen: Auf Indium, Gallium und Seltene Erden ebenso wie auf Antimon, Wolfram und andere wirtschaftsstrategische Rohstoffe. Kein Handy, kein Computer und keine Windkraftanlage funktioniert ohne sie. Diese gefragten Hightech-Metalle sind knapp; teils bestimmen monopolartige Abhängigkeiten den Weltmarkt. Die Liste entsprechender Rohstoffe mit kritischer Versorgungslage ist lang und die Importabhängigkeit Deutschlands groß.

DEN HIGHTECH-STANDORT DEUTSCHLAND STÄRKEN

Vor diesem Hintergrund hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Jahr 2012 das Forschungs- und Entwicklungsprogramm „Wirtschaftsstrategische Rohstoffe für den Hightech-Standort Deutschland“ für neue Rohstofftechnologien aufgelegt. Dieses wird durch die Fördermaßnahme „Innovative Technologien für Ressourceneffizienz - Forschung zur Bereitstellung wirtschaftsstrategischer Rohstoffe (r⁴)“ (2015-2019) konkretisiert. Ziel ist es, das Angebot an primären und sekundären wirtschaftsstrategischen Rohstoffen durch Forschung und Entwicklung zu erhöhen. Die stabile Rohstoffversorgung schafft eine nachhaltige Basis für den Wohlstand der Industrienation Deutschland.

Insgesamt 40 in r⁴ geförderte Forschungsverbände, gebildet aus führenden Wissenschaftlern und namhaften Industrievertretern auf diesem Gebiet, entwickeln gemeinsam Technologien, mit denen sich Indium, Gallium und Co. umweltgerecht gewinnen beziehungsweise recyceln lassen.

PRAXISNAHE FORSCHUNG

Gefördert werden weiterhin Nachwuchsgruppen herausragender junger Wissenschaftler und das Netzwerk GERRI (German Resource Research Institute) zur Stärkung der deutschen Rohstofftechnologieforschung im internationalen Wettbewerb. In früheren Forschungsmaßnahmen bewährt, zielt auch das aktuelle Integrations- und Transfer-

projekt r⁴-INTRA umsetzungsorientiert auf die Effizienzsteigerung der Fördermaßnahme.

r⁴ ist ein Beitrag des BMBF zum Programm „Forschung für Nachhaltige Entwicklung“ (FONA), zur Leitinitiative „Green Economy“ und zur Hightech-Strategie der Bundesregierung.

PROJEKTCLUSTER

Primärrohstoffe

- **Suche und Erkundung von Primärrohstoffen**

Moderne Explorationsmethoden, verbunden mit steigendem Bedarf an wirtschaftsstrategischen Metallen für die Hightech-Industrie, rücken die klassischen deutschen Erzlagerstätten im Erzgebirge, Harz, Schwarzwald oder Siegerland wieder in den Fokus wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Interesses. Niedrige Metallpreise, Umweltaspekte, sinkende Metallgehalte in den Erzkörpern und zunehmende Abbautiefen führten Anfang der 1990er Jahre zur Einstellung des Erzbergbaus in Deutschland und zum Ende weiterer Erkundungen. r⁴ bewertet die heimischen Rohstoffpotenziale neu. Dieses geschieht auf der Grundlage vorhandener Lagerstättenkenntnisse, kombiniert mit weiterentwickelten Methoden und Modellen. Schwerpunkte liegen dabei unter anderem auf der Tiefensondierung von Lagerstätten sowie auf der Erforschung bisher wenig berücksichtigter Anreicherungen wirtschaftsstrategischer Metalle.

- **Gewinnung und Aufbereitung von Primärrohstoffen**

Bergbau ist material- und kostenintensiv. Moderne, ressourceneffiziente Gewinnungs- und Aufbereitungsverfahren sind daher entscheidende wirtschaftliche Voraussetzungen im internationalen Primärrohstoffabbau.

In r⁴ werden neue Verfahren und Konzepte zur hochselektiven Gewinnung sowie zur Automatisierung von Prozessabläufen erforscht und bestehende Aufbereitungsverfahren weiterentwickelt. Besondere Bedeutung kommt der Erschlie-

ßung polymetallischer Indium-Wolfram-Zinn-Komplexerze in Sachsen zu, die bislang wegen ihrer feinkörnigen Verwachsung der Minerale als nicht aufbereitbar gelten. Mengenmäßig handelt es sich um Vorkommen im Weltmaßstab. Hier eröffnet r⁴ neue Perspektiven mit internationaler Reichweite. Ziel ist es auch die Sicherheit im Bergbau weiter zu optimieren und die Umweltverträglichkeit im Sinne der Nachhaltigkeit zu erhöhen. Eine Verbesserung dieser Faktoren stärkt zudem die öffentliche Akzeptanz für die Rohstoffgewinnung.

Sekundärrohstoffe

- **Rückgewinnung von Sekundärrohstoffen**

Aus „Abfall“ wird Rohstoff. Aufbereitungs- und Produktionsrückstände können erhebliche Mengen an wirtschaftsstrategischen Rohstoffen enthalten.

Deutschland blickt auf eine lange Bergbau- und Hüttentradition zurück. Ein Erbe sind zahlreiche sekundärrohstoffhaltige Ablagerungen, die heute teils bedeutende Rohstoffquellen darstellen. Als Aufbereitungsrückstände lagern beispielsweise in den Bergteichen des Erzbergwerks Rammelsberg in Goslar – fein verteilt im Schlamm – Analysen zufolge circa 30-50 Tonnen Indium. Daneben finden sich Kobalt, Gallium und weitere wertvolle Stoffe.

Gegenwärtig anfallende produktionsspezifische Abfälle mit entsprechenden Metallen bilden vielerorts ungenutzte Ressourcen. Diese gilt es zu erschließen: Aktuell beträgt allein in deutschen Müllverbrennungsanlagen das jährliche Abfallaufkommen circa 130.000 Tonnen Flugasche. Enthaltene Zinn, Kupfer, Gallium, Germanium und Wolfram werden mit deponiert.

Beim Recycling von Autoabgaskatalysatoren entstehen weltweit in großen Mengen Schmelzrückstände. Diese Schlacken enthalten die katalytisch wirksamen Platingruppen-Metalle sowie Seltene Erden wie Cer und Lanthan.

- **Kreislaufführung von Altprodukten**

Elektroaltgeräte und Elektronikschrott als End-of-Life-Abfall enthalten in meist geringer Konzentration eine Vielzahl strategisch wichtiger Rohstoffe. In Computerchips finden sich bis zu 60 chemische Elemente. Weniger als ein Prozent davon werden aktuell zurückgewonnen und wiederverwertet.

PROJEKTCLUSTER	BETEILIGTE VERBUNDPROJEKTE
Suche und Erkundung von Primärrohstoffen	DESMEX GEM HiTEM HTMET MinNoBeck REEMAP ResErVar WISTAMERZ
Gewinnung und Aufbereitung von Primärrohstoffen	AFK ELIZE OptiWiM SEEsand SE-FLECX SEM ² UPNS4D+
Rückgewinnung von Sekundärrohstoffen	ARGOS BiRec EcoGalN ELEXSA GRAPHIT 2.0 Lan-Tex MetalSens MinSEM REWITA SESAM Theisenschlamm TransTech VAFLOW
Kreislaufführung von Altprodukten	AddResources AgREE DIBRAS gagendta+ MEXEM NeW-Bat SEMAREC
Flankierende Maßnahmen	r ⁴ -INTRA GERRI BakSolEx GORmin GRAMM

Hier besteht klarer Handlungsbedarf. Durch die Entwicklung geeigneter Verfahren im Rahmen von r⁴ soll das Recycling strategisch wertvoller Elemente deutlich erhöht werden. Komplexes Produktdesign, unterschiedliche Materialien und Beschichtungen erfordern bei der Demontage und Trennung kreative Lösungen. Das Recycling von Neodym aus Magneten und die Rückgewinnung von Silber aus Elektrolyseelektroden sind Beispiele dieses r⁴-Forschungsschwerpunktes. Kreislaufführung senkt die Abhängigkeit von Rohstoffimporten, begrenzt den Verbrauch natürlicher Ressourcen, ist klimafreundlicher und schont somit die Umwelt. Sekundäre Reststoffe sind die „Lagerstätten“ der Zukunft, wobei Kreisläufe durch das direkte Recycling anfallender Altprodukte geschlossen werden.

QUERSCHNITTSTHEMEN

- **Förderung von Nachwuchsgruppen**

Nachwuchswissenschaftlern bietet die BMBF-Fördermaßnahme r⁴ ein Forum, sich kreativ mit dem Thema „Ressourceneffizienz und wirtschaftsstrategische Rohstoffe“ zu befassen. Die Hochschule Pforzheim begleitet die Jungforscher. Eine Idee der Begleitforschung und erfolgreiches Ergebnis der BMBF-Nachwuchsförderung ist die Kongress-Reihe „24h für Ressourceneffizienz“.

- **GERRI (German Resource Research Institute)**

Ein nationales Netzwerk der Expertise im Bereich metallischer und mineralischer Rohstoffe baut das r⁴-geförderte Projekt German Resource Research Institute (GERRI) auf. Es stimmt die Aktivitäten der deutschen Rohstoffforschung ab und agiert besonders als Schnittstelle zur EIT KIC – Raw Materials (European Institute of Innovation & Technology – Knowledge and Innovation Community), einer europäischen Wissensgemeinschaft im Bereich Rohstoffe.

INTEGRATIONS- UND TRANSFERPROJEKT r⁴-INTRA

Aufgabe des Integrations- und Transferprojekts r⁴-INTRA ist es zu vernetzen, die Innovationskraft der r⁴-Verbundprojekte in Hinblick auf ihre industrielle Umsetzung zu stärken und die Ergebnisse zu kommunizieren. Dies geschieht über branchen-, technologie- und themenorientiertes Clustern der Einzelprojekte und breit gefächerte Öffentlichkeitsarbeit. Fachliche Synergien werden gebündelt und Handlungsempfehlungen gegeben.

Federführend sind in r⁴-INTRA das CUTEC Clausthaler Umwelttechnik Forschungszentrum der TU Clausthal und zugleich Verbundkoordinator, das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI sowie die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Beteiligt sind zudem das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und die Hochschule Pforzheim (HSPF).

Zwischenergebnisse der 40 innerhalb r⁴ vom BMBF geförderten Verbundprojekte werden nachfolgend dargestellt. Es zeichnen sich bereits spannende und richtungsweisende Entwicklungen ab, die Versorgungssituation des High-tech-Standortes Deutschlands mit wirtschaftsstrategischen Rohstoffen nachhaltig zu verbessern.

Kontakt

Prof. Dr. Daniel Goldmann (Verbundkoordinator r⁴-INTRA), Dr. Torsten Zeller, CUTEC Clausthaler Umwelttechnik Forschungszentrum, Clausthal-Zellerfeld, Tel. +49 5323 933-206 | E-Mail: torsten.zeller@cutec.de

Dr. Katrin Ostertag, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe, E-Mail: katrin.ostertag@isi.fraunhofer.de

Dr. Hildegard Wilken, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, E-Mail: hildegard.wilken@bgr.de

Dr. Simon Glöser-Chahoud, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, E-Mail: simon.gloeser-chahoud@kit.edu

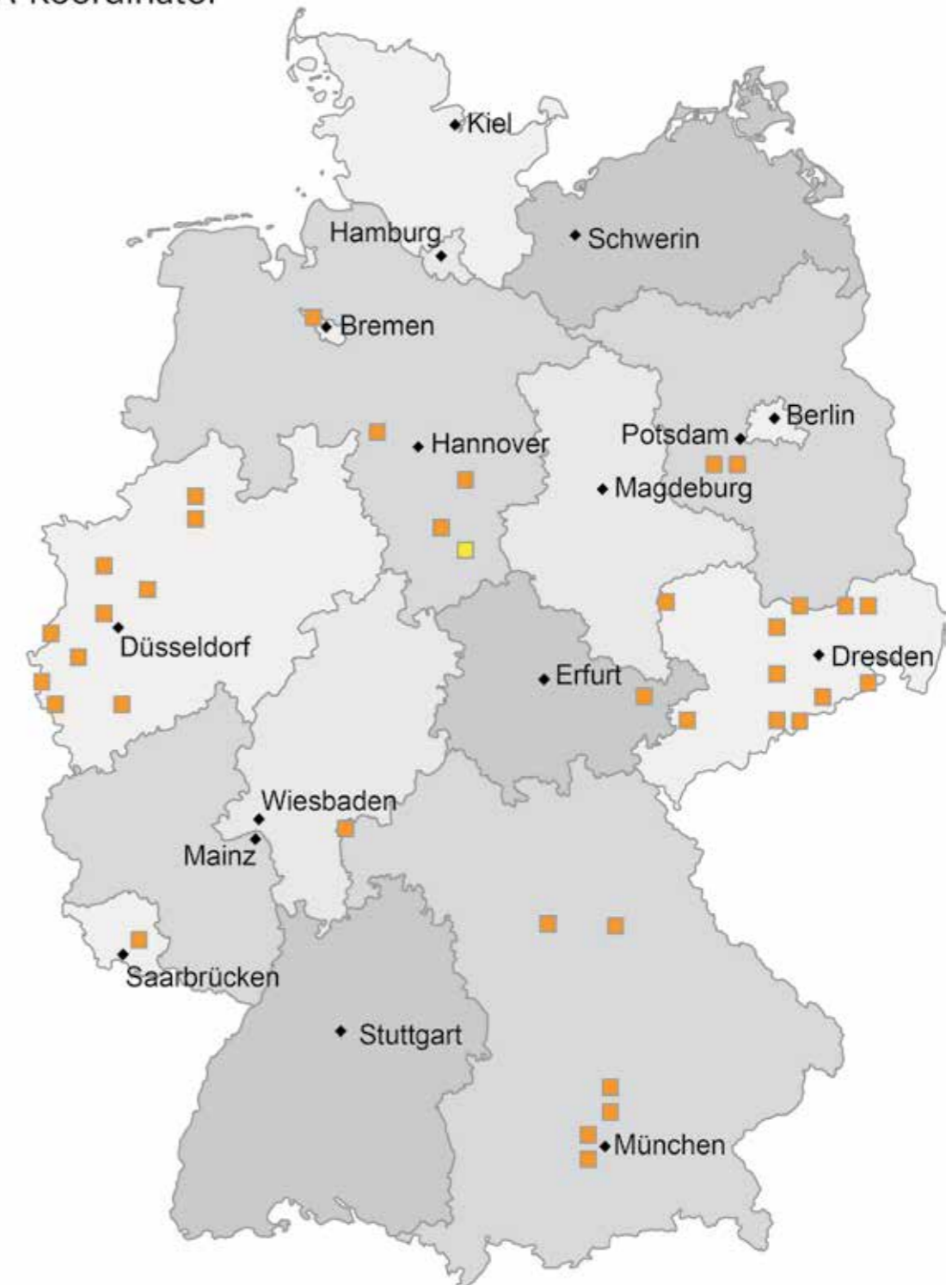
Prof. Dr. Jörg Woidasky, Hochschule Pforzheim, Pforzheim, E-Mail: joerg.woidasky@hs-pforzheim.de

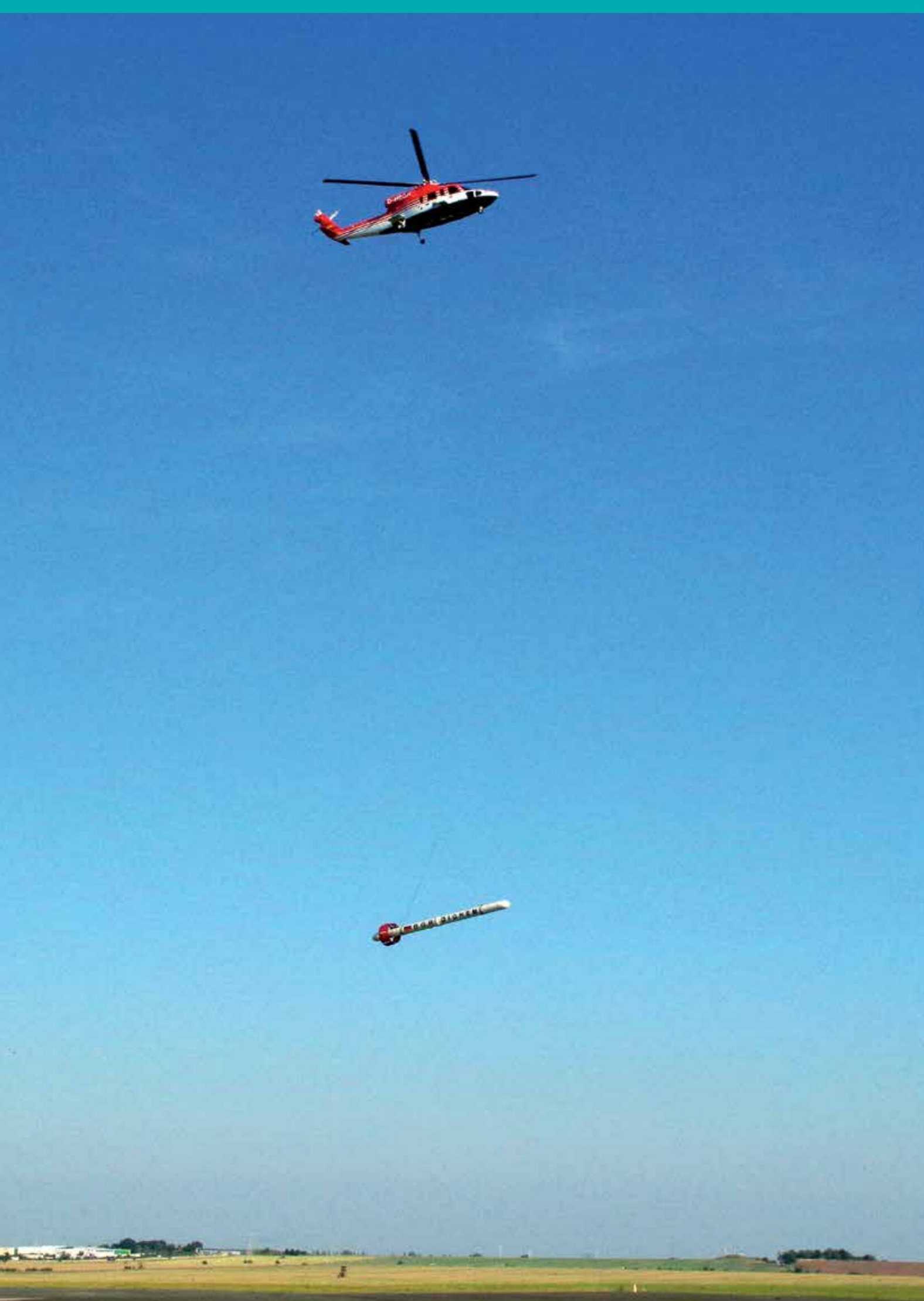
Internet

www.r4-innovation.de

Legende:

- Verbundkoordinator
- r⁴-INTRA-Koordinator





r⁴-Verbundprojekte

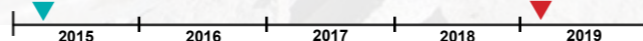
Suche und Erkundung von Primärrohstoffen

- ▶ DESMEX
- ▶ GEM
- ▶ HiTEM
- ▶ HTMET
- ▶ MinNoBeck
- ▶ REEMAP
- ▶ ResErVar
- ▶ WISTAMERZ



DESMEX

Elektromagnetische Tiefensondierung für die Lagerstättenerkundung



Ein Kilometer tiefe Rohstoffsuche vom Hubschrauber

Die Testflüge mit den neuen geophysikalischen Hubschrauberschleppsonden des Verbundprojekts DESMEX erregen viel Aufmerksamkeit in den Medien und bei den Anwohnern. Denn mit den bis zu 10 m langen Flugsonden wird der Untergrund mit einer Geschwindigkeit von 100 km/h aus einer Höhe von etwa 50 m vermessen – ein eindrucksvolles Schauspiel auch für die routinierten Geländeteams am Boden. Das Ziel des Verbundprojektes ist die Entwicklung von luftgestützten geophysikalischen Messverfahren, mit denen Erzlagerstätten in Deutschland in bis zu ein Kilometer Tiefe aufgespürt werden können.

Die „DESMEX“-Wissenschaftler nutzen elektromagnetische Induktionseffekte, um Zonen erhöhter elektrischer Leitfähigkeit im Untergrund dreidimensional abzubilden. In dem Schleppkörper sind höchstempfindliche Magnetometer und Bewegungssensoren installiert. Diese messen die Signale einer – im Gegensatz zu herkömmlichen luftgestützten Messverfahren – am Boden installierten Stromquelle. Dies hat den Vorteil, dass stärkere Sender als auf einem Hubschrauber eingesetzt werden können. Die Genauigkeit und Verlässlichkeit der Messungen und damit auch die Aussagetiefe des Verfahrens erhöht sich.



Abb. 1: Der Hubschrauber der BGR mit einer der neuen Flugsonden im Einsatz, Foto: Michael Becken, Westfälische Wilhelms-Universität Münster



Abb. 2: Antimonit-Quarz-Karbonat-Gangerz, Grube „Halber Mond“, Oberböhmisdorf bei Schleiz (Bergaer Antiklinorium), Foto: Thomas Seifert & Lisa Richter

Zwischenergebnisse

Die größte technische Herausforderung besteht darin, auch die kleinsten zeitlichen Variationen der Magnetfelder im Flug zu messen. Dazu wurden neben Induktionsspulen- und Fluxgatemagnetometern auch neue, höchstempfindliche supraleitende Quanten-Interferenz-Detektoren (SQUIDs) sowie optisch gepumpte Magnetometer entwickelt und in den Schleppsonden installiert. Das „DESMEX“-Team entwickelt für seine Technologien auch die Programme, welche die im Flug beobachteten Messdaten aufbereiten und mit bildgebenden Simulationsverfahren darstellen.

Die neuen Schleppsonden und Auswerteverfahren wurden im Projektverlauf in mehreren Testflügen auf ihre Praxistauglichkeit geprüft und sind nun einsatzbereit für die ersten Forschungsmessungen.

Testfeld Ostthüringen – die Antimonitlagerstätte in Schleiz

Für erste Forschungsflüge wählte das „DESMEX“-Team das Ost-Thüringer Schiefergebirge aus. In der Gegend



Abb. 3: DESMEX-Flugsonde, Foto: Michael Becken, Westfälische Wilhelms-Universität Münster

von Schleiz und Greiz lagert das Mineral Antimonit – darin enthaltenes Antimon ist die Basis vieler Legierungen und Flammenschutzmittel. Der Antimonit-Bergbau in Ostthüringen wurde in den 1950er in einer Teufe von circa 200 m eingestellt; die weitere Tiefenerstreckung der Lagerstätten ist bis heute weitgehend unklar. Die weltweiten Vorräte dieses seltenen Metalls sind stark begrenzt – Schätzungen zufolge reichen sie noch etwa 15 Jahre. Die Auswertung der Testmessungen hat in Kombination mit Modellrechnungen gezeigt, dass mit dem neuen Verfahren der Untergrund des Thüringer Schiefergebirges bis zu einem Kilometer tief erkundet werden kann.

Im Oktober 2017 erfolgten umfangreiche Befliegungen in der Region. Aus den gewonnenen Daten wollen die Wissenschaftler des DESMEX-Teams mit Hilfe von Computersimulationen dreidimensionale Modelle des Untergrundes berechnen.

Ausblick

Geophysikalische Modelle, wie sie für die Antimonregion in Thüringen bestimmt werden sollen, können helfen, Probebohrungen gezielt abzuteufen. Dazu braucht es aber zusätzlich umfangreiche Laborarbeiten, in denen die neu erfassten Daten mit den geochemischen Eigenschaften der Erzminerale und des Umgebungsgesteins für das konkrete Unter-

suchungsgebiet abgeglichen werden. Diese Aufgabe gehört zu den größten Herausforderungen in der Exploration und bildet einen weiteren Schwerpunkt des Verbundprojektes. Die „DESMEX“-Forscher haben dazu Laboruntersuchungen an Gesteinsproben aus Archiven und aus Steinbrüchen im Untersuchungsgebiet vorgenommen und versuchen daraus die Entwicklungsgeschichte der Lagerstätte zu rekonstruieren. Die geophysikalischen Modelle und die Laboruntersuchungen werden dann gemeinsam ausgewertet, um die geologischen Formationen, Störungszonen und Fluide auch in der Tiefe zu kartieren und damit die Tiefenerstreckung der Antimonitgänge zu bewerten.

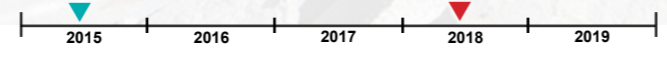
Kontakt

Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Institut für Geophysik
Corrensstraße 24
48149 Münster
Prof. Dr. Michael Becken | Tel. +49 251 83-36137
E-Mail: michael.becken@uni-muenster.de
Projektlaufzeit: 01.03.2015 – 28.02.2019
Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 106
Internet: www.uni-muenster.de/DESMEX



GEM

Granitgebundene Erze strategischer Metalle – Bildungsbedingungen und Ableitung innovativer Suchkriterien für verborgene Erzkörper



Abbruchkriterien für die Exploration nach granitgebundenen strategischen Metallen

„GEM“ zielt auf die Reduzierung des Explorationsrisikos, beispielhaft untersucht an granitischen Zinn/Wolfram-Lagerstätten. Strategische Metalle, wie Zinn, Wolfram und Tantal, treten typischerweise in Erzen auf, welche an hoch entwickelte Granite gebunden sind. Doch nicht alle hoch entwickelten Granite sind erzführend.

Exploration ist sehr kostenintensiv und birgt ein hohes ökonomisches Risiko. Deshalb ist es notwendig, eine kaum erfolgversprechende Suche aufzugeben, bevor große Investitionen angefallen sind. Je weniger Ressourcen in wenig hoffige Objekte investiert werden, desto besser. Dafür benötigt es Abbruchkriterien, welche auf unterschiedlichen Skalen (Provinz, Distrikt, einzelnes Objekt) verlässlich eingesetzt werden können.

Die Verteilung von phanerozoischen Zinn-, Wolfram und Tantal-Erzen und Vorkommen deutet darauf hin, dass granitgebundene Erze dieser Metalle auftreten können, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

Sedimentäre Ausgangsgesteine waren einer intensiven chemischen Verwitterung ausgesetzt. Solche bilden sich nur auf stabilen Kontinenten mit einem geringen topographischen Relief. Vergleichbar heutigen Wüsten, wie der Sahara.

Bedeutende Volumen dieser intensiv verwitterten Ausgangsgesteine können sich nur am Kontinentrand (Schelf) in Meeresbecken ansammeln, wohin sie durch Wind beziehungsweise Wasser transportiert werden. Bei Kollisionsprozessen zweier Kontinente werden diese Sedimente gestapelt und in die Tiefe versenkt, wo sie schmelzen.

Die Erzmetalle werden durch partielles Schmelzen der Ausgangsgesteine zwischen Schmelze und Restmaterial verteilt. Dabei scheinen die Erzmetalle nur bei hoher Temperatur bevorzugt in die Schmelze zu gehen. Ob sich aus einer solchen Schmelze ein Erz entwickelt oder nicht, hängt unter anderem von der weiteren Entwicklung der Schmelze durch fraktionierte Kristallisation und Phasenseparation ab.

Wichtig für die Entwicklung von Abbruchkriterien ist, dass wenn auch nur eine der Voraussetzungen – Verwitterung

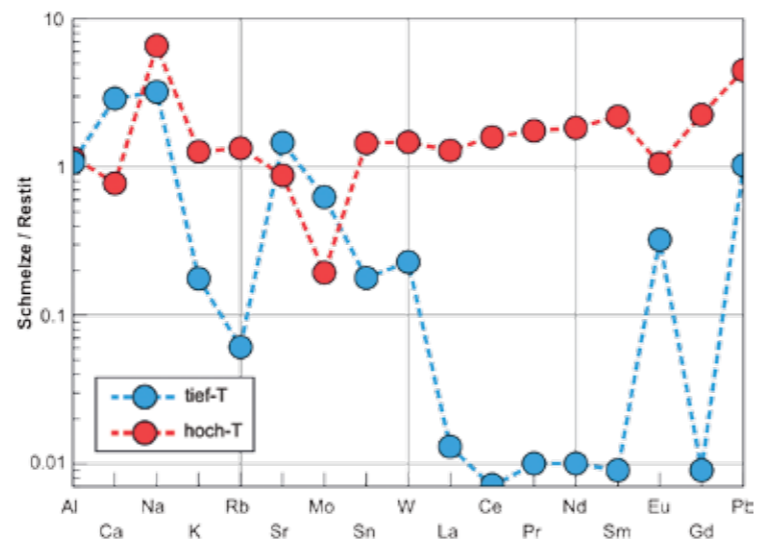
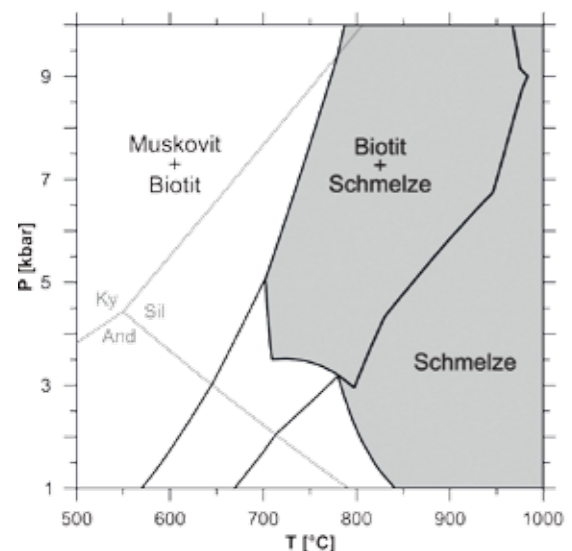


Abb. 1: (a) Die Stabilität von Muskovit und Biotit kontrolliert die Schmelzbedingungen; ihre Menge bestimmt die Schmelzmenge (vereinfachtes Phasendiagramm). (b) Verteilung von Spurenelementen (u.a. Sn, W) zwischen Schmelze und Restit. Quelle: M. Wolf, GFZ.

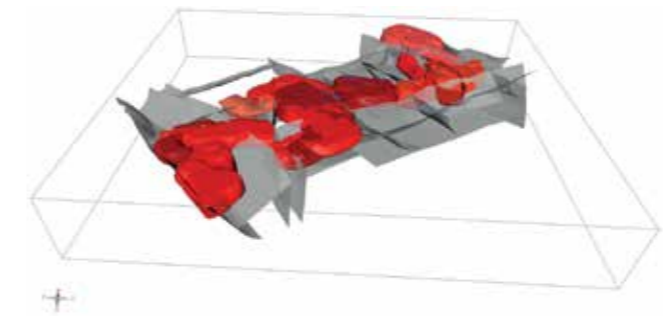


Abb. 2: 3D-Modell für das Erzgebirge. Die Platznahme der Granite (rot) and Erze (blau) ist durch mehrfach reaktivierte Störungen (grau) kontrolliert, Quelle: U. Kroner, TU-BA Freiberg

der Ausgangsgesteine, Anreicherung am Kontinentrand, partielles Schmelzen bei hoher Temperatur – nicht erfüllt ist, dann hat der Granit nur ein geringes Potenzial ein Erz hervorzubringen. Das Fehlen einer dieser Voraussetzungen oder einer Verbindung zwischen den Voraussetzungen stellt deshalb ein Abbruchkriterium dar.

Zwischenergebnisse

Studien an natürlichen Proben und Modellberechnungen haben gezeigt, dass die Mineralzusammensetzung des Gesteins von entscheidender Bedeutung dafür ist, ob Metalle bevorzugt in die Schmelze gehen oder im Restit bleiben. Die Mineralzusammensetzung entscheidet, bei welchen Bedingungen das Gestein schmilzt und wie viel Schmelze gebildet werden kann.

Insbesondere bei intensiv verwitterten Sedimenten bildet sich während der Metamorphose sehr viel Muskovit, welcher bei Temperaturen von 720-750°C und 3-8 kbar Druck Wasser freisetzt, das zu einer partiellen Aufschmelzung des Gesteins führt. Dabei reichern sich Zinn und Wolfram im Restit an (Abb. 1). Extraktion dieser Schmelzen tieferer Temperatur führt zu einem Anreichern des Restits. Das Schmelzen des Restits bei höheren Temperaturen von 820-870°C unter gleichen Druckverhältnissen kann zu kleinen hochangereicherten Schmelzvolumen führen, welche ein hohes Potenzial für Erzbildung besitzen.

Ausgangsgesteine, welche keine intensive Verwitterung erfahren haben, bilden bei entsprechend tiefen Schmelztemperaturen nur geringe Schmelzvolumen, welche nicht abgeführt werden und damit keine hochgradige Anreicherung der Restitschmelze ermöglichen. Die Modellierungen zeigen, dass die Zusammensetzung des Ausgangsgesteins und die

Schmelzbedingungen als Abbruchkriterien verwendet werden können.

Forschung für die Zukunft

Die phasenpetrologische Modellierung zeigt, dass nur Hochtemperatur-Schmelzen ein hohes Potenzial für Zinn-Erze haben können. Das bedeutet jedoch, dass Gebiete, welche keine entsprechenden Temperaturen in der Kruste erreicht haben beziehungsweise nur Tieftemperatur-Intrusionen aufweisen, nur ein geringes Potenzial für granitgebundene Mineralisierung aufweisen. Dieses Wissen kann als Abbruchkriterium verwendet werden. Einfache thermische Modellierungen können abklären, ob für ein bestimmtes tektonisches Szenario hinreichend hohe Temperaturen überhaupt erreicht wurden. Abb. 2 zeigt eine einfache Modellierung für das Erzgebirge nach der Platznahme einer UltraHochTemperatur-Einheit (um 1000 Grad Celsius) in der unteren Kruste. Dabei zeigt sich, dass günstige Maximaltemperaturen nur für sehr kurze Zeit vorherrschen und höhere Temperaturen erreicht werden, wenn Teilschmelzen bereits bei tiefen Temperaturen abgeführt werden. Dies bedeutet, dass späte Phasen in Intrusionen ein höheres Erzpotenzial haben, da sie a priori höhere Metallgehalte aufweisen.

Ausblick

Die strukturelle 3D-Analyse eines Gebietes kann dazu eingesetzt werden abzuklären, ob ein Gebiet, das die Höffigkeitsvoraussetzungen bezüglich der Ausgangsgesteine und thermischen Struktur der Kruste erfüllt, auch wirklich höffig ist: Die geeigneten Ausgangsgesteine müssen sich zum Zeitpunkt des krustalen Schmelzens in der Schmelzregion befinden haben.

Kontakt
 Deutsches GeoForschungszentrum
 Telegrafenberg
 D-14473 Potsdam
 Prof. Dr. Rolf L. Romer | Tel. +49 331-288-1405
 E-Mail: romer@gfz-potsdam.de
 Projektlaufzeit: 01.06.2015 – 31.05.2018
 Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 108



HiTEM

Hochsensitives Messinstrument für die Transiente Elektromagnetik zur Exploration von tiefliegenden Mineralienvorkommen



Herausforderung

Neue Verfahren und Methoden zur Erkundung tief liegender, mineralischer Rohstoffquellen sind für das Verständnis komplexer Lagerstättenverhältnisse notwendig, um Ressourcen schonend und nachhaltig zu erschließen.

Neuartige Sensorik zur Erkundung tiefliegender mineralischer Rohstoffe

Die Transiente oder Zeitbereichselektromagnetik (TEM) ist ein geeignetes Verfahren zur Erkundung tiefer als 500 m liegender Rohstoffquellen. Es kommt weltweit zum Einsatz zur Exploration ultra- und mafisch geschichteter magmatischer Minerallagerstätten sowie für sulfidische Lagerstätten mit einem signifikanten Gehalt an Platin-Gruppen-Elementen (u.a. Platin, Palladium, Ruthenium, Iridium, Rhodium, Osmium). Elektromagnetische Verfahren, wie die TEM, sind speziell für letzteren Lagerstättentyp sehr gut geeignet, da sie mit einer erhöhten elektrischen Leitfähigkeit korrelieren.

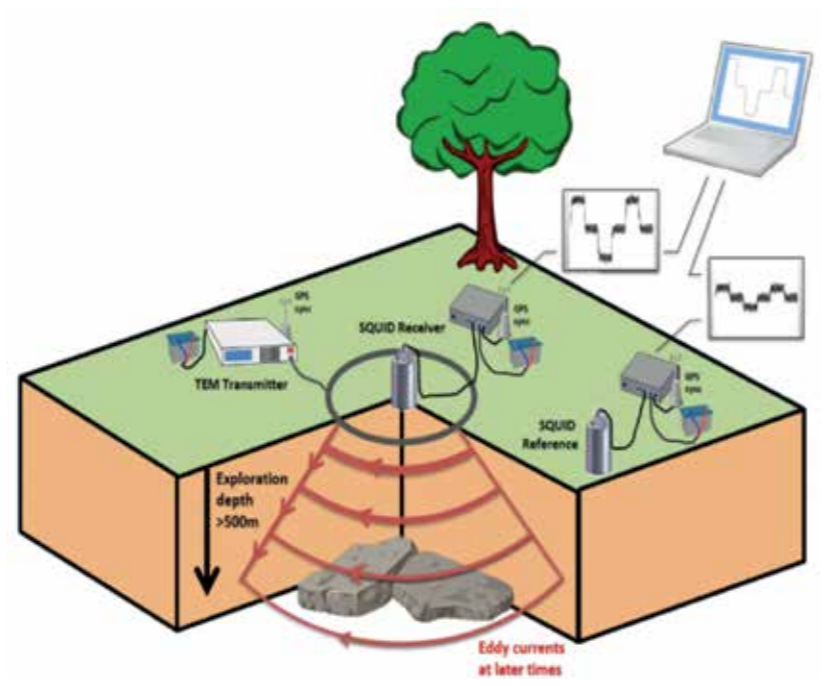


Abb. 1: TEM-Aufbau mit SQUID-Empfänger, Quelle: Ronny Stolz, Leibniz IPHT

schens, welches die Explorationstiefe maßgeblich bestimmt. Die zweite Generation von HTS-SQUIDs, vgl. Abb. 3, ist hergestellt und wird in neuen Messinstrumenten eingesetzt. Dazu wurden die erforderlichen elektronischen Komponenten für die Wechsel-Betriebsstromauslese (AC Bias) entwickelt und sind aktuell in der weiteren Optimierung.

Wie tief sieht man?

Erste sehr erfolgreiche Messungen im Vergleich zu Vorgängerinstrumenten mit konstantem Betriebsstrom (DC Bias) erfolgten in Deutschland und Finnland. Einen Messaufbau zeigt Abb. 4. Deutlich konnte der Vorteil der neuen TEM-Instrumente nachgewiesen werden. Besonders bei niedrigen Frequenzen liegt das Systemrauschen etwa einen Faktor zehn unter den bisherigen Systemen, was sich entscheidend in einer größeren Erkundungstiefe widerspiegeln wird.

Eine Verbesserung des Signal zu Rausch-Verhältnisses (SNR) ist notwendig, um die erforderliche Eindringtiefe zu erreichen. Dies kann einerseits durch ein höheres Transmittermoment erreicht werden, was derzeit weltweit vorangetrieben wird. Zum anderen kann durch Verwendung von supraleitenden Quanteninterferenzdetektoren (SQUID) die Empfindlichkeit des TEM-Empfängers und das SNR verbessert werden. Hergestellt werden SQUIDs mit hochtemperatursupraleitenden (HTS) Materialien.

Zwischenergebnisse

Die technische Herausforderung besteht hier in der Entwicklung robuster, rauscharmer HTS-SQUID-Sensoren und insbesondere in der Reduktion des niederfrequenten Rau-



Abb. 2: Erste Vergleichstests in Deutschland in der Gegend von Rastenberg, Foto: Supracon AG

Projektfortgang

Im nächsten Schritt sollen innovative Verfahren zur Reduktion des Rauschens im niedrigen Frequenzbereich für die TEM sowie neue Inversions- und Interpretationsverfahren entwickelt werden.

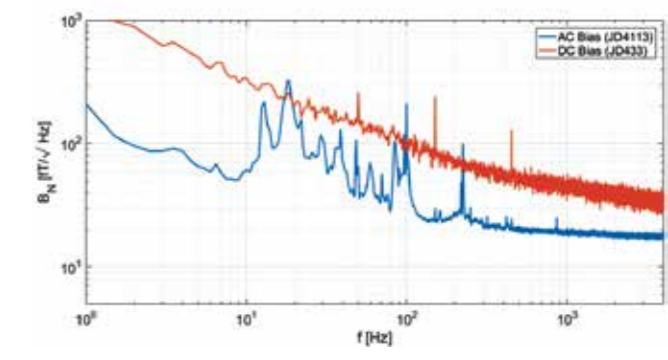


Abb. 4: Vergleich des Vorgänger- (rote Kurve) zum neuen HiTEM-System, Quelle: Supracon AG

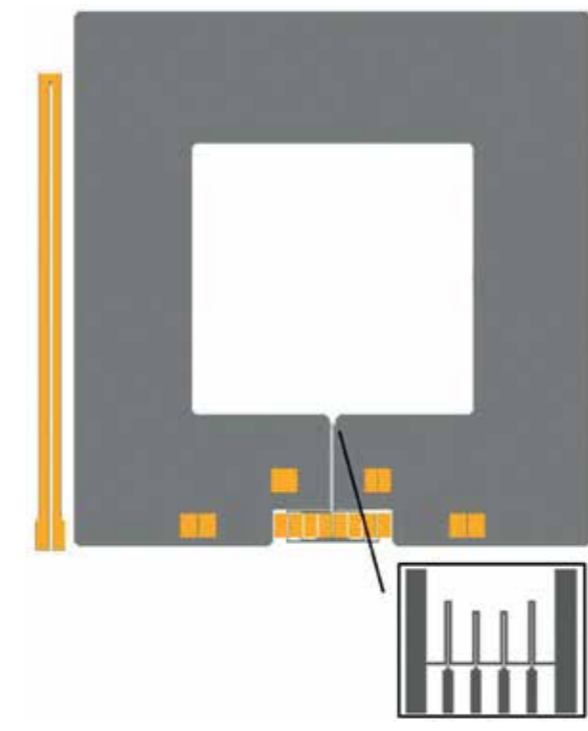


Abb. 3: Design für die zweite Generation HTS-SQUID, Quelle Leibniz IPHT

Kontakt
 Supracon AG
 An der Lehmgrube 11
 07751 Jena
 Jens Kobow | Tel. +49 3641 2328-124
 E-Mail: jens.kobow@supracon.com
 Projektlaufzeit: 01.05.2016 – 30.04.2019
 Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 110

HTMET

Hochtechnologie-relevante Metalle in deutschen sulfidischen Buntmetallerzen – Ressourcenpotenzialabschätzung

Auf Spurensuche in alten Bergwerken

Welche Hightech-Spurenmetalle stecken in deutschen Erzlagerstätten? Gibt es wirtschaftlich gewinnbare Anreicherungen? Antworten auf diese spannenden Fragen fügt das Verbundprojekt HTMET seit Projektbeginn im Mai 2015 zu einem deutschlandweiten Rohstoffkataster zusammen.

Umfangreiches Probenmaterial aus historischen Sammlungen sowie aktueller Probenahmen in heimischen Bergbaurevieren bilden die Grundlage für die Bestandsaufnahme des Rohstoffpotenzials. 350 Erzproben aus Harz, Erzgebirge, Siegerland, Ruhrgebiet (Abb. 1) und Schwarzwald sowie aus Walchen in Österreich wurden bereits analysiert.

Bis zur nahezu vollständigen Einstellung des Erzbergbaus in Deutschland in den 1990er Jahren galt das wirtschaftliche Interesse den Blei-, Zink- und Kupfererzen. An diese sind

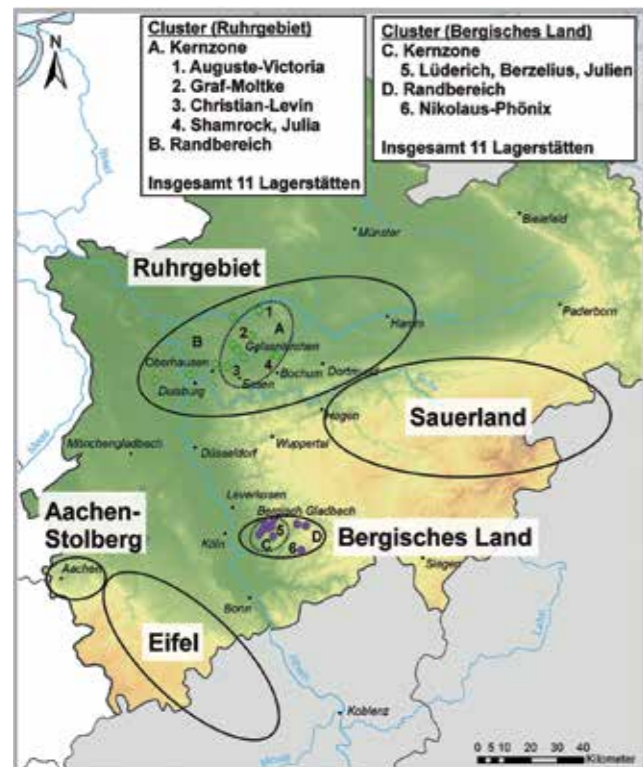


Abb. 1: Betrachtete Lagerstätten und Bergwerke in Nordrhein-Westfalen, Karte BGR



Silber aber auch die Spurenelemente Indium, Gallium und Germanium gebunden. Mit innovativen technischen Entwicklungen erhöhte sich die Anzahl verwendeter chemischer Elemente immens. Einst bedeutungslose Spurenmetalle sind heute gesuchte Hightech-Rohstoffe. Indium wird für elektrisch leitfähige und optisch transparente Schichten aus Indium-Zinn-Oxid (ITO) verwendet. Gallium, genauer die Verbindung Galliumarsenid, wird für Solarzellen und blaue Leuchtdioden eingesetzt. Germanium findet sich in Halbleitern und Glasfaserkabeln.

Zwischenergebnisse

Mineralogische Studien zeigen, dass die Minerale Zinkblende (ZnS) und Kupferkies (CuFeS₂) zu den wichtigsten Trägern der Hightech-Spurenelemente zählen. Ihre Häufigkeit und Verteilung in den Proben fließt somit in eine Klassifizierung wichtiger Erztypen für jeden Standort ein.

Die Gehalte der drei betrachteten Spurenelemente in diesen Mineralen liegen vorwiegend im Bereich weniger Gramm des Elements pro Tonne (g/t) des Erzminerals, können aber bei spurenelementreichen Erzen auch mehr als die hundertfache Konzentration erreichen.

Ein besonders wichtiges Ergebnis bildet der Beleg, dass Spurenelemente in Buntmetallerzen auch Muster regionaler An- und Abreicherungen zeigen, abhängig vom Bildungsprozess der Lagerstätte. Blei-Zink-Erze des Schwarzwaldes und des Ruhrgebietes (Abb. 2) zeigen beispielsweise neben erhöhten Galliumgehalten auch deutliche Anreicherungen von Germanium. Die Mittelwerte aller Analysen einer Lagerstätte erreichten hier Konzentrationen bis zu mehr als 100 g/t des seltenen Germaniums.

In Aufbereitungstests an einer Indium-haltigen Großprobe aus Walchen (Österreich) wurden circa 85 % des enthaltenen Kupfers und des Zinks im Konzentrat angereichert (Ausbringen), bei Kupfer- und Zink-Gehalten von 7 bzw. 5 %. Das Ausbringen für Indium lag bei 74 %. Ein Gallium-haltiges Erz aus Lautenthal (Oberharz) wurde durch die Kombination

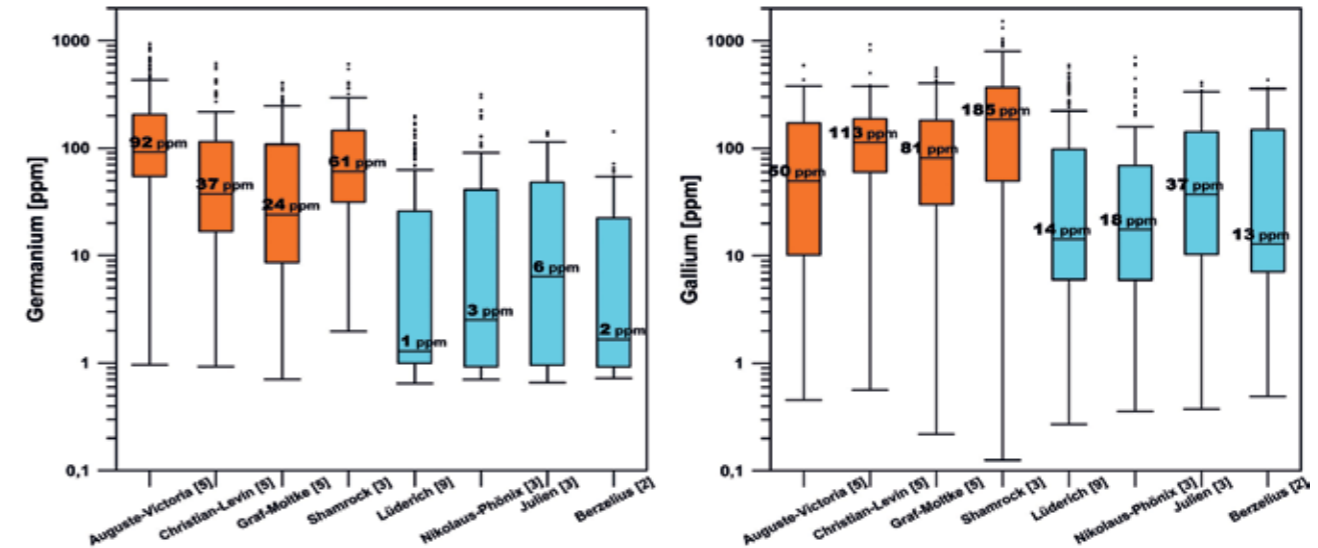


Abb. 2: Vergleich der Gehalte an Germanium und Gallium in Blei-Zink-Erzen des Ruhrgebiets und Bergischen Lands, Quelle: BGR

aus Blei- und Zinkstufe in der Flotation aufbereitet. Dabei wurden ein Zink-Ausbringen von 96 % (Zn-Gehalt: 60 %), ein Blei-Ausbringen von 88 % (Pb-Gehalt: 71 %) sowie ein Gallium-Ausbringen von 95 % bei einer Anreicherung des Galliums auf 105 ppm erzielt. Weitere Tests betrachten die Abtrennung des Pyrits (FeS₂) sowie die hydrometallurgische Aufbereitung zur Abtrennung der Sondermetalle.

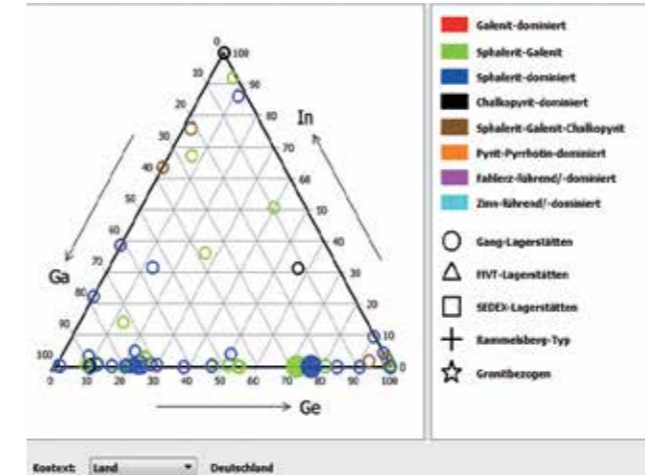


Abb. 3: Benutzeroberfläche der Datenbank: Dreiecksdiagramm der relativen Spurengehalte in Erzproben. Hervorgehoben (fette, gefüllte Symbole) sind zwei germaniumreiche Erztypen einer Ganglagerstätte im Schwarzwald, Quelle: TU Clausthal

Forschung für die Zukunft

Das geochemisch-mineralogisch-wirtschaftsökonomische Kataster (GMWK) des aktuellen Rohstoffpotenzials in Deutschland wird in Form einer umfangreichen Datenbank erstellt. Aufgelistet sind erzbezogen die Gehalte an primä-

ren Wertmetallen in den betrachteten Lagerstätten, Standortfaktoren und Aufbereitungseigenschaften. Eine eigens entwickelte Benutzeroberfläche erlaubt die Verwaltung und Visualisierung der Daten. Die Gehalte der Spurenelemente der verschiedenen Erztypen der Lagerstätten werden vergleichend in Dreiecksdiagrammen dargestellt (Abb. 3) und umfangreiche Datenblätter der Lagerstätten automatisch generiert. Anhand dieser Daten wird das heimische Potenzial metallischer Hightech-Rohstoffe bewertet.

Ausblick

Es zeichnet sich bereits ab: Regionen mit Potenzial für Explorationsarbeiten sind vorhanden. Die wirtschaftliche Gewinnung hängt vom Weltmarktpreis ab. Eine Wiederaufnahme des Metallbergbaus setzt bergrechtliche Genehmigungsverfahren und umfangreiche Investitionen in neue bergbauliche Anlagen voraus.

Kontakt
 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
 Stilleweg 2
 30655 Hannover
 Priv.-Doz. Dr. Torsten Graupner | Tel. +49 511 643 2569
 E-Mail: torsten.graupner@bgr.de
 Projektlaufzeit: 01.05.2015 – 31.10.2018
 Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 111



MinNoBeck

Ressourcenpotenzial verdeckter hydrothermaler Mineralisationen im Norddeutschen Becken



Auf Spurensuche in Bohrkernen der Erdöl- und Erdgasindustrie

Im Rahmen des Projektes „MinNoBeck“ werden erstmals Gesteinsproben und Formationswässer aus Bohrungen im Bereich des Norddeutschen Beckens, das sich von der Nord- und Ostsee bis an den Rand der Mittelgebirge im Süden erstreckt, in Hinblick auf Hochtechnologiemetalle untersucht. Dass es Anreicherungen von Blei-, Zink- und Kupfererzmineralen gibt, ist durch tiefe Bohrungen im Norddeutschen Becken bereits bekannt. Systematisch auf Hochtechnologiemetalle untersucht worden sind sie bisher nicht. Modernste geowissenschaftliche Analysemethoden werden Aufschluss geben, welche Elemente die Mineralisationen in den Bohrkernen sowie die Wässer enthalten. Diese Ergebnisse bilden die Grundlage für neue Konzepte zum Auffinden durch mächtige Sedimentpakete bedeckter Lagerstätten. Auch werden die geochemischen Untersuchungen kombiniert mit modifizierten strukturgeologischen Modellen neue Erkenntnisse zur Bildung der Mineralvorkommen im Norddeutschen Becken liefern.

Zwischenergebnisse

Im Rahmen von mehreren Beprobungskampagnen konnten die erbohrten Mineralisationen in den Bohrkernen der Erdöl- und Erdgasindustrie genauer untersucht werden (Abb. 1).



Abb. 1: Eine Quelle für Hightech-Metalle: Bohrkern mit Baryt-Fluoritmineralisation aus der Altmark, Foto: Dr. Volker Lüders, Helmholtz Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum



Abb. 2: MinNoBeck-Wissenschaftler bei der Begehung des Steinbruches Dönstedt/Eiche im Flechtinger Höhenzug, Sachsen-Anhalt., Foto: Patrick Nadoll, GeoZentrum Nordbayern

Blei-, Zink-, und Fluoriterze sind nachgewiesen worden. Die Proben werden nun eingehend wissenschaftlich untersucht (Abb 3). Dabei liegt der Fokus der geowissenschaftlichen Forschung auf den Gehalten an Hochtechnologiemetallen beziehungsweise wann und vor allem warum sich die Mineralisationen gerade dort gebildet haben, wo sie angetroffen wurden.

Spurenelementanalysen in den Zinkerzen deuten darauf hin, dass es sich bei einigen Mineralisationen im Norddeutschen Becken um Vorkommen handelt, die den Mississippi-Valley-Typ (MVT) Blei-Zink Lagerstätten, zu denen auch die weltweit bekannten Lagerstätten in Illinois und Kentucky in den USA zählen, sehr stark ähneln. Die Fluideinschlüsse

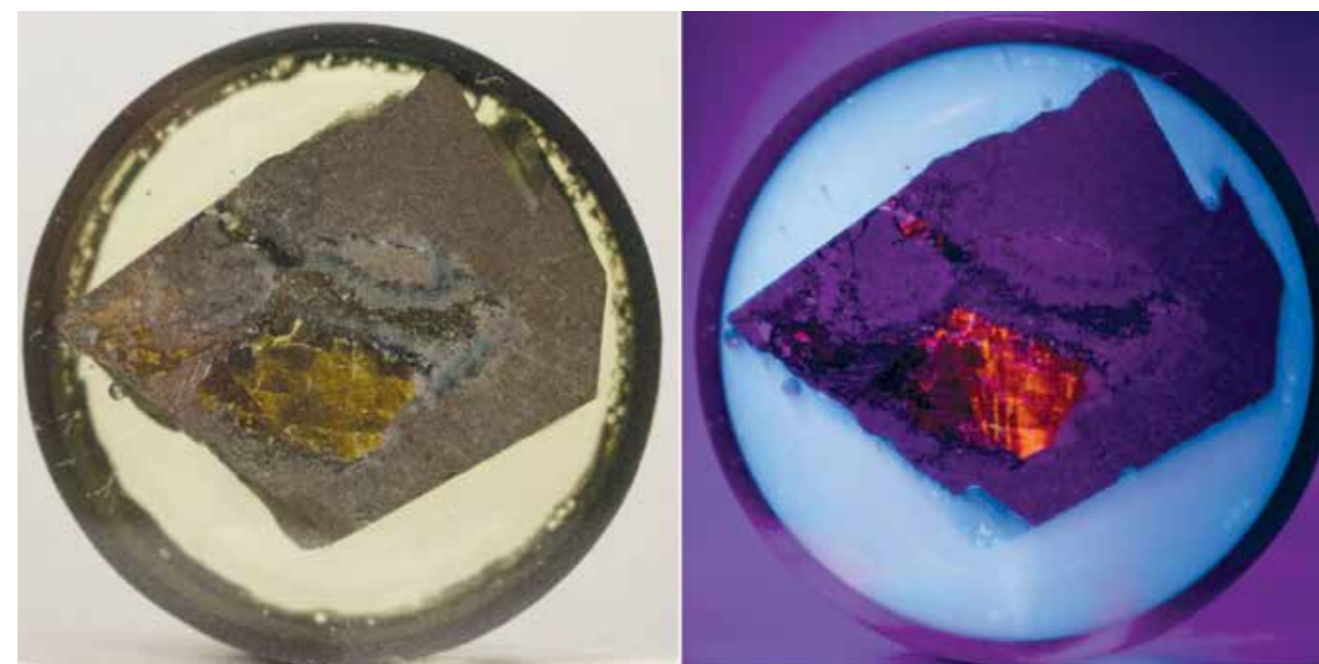


Abb. 3: Gesteinsanschliff mit Zinkerzmineralisation (gelb/orange) aus dem Norddeutschen Becken unter sichtbarem und UV-Licht, Fotos: Geozentrum Nordbayern

sowie die Fraktionierung der Seltenen Erden in den Gangartmineralen deuten nicht auf anomal hohe Bildungstemperaturen hin und liegen im Bereich von 50°C bis 200°C. Untersuchungen der Schwefelisotope in den angetroffenen Mineralisationen sowie der Kohlenstoff- und Sauerstoffisotope in den Gangarten zeigten, dass sich die Mineralisationen durch eine Vermischung metall- und salzreicher Beckenfluide mit Schwefelwasserstoff gebildet haben. Der benötigte Schwefel wurde hierbei vermutlich durch eine thermochemische Reduktion aus den Zechsteinkarbonaten freigesetzt.

Die beprobten Formationswässer sind teils stark angereicht mit dem „Akkurohstoff“ Lithium. Die Konzentrationen übersteigen sogar die in den USA an vergleichbaren Wässern gemessenen Werte und deuten darauf hin, dass es sich hier um eine potenzielle heimische Lithium-Ressource handeln könnte. Auch zeigten die ersten Untersuchungen an den Formationswässern Indizien auf, dass die Wässer geochemische Signaturen enthalten, die denen von Flüssigkeitseinschlüssen in den angetroffenen Mineralisationen sehr stark ähneln.

Projektfortgang

In Bohrkernen aus dem Norddeutschen Becken wurden an mehreren Stellen in Tiefen von bis zu 4000 m Blei-, Zink-, sowie Fluoriterze nachgewiesen. Diese Erze können poten-

zielle Träger von Hochtechnologiemetallen sein. Die Gehalte von Hochtechnologiemetallen in diesen Mineralisationen werden nun bestimmt und deren Bildung rekonstruiert. Technologien zur Erkundung dieser verdeckten Lagerstätten sind stark nachgefragt. MinNoBeck liefert somit einen wichtigen Beitrag zum Verständnis der Entstehung von Metallagerstätten im tiefen Untergrund von Sedimentbecken und zur Potenzialbewertung des Norddeutschen Beckens in Hinblick auf wirtschaftlich stark nachgefragte Zukunftsrohstoffe.

Kontakt

Jacobs University Bremen gGmbH
Department for Physics and Earth Sciences
Campus Ring 1
28759 Bremen
Prof. Dr. Michael Bau | Tel. +49 421 200-3564
E-Mail: m.bau@jacobs-university.de
Projektlaufzeit: 01.05.2016 – 30.04.2019
Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 112

REEMAP

Hyperspektralanalyse Seltener Erden

Seltene Erden im Vorkommen spektroskopisch sichtbar machen

Die drastisch steigende Nutzung und Entwicklung von High-tech-Produkten verursacht auf dem Rohstoffsektor eine deutlich zunehmende Aktivität in den Bereichen Prospektion, Exploration und Abbau. Dahingehend steigt auch der Entwicklungsbedarf modernster Technologien zur effizienten In situ-Charakterisierung von Seltenen Erden (SEE). Eine innovative Lösung bietet hier die abbildende Spektroskopie, mit der sich feinste, nicht sichtbare Vererzungen oder Mineralgradienten spektral und räumlich verfolgen, quali-

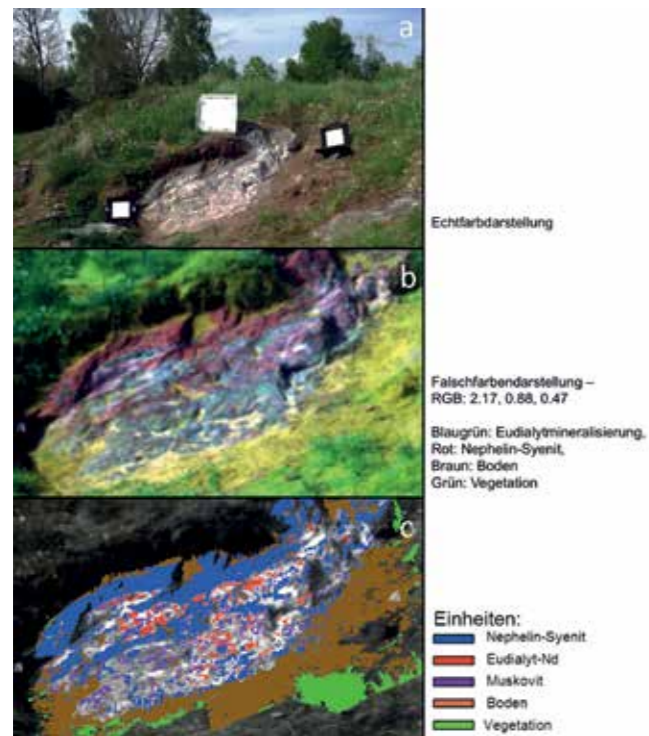


Abb. 1: a) Echtfarbdarstellung des Nephelin-Syenit Gesteinsaufschlusses bei Norra Kärr, Schweden. b) Ausschnitt der Falschfarbdarstellung (RGB Farbkodierung: 2.17, 0.88, 0.47 μm) des Gesteinsaufschlusses. c) Klassifizierungsergebnis mit der Neodymium Verteilung in rot, Quelle: BGR

fizieren und semi-quantifizieren lassen. REEMAP entwirft eine schnell und automatisiert anwendbare hyperspektrale Analyseketten, die höchsten Ansprüchen in der Exploration gerecht wird.

Dabei wird eine modulare Multi-Sensor-Prozesskette zur hyperspektralen Element- und Mineralbestimmung sowie zur Ableitung lokaler Mineralvergesellschaftung inklusive Erfassung des geologischen Umfeldes entwickelt. Sie ermöglicht Seltene Erden großflächig, zeitnah und zuverlässig zu detektieren und zu semiquantifizieren. Sensor- und anwendungsbezogen plattformunabhängig wird diese als Software umgesetzt und in eine Verwertungskette integriert.

Zwischenergebnisse und Ausblick

Während mehrerer Geländekampagnen wurden hyperspektrale Bilddatensätze von Gesteinsaufschlüssen, insbesondere am Fen Komplex in Norwegen und einem Syenit-Komplex in Norra Kärr (Abb 1.), Schweden, aufgezeichnet. Diese umfassen sowohl Seltenerd-Anreicherungen als auch Alterationszonen um die Anreicherung. Abb. 1a zeigt den Hyperspektraldatensatz als Echtfarbdarstellung. Werden jedoch Spektralbereiche jenseits des sichtbaren Lichtes zur farblichen Darstellung genutzt, entsteht ein sogenanntes Falschfarbenbild. Aufschlussbereiche werden dabei farblich akzentuiert und Details in der Lithologie stärker hervorgehoben (Abb. 1b). Das Beispiel Norra Kärr zeigt deutlich, dass die räumliche Verteilung des Neodym-reichen Minerals Eudialyt mit der Multi-Sensor-Prozesskette erfolgreich kartiert wurde. Zur Darstellung der Mineralisierung im umgebenden Gesteinskontext, wurden weitere Einheiten wie Nephelin-Syenite und mit Hellglimmer (Muskovit) angereicherte Zonen ebenfalls kartiert. Auch Boden und Vegetation sind für eine vollständigere Bildklassifizierung erfasst worden (Abb. 1c).

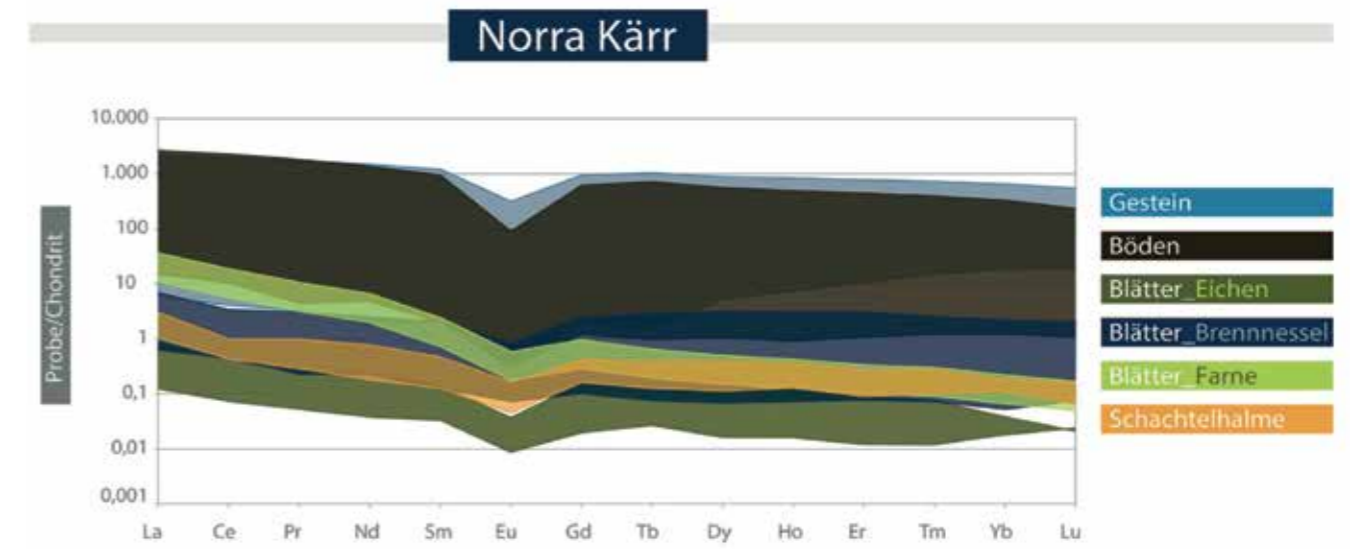


Abb. 2: Chondrit-normierte SEE-Verteilung der Gesteine, Böden und Pflanzen von Norra Kärr (Meta-Nephelin Syenit; dominierendes SEE-Trägermineral: Eudialith). Sowohl die Böden als auch die Pflanzen zeigen die SEE-Verteilung der unterlagernden Gesteine, trotz anderer Konzentrationen, nahezu gleichwertig an und können somit zur Potenzialeinschätzung der darunterliegenden Lagerstätte dienen, Quelle: BGR

Petrologische und geochemische Untersuchungen begleiten die Hyperspektralaufnahmen. Verwitterungskrusten, Böden sowie natürliches Pflanzenwachstum führen an der Oberfläche der Seltenerd-Vorkommen zu einer Umverteilung dieser Elemente. Vollständige geochemische Gestein-Boden-Pflanze-Profile belegen den mikrobiologisch unterstützten Transport aus den mit Seltenerdelementen angereicherten Gesteinen in den Böden und von dort in die Pflanzen (Abb. 2).

Die Böden weisen lokal hochprozentige Gehalte an Seltenen Erden auf, die eine potenzielle sekundäre Ressource darstellen können. Bei Karbonatitvorkommen kann es zu einer lokalen Anreicherung schwerer Seltenerdelemente in den Böden und zu einer Anreicherung in Pflanzenblättern kommen. Allgemein zeigen insbesondere die Böden aufgrund starker Anreicherungen aussagekräftige, hyperspektral erfassbare Flächen. Pflanzen sind weder für Hyperspektraluntersuchungen noch für ihren Abbau (Phytomining) mit

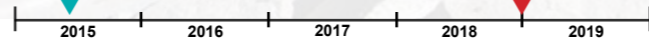
den heutigen Techniken geeignet, stellen aber ein probates Mittel für die Exploration dar. Als biogene Seltenerdelement-Träger konnten in Skandinavien insbesondere Brennnesseln, Farne, Schachtelhalme und Eichen identifiziert werden, die in unterschiedlichem Maße die Verteilung Seltenen Erden unterliegender Böden und Gesteine reflektieren.

Kontakt

Helmholtz Zentrum Potsdam
Deutsches Geoforschungszentrum GFZ
Telegrafenberg
14473 Potsdam
Dr. Christian Rogass | Tel. +49 331 288 1820
E-Mail: christian.rogass@gfz-potsdam.de
Projektlaufzeit: 01.06.2016 – 31.05.2018
Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 114

ResErVar

Ressourcenpotenzial hydrothermaler Lagerstätten der Varisziden



Geopotenzial wirtschaftsstrategischer Metalle in Deutschland

Welches Potenzial an Hightech-Rohstoffen steckt in bekannten heimischen Erzlagerstätten variszischer Gebirge wie dem Erzgebirge, Harz, Siegerland oder Schwarzwald? Blei-Zink-Kupfer-Erze wurden in Deutschland bis in die

1990er Jahre abgebaut. Das wirtschaftliche Interesse für heute wirtschaftskritische Rohstoffe wie Kobalt, Lithium, Indium, Zinn und Wolfram hingegen war zu dieser Zeit noch gering. Mangels Nachfrage, ist das Ressourcenpotenzial dieser in Spuren vorkommenden Metalle damals kaum oder nur unvollständig erfasst worden. Der Bedarf an Spurenme-

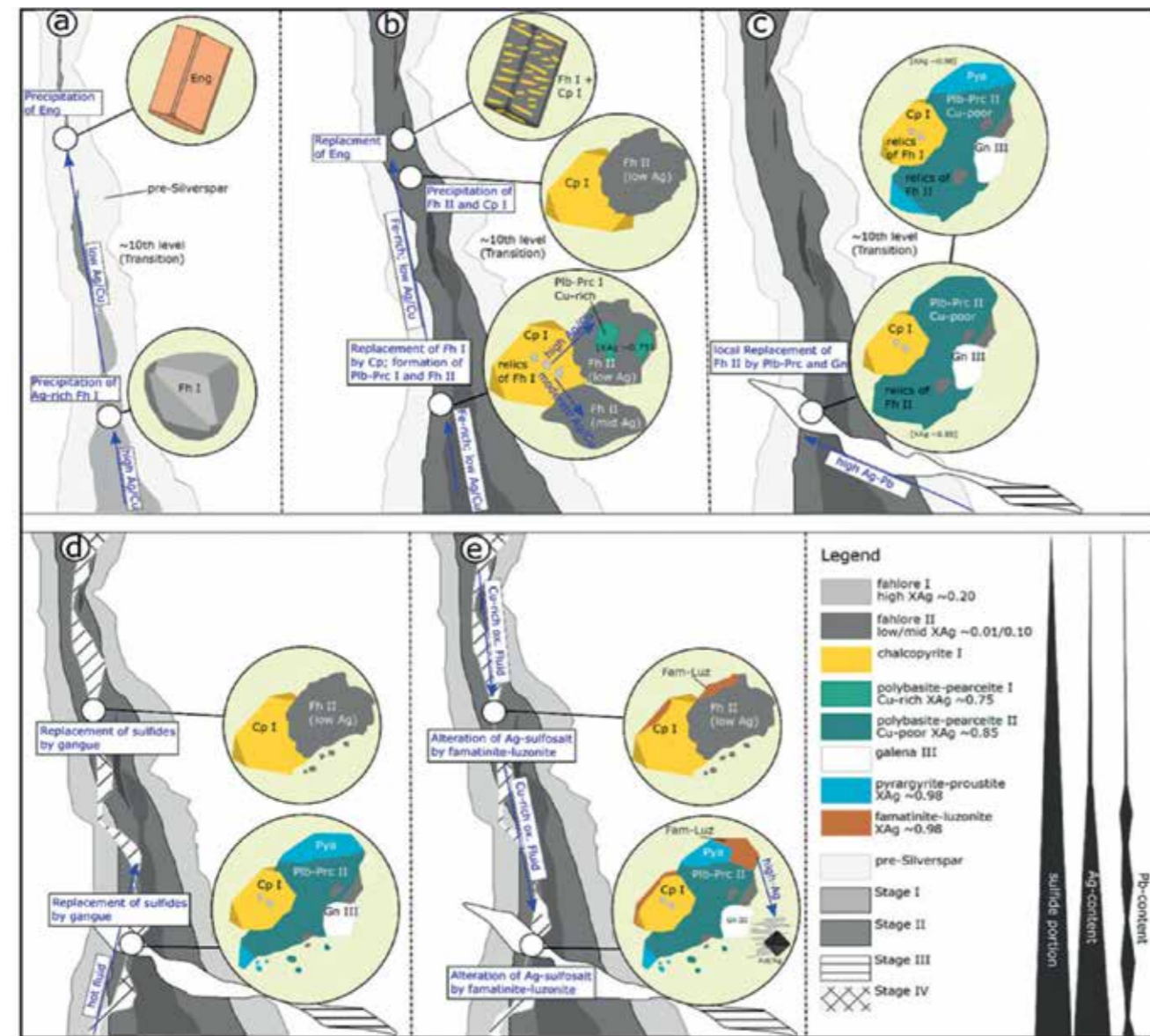


Abb. 1: Bildung des Silberspats in der Grube Clara, Quelle: Keim et al. 2017



tallen hat mit dem technischen Fortschritt in wenigen Jahrzehnten enorm an Bedeutung gewonnen. Anlass für einen Forschungsverbund der Universitäten Aachen, Clausthal, Freiberg und Tübingen gemeinsam mit dem Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie auf aktuellem Stand der Forschung neue Erkundungskriterien für die Suche nach wirtschaftsstrategischen Rohstoffen zu definieren. Mithilfe moderner Analysemethoden werden alle Prozesse untersucht, die zur Lagerstättenbildung und zur ihrer Erhaltung geführt haben. Mit dem Ziel Regionen in Deutschland zu erfassen, die ein besonders hohes Erkundungspotenzial aufweisen.

Zwischenergebnisse

Die Technische Universität Clausthal fokussiert sich auf die Beschaffenheit komplexer Lagerstätten und ihre chemische Zonierung. Mittels Isotopenuntersuchungen konnte belegt werden, dass die Lagerstättenbildung sehr stark von der Zusammensetzung der Kruste begünstigt war. Die Arbeitsgruppe an der RWTH Aachen bearbeitet die Kobaltlagerstätte „Alte Buntekuh“ (Niederschelden, südwestlich von Siegen). Kobalt ist ein Schlüssel-Rohstoff für die Elektromobilität. Anhand von Untertagekartierungen und -bohrungen wird das Lagerstättenpotenzial bewertet, der Verlauf der Erzgänge außerhalb der alten Abbaue sowie die ursprünglichen Gehalte der Lagerstätte bestimmt. Die TU Bergakademie Freiberg nutzt mikroanalytische und mineralogische Untersuchungen, um Skarnvererzungen im Erzgebirge besser zu verstehen. Im Rahmen der Studie wurde unter anderem die unregelmäßige Verteilung des Wertelementes Indium untersucht. Dieses verbirgt sich nicht nur – wie ursprünglich vermutet – in dem Zinksulfid Sphalerit, sondern auch in assoziierten kalk-silikatischen Gangarten. An der Eberhard Karls Universität Tübingen werden die Verwitterungs- und Umlagerungsprozesse untersucht, die hydrothermale Lagerstätten im Schwarzwald nach ihrer Entstehung erfahren haben. Im letzten noch aktiven Bergwerk des Schwarzwälder Erzreviers, der „Grube Clara“, wurde die komplexe Umverteilung der Elemente Antimon und Silber evaluiert. Die Studie zeigt, wie die vielphasige Entstehung solcher Lagerstätten zur Ab- und Anreicherung von Wertmetallen führen kann (Abb. 1).

Regelmäßige Netzwerktreffen führen Wissenschaftler aus den r⁴-geförderten Projekte WISTAMERZ, AFK, HTMET und GRAMM sowie Vertreter der Industrie, Geologischen Dienste und Landesämter zusammen (Abb. 2). Weiterbildungen



Abb. 2: Teilnehmer des vierten Netzwerktreffens kurz vor der Befahrung des Kobalt-Vorkommens „Grube Alte Buntekuh“ im Siegerland, Mai 2017, Foto: HZDR

(Short Courses) in Mikroanalytik und 3D-Modellierung komplettieren das Programm.

Auf der wissenschaftlichen Konferenz GOLDSCHMIDT 2017 in Paris organisierte ResErVar die Sitzung „Ore Deposits of the Variscan Orogenic Belt - From Origin to Preservation“. Neueste Forschungsergebnisse zu variszischen Lagerstätten in England, Portugal, Frankreich und Deutschland wurden vorgestellt.

Ausblick

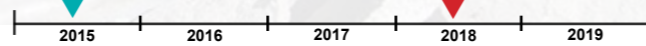
Weiterhin sollen im Rahmen des Projektes Kompetenzzentren für Lagerstättenforschung in Deutschland geschaffen und vernetzt werden. In Form einer Graduiertenschule, werden die Doktoranden gemeinsam in Gelände und Labor geschult, um ein umfassendes Wissen über die Entstehung heimischer Lagerstätten zu gewinnen.

Kontakt

Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF)
Chemnitzer Str. 40
Prof. Dr. Jens Gutzmer | Tel. +49 351 260 4400
E-Mail: j.gutzmer@hzdr.de
Projektlaufzeit: 01.06.2015 – 31.12.2018
Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 114

WISTAMERZ

Prognose wirtschaftsstrategischer Hochtechnologiemetalle am Beispiel des Erzgebirges



Neue Metalle aus traditionsreichem Bergbauegebiet

Das Erzgebirge ist eines der traditionsreichsten Bergbauegebiete Deutschlands. Über viele Jahrhunderte hinweg wurde Bergbau auf die „klassischen“ Rohstoffe wie Silber, Blei, Zink, Zinn, Kupfer, Kobalt, Eisen und Uran betrieben. Heute stehen aufgrund der Weltmarktsituation und des Bedarfs vor allem „neue“ Rohstoffe wie Lithium, Antimon, Indium, Germanium oder Tantal im Fokus des wirtschaftlichen Interesses. Mit WISTAMERZ werden innovative Verfahren zur Exploration und Prognose dieser „wirtschaftsstrategischen Hochtechnologiemetalle“ (WHTM) entwickelt und Aussagen zum Rohstoffpotenzial des Erzgebirges gemacht. Kombinierte wissenschaftliche Methoden, etwa Festgesteins- und Bachsedimentbeprobungen, liefern neue Daten, die alte Berichte, Karten und Modellvorstellungen ergänzen. Durch die Entwicklung computergestützter Auswerteverfahren (künstliche neuronale Netze) soll auf der aktuellen Datenbasis eine neue Stufe der Datenintegration und Prognosegenauigkeit erzielt werden.

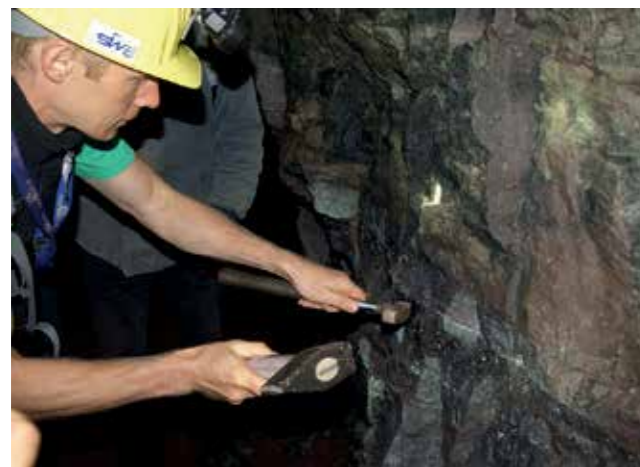


Abb. 1: Probenahme im Teillager Hämmerlein der polymetallischen Skarnlagerstätte Pöhla-Globenstein. Die beprobten Sphalerit-reichen Erze werden auf seltene Metalle untersucht, Foto: Beak Consultants GmbH

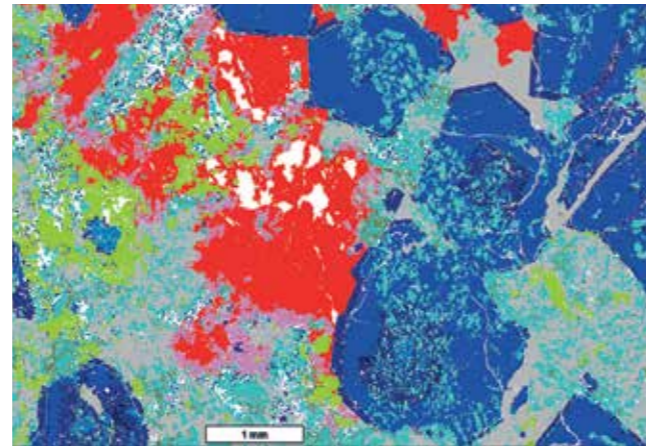


Abb. 2: Mineralverteilungsbild (in Falschfarben) eines Granatskarns aus dem Lagerstättendistrikt Oelsnitz-Schönbrunn (Vogtland, Sachsen). Neben der Kristallgröße und -form werden auch zahlreiche andere Parameter der Einzelminerale, wie die Verwachsung mit anderen Mineralen erfasst, Quelle: Tobias Petermann, MLA, TU Bergakademie Freiberg

Zwischenergebnisse

Im Untersuchungsgebiet wurden 3800 Bachsedimentproben entnommen, geochemisch analysiert und zum Teil sedimentpetrografisch untersucht, um auf mögliche Erzvorkommen in den dazugehörigen Einzugsgebieten zu schließen. Dabei wurden für die klassischen Metalle einerseits geochemische Anomalien aus früheren Arbeiten bestätigt und andererseits neue Anomalien der Hochtechnologiemetalle entdeckt, die bisher nicht Untersuchungsgegenstand waren.

Festgesteins- und Erzproben (Abb. 1) aus bergbaulichen Betrieben, Altbergbau, Bohrkernen, Besucherbergwerken, Lagerstättensammlungen, Halden und natürlichen Aufschlüssen entsprechender Anomalien werden geochemisch, mineralogisch und erzpetrografisch analysiert. Diese Ergebnisse sollen konkrete Hinweise auf hoffige Rohstoffe liefern. Erze des „Skarn“-Typs stellen ein wichtiges Potenzial für die Suche nach den seltenen Metallen im Erzgebirge dar. Skar-

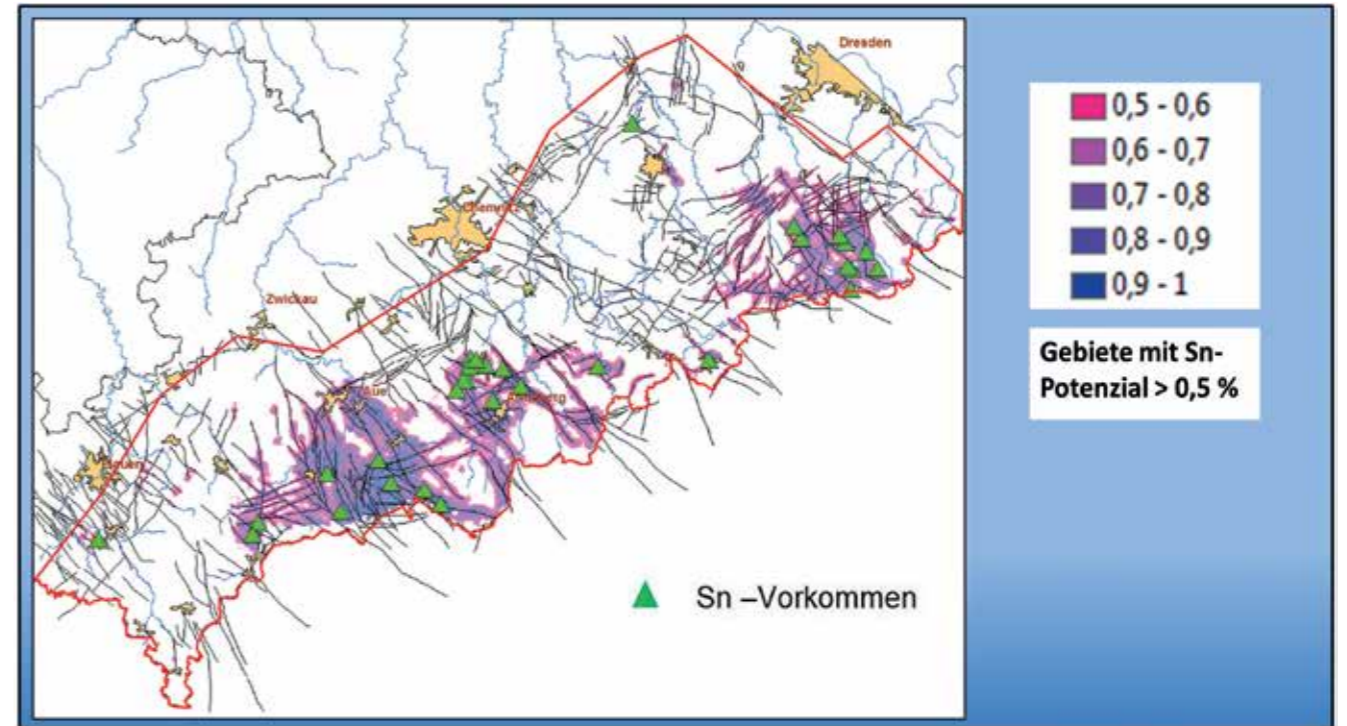


Abb. 3: Rohstoffpotenzialkarte Zinn für das Erzgebirge. Die Zinnpotenziale wurden unter Nutzung von Altdaten ermittelt. Mit den neuen erfassten Daten können derartige Karten für eine Vielzahl wichtiger Elemente gerechnet werden, Quelle: Beak Consultants GmbH

ne sind feinkörnige Hochtemperatur-Umwandlungsgesteine aus kalkhaltigen Ausgangsgesteinen. Neben den Hauptbestandteilen Pyroxen, Granat, Magnetit und Chlorit können sulfidische Imprägnationen mit ökonomischer Bedeutung auftreten (Abb. 2). Die bisher untersuchten Vorkommen weisen häufig erhöhte Gehalte der Buntmetalle Zink und Kupfer sowie der seltenen Metalle Zinn, Wolfram und Indium auf.

Ausblick

Innovative Technologien werden vor allem im Bereich der Datenauswertung und Potenzialprognose entwickelt (Abb. 3). Die Prognose mit Hilfe künstlicher neuronaler Netze bietet mannigfaltige Möglichkeiten raumbezogene Daten in die Auswertung einzubeziehen und somit deutlich bessere Ergebnisse zu erhalten. Die so erstellten Prognosekarten werden einen wichtigen Beitrag zur Rohstoffexploration im Erzgebirge liefern (Abb. 3).

Außerdem wird unter Zuhilfenahme der MLA (Mineral Liberation Analyser, einem Rasterelektronenmikroskop gekop-

pelt mit Röntgenfluoreszenzanalysator und umfangreicher Softwareausstattung zur Dateninterpretation) eine neue Methode zur schnellen Auswertung von Bachsedimenten entwickelt, die einen Beitrag zur Rohstoffexploration liefern wird.

Kontakt

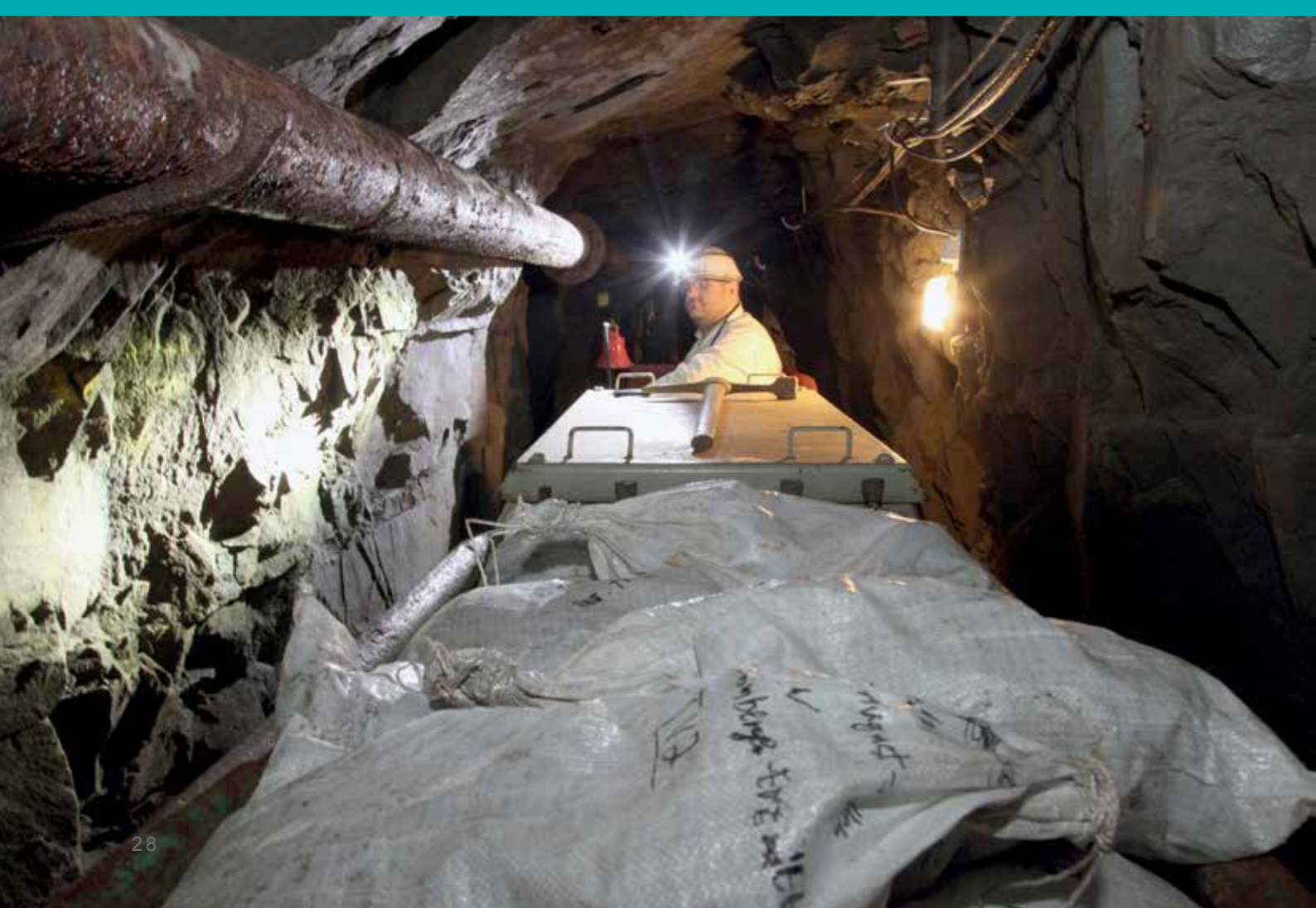
Beak Consultants GmbH
 Am St. Niclas Schacht 13
 09599 Freiberg
 Dr. Andreas Barth | Tel. +49 3731-781350
 E-Mail: andreas.barth@beak.de
 Projektlaufzeit: 01.06.2015 – 31.05.2018
 Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 119



r⁴-Verbundprojekte

Gewinnung und Aufbereitung von Primärrohstoffen

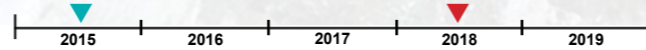
- ▶ AFK
- ▶ ELIZE
- ▶ OptiWiM
- ▶ SEEsand
- ▶ SE-FLECX
- ▶ SEM²
- ▶ UPNS4D+





AFK

Aufbereitung feinkörniger heimischer polymetallischer In/W/Sn-Komplexerzlagerstätten



Geht nicht, gibt's nicht – neue Aufbereitungsstrategie für sächsische Lagerstätten

Deutschland verfügt über gut zugängliche Erzlagerstätten, die einen wichtigen Beitrag zur heimischen und globalen Versorgung vor allem mit Zinn und Indium leisten könnten. Trotz ihrer beträchtlichen Metallgehalte sind diese Lagerstätten bisher fast ungenutzt geblieben. Der Grund: die dort enthaltenen Komplexerze, in denen mehrere unterschiedliche Wertminerale im Gesteinsverbund fein verteilt vorliegen, galten bisher als wirtschaftlich nicht aufbereitbar. Denn in klassischen Ansätzen kann eine große Menge solcher Erze nur unter hohem Energieaufwand und einer geringen Wertstoffausbeute verarbeitet werden. Um das Potenzial doch noch ausschöpfen zu können, arbeitet ein interdisziplinäres Team aus Geologen, Ingenieuren und Modellierern an einem neuen wirtschaftlichen und energieeffizienten Aufbereitungskonzept für die Komplexerze. Im Fokus steht die Optimierung der gesamten Prozesskette, von der Zerkleinerung und Vorsortierung bis hin zur Trennung feinsten Gesteinspartikel. Untersucht wurden dafür unterschiedliche

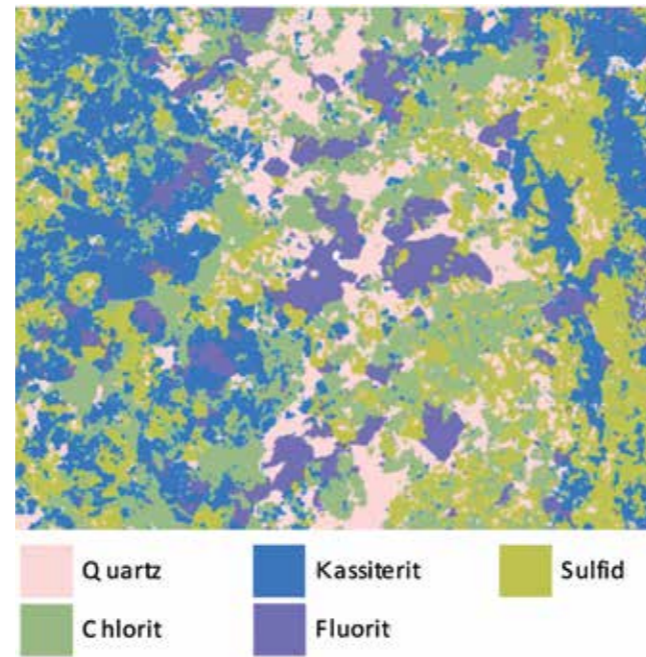


Abb. 2: Assoziation von Kassiterit mit Chlorit in der Mineral Liberation Analysis (MLA), Quelle: HZDR

Lagerstätten im Erzgebirge, insbesondere die Lagerstätte Hämmerlein-Tellerhäuser (Abb 1) im sächsischen Pöhla, an der zahlreiche kleine und große Proben entnommen werden konnten.

Zwischenergebnisse

Mit Hilfe moderner Analysemethoden sowie computerbasierter Prozesssimulation wurden Mikrostruktur und Mineralogie der Erze beziehungsweise die geologische Struktur der gesamten Lagerstätte im Detail analysiert (Abb. 2) und neue Aufbereitungsansätze getestet. Dabei hat sich gezeigt, dass sich die eigentlichen Wertminerale nur in bestimmten Gesteinstypen anreicherten. Diese sogenannten Paragenesen sollen im Aufbereitungsprozess frühzeitig aus dem Ganggestein herausgetrennt werden, sodass ein großer Teil des Materials ohne weitere Aufbereitung direkt in der Lagerstätte verbleibt. Die wertstoffführenden Gesteinsbrocken werden mithilfe von Brechern zerkleinert, bevor sie mittels



Abb. 1: Vorort-Untersuchungen in der Lagerstätte Hämmerlein-Tellerhäuser in Pöhla Sachsen, Foto: HZDR

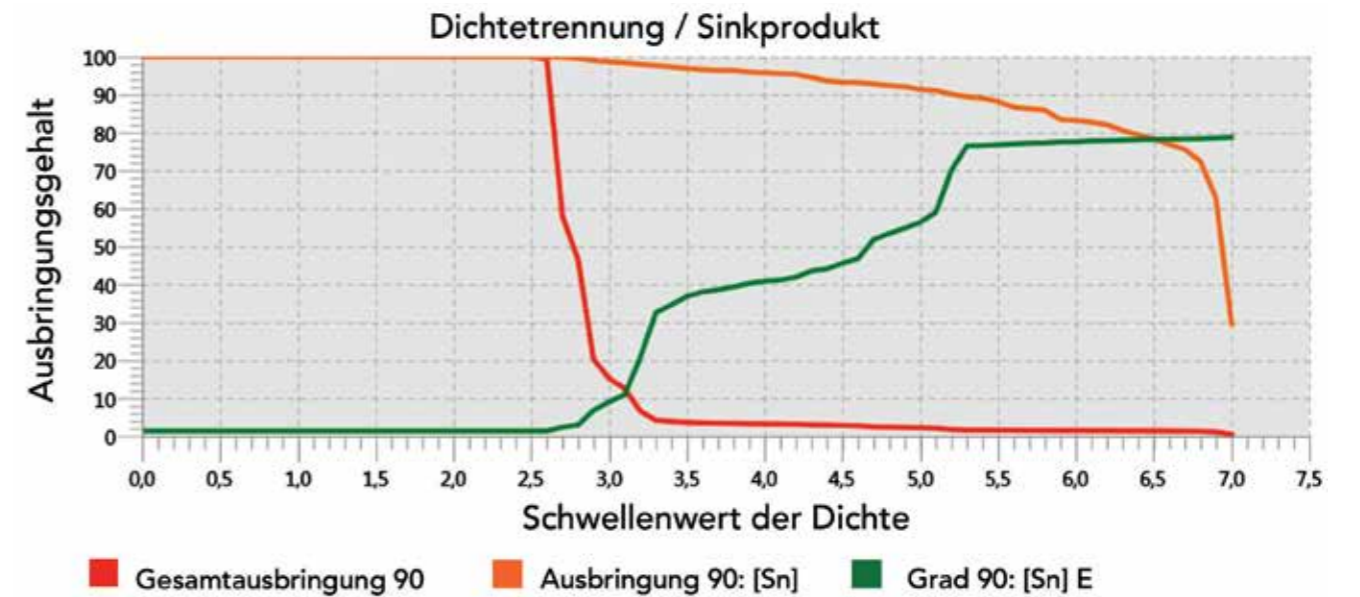


Abb. 3: MLALookUP simuliert Aufbereitungsprozesse anhand von MLA-Daten, Quelle: HZDR

sensorbasierter Sortieranlage in verschiedene Fraktionen geteilt werden. Da die wertreichen Paragenesen über eine geringere Festigkeit verfügen, können sie bereits während der ersten Mahlschritte identifiziert, angereichert und damit Energie für die Zerkleinerung gespart werden. Die frühzeitige Trennung der verschiedenen Gesteinstypen entlastet die weitere Aufbereitung, die so mit weniger Material, Prozessschritten, störenden Verunreinigungen und Energie auskommt. Durch die genaue Analyse der Mineralverwachsungen konnten außerdem verschiedene Aufbereitungswege im Computer simuliert und auf diese Weise – mit vergleichsweise geringem experimentellem Aufwand – die erfolgversprechendsten Aufbereitungsschritte und -ketten identifiziert werden (Abb. 3). Dies ermöglichte es, einen auf das Komplexerz zugeschnittenen Prozessplan vorzuschlagen. Neben der Herstellung von Mineralkonzentraten mit Zinn, Zink, Indium, Wolfram, Eisen oder auch qualitativ hochwertigem Schotter, wird nach Abschluss der Analysen eine Einsparung an Energie und Chemikalien gegenüber klassischen Ansätzen um einen Faktor 2-7 (je nach Schritt und Trenneffizienzen im Industriemaßstab) erwartet.

Ausblick

Es zeichnet sich ab, dass eine wirtschaftliche und energieeffiziente Aufbereitung von Komplexerzen mittels moderner Methoden möglich ist. Derzeit ist geplant, in Kooperation mit europäischen Partnern, die an ähnlichen Erzen arbeiten, die entwickelte Prozesskette in einer gemeinsamen Pilotanlage zu testen.

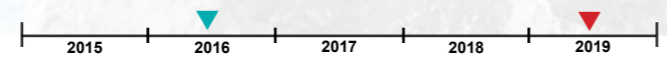
Kontakt

Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie
 Chemnitz Str. 40
 09599 Freiberg
 Prof. K. Gerald van den Boogaart | Tel. +49 351 260 4409
 E-Mail: boogaart@hzdr.de
 Projektlaufzeit: 01.06.2015 – 31.05.2018
 Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 104



ELIZE

Elektroimpulszerkleinerung in großtechnischen Zerkleinerungsmaschinen zur Aufbereitung komplexer Erze



Hochspannungsimpulse für die Aufbereitung komplexer Erze

Komplexerzlagertstätten der Erzgebirgsregion enthalten eine Reihe wirtschaftsstrategischer Hochtchologiemetalle und seltene Erden. Deren Gewinnung wird aufgrund der polymetallisch komplexen mineralogischen Gefüge der Erze und daraus resultierenden Eigenschaften, wie hoher Zähigkeit, bisher aber als unwirtschaftlich betrachtet. Dieses soll sich mit dem Projekt ELIZE ändern.

Das Projekt setzt auf die Anwendung innovativer Elektroimpulstechnologie und entwickelt eine Pilotmaschine zur Aufbereitung komplexer Erze. Ziel ist es, mittels hochenergetischer Elektroimpulse die Komplexerzgefüge zu schwächen bzw. so zu schädigen, dass die nachfolgende Aufbereitung wirtschaftlicher und energieeffizienter wird.

Zwischenergebnisse

Der erste Schritt war die Auswahl relevanter Erze der Erzgebirgsregion: Scheelitskarn aus Antonsthal, Granatskarn aus Pöhla und Greisenerz aus Sadisdorf. Deren mechanische und mikrostrukturelle Eigenschaften wurden ausführlich charakterisiert. Für die Anwendung der Elektroimpulszerkleinerung ist die Erzeugung und Ausbreitung von Rissen von besonderem Interesse. Erkenntnisse lieferten Riss erzeugungsversuche mit den ausgewählten Erzen sowie Eibenstock-Granit als Gesteinsart.

Für die Erzeugung der Impulse entwickelte das ELIZE-Team einen eigenen Marx-Generator. Dieser hat 15 Stufen und eine maximale Ausgangsspannung von 600 Kilovolt. Die typische Energie für einen Einzelimpuls beträgt etwa 350 Joule.

	Skarnerz	Granatskarn	Greisenerz	Eibenstock Granit
Original				
Nach Elektroimpulse-Tests				
Makroskopische Analyse nach Elektroimpulse-Tests				

Abb. 1: Erzproben vor und nach der Behandlung mit Elektroimpulsen. Oberste Reihe: Materialien in ihrem Originalzustand. Mittlere Reihe: Proben nach Elektroimpuls-Tests (Skarnerz, Granatskarn und Greisen: Einzelimpuls-Tests; Eibenstock Granit: Zehn-Impulse-Test) und untere Reihe: makroskopische Analyse im Stereoskop, Fotos: Mezzetti/TUBAF-IAM.

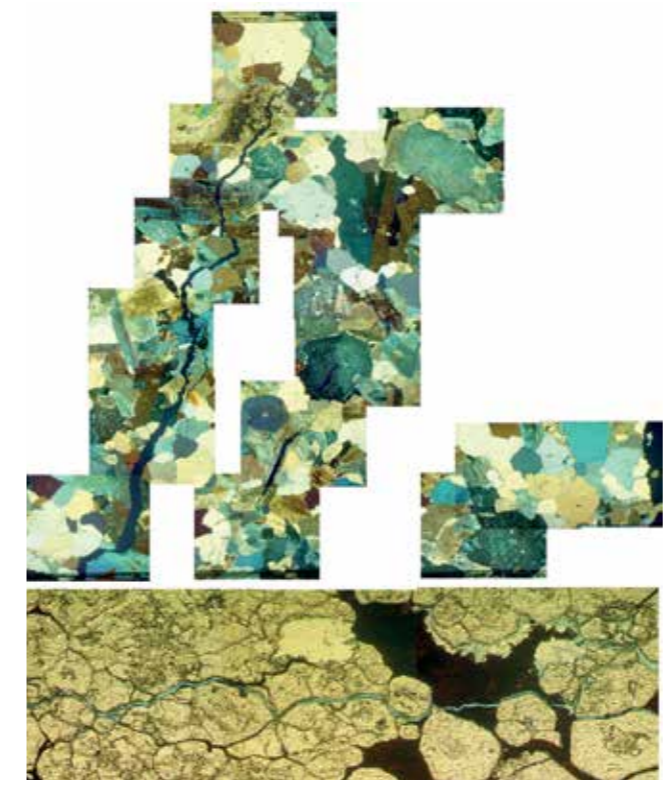


Abb. 2: Beispiele der Rissausbreitungsanalyse in (a) Eibenstock Granit und in (b) Greisen, Fotos: Popov, TUBAF-IAM

Bei den Versuchen standen folgende Fragen im Vordergrund: Wo entstehen die Risse? Wie erfolgt die Rissausbreitung – entlang der Korngrenzen oder durch bestimmte mineralische Phasen? Abb. 1 zeigt eine Zusammenfassung der Ergebnisse. Im Fall der Erzproben war es möglich, nach einem Einzelimpuls die Erzstücke komplett zu zerstören.

Die durch Elektroimpulse induzierten Risse breiten sich unterschiedlich aus. Während die Greisenprobe Bereiche mit vorwiegender Ausbreitung zwischen Korngrenzen zeigt, findet die Rissausbreitung in Granit sowohl durch die Körner als auch entlang der Korngrenzen zwischen den Mineralkörnern statt. In Abb. 2 sind Beispiele der durch Elektroimpulse erzeugten Risse zu sehen.

Etwa 20 % der Risse in den Granit-Proben befanden sich an den Korngrenzen zwischen Mineralkörnern. Die Verteilung zwischen den Phasen wurde quantifiziert und die Ergebnisse sind in Abb. 3 zu sehen. Die Rissausbreitung fand vorwiegend zwischen Quarz und Quarz bzw. Quarz und Feldspat statt.

Die Eigenschaften der einzelnen mineralogischen Phasen haben somit einen großen Einfluss darauf, wie sich die

durch Elektroimpulse erzeugten Risse im Material ausbreiten. Weitere Versuche sind nötig, um den Zusammenhang zwischen der Rissausbreitung, den Prozessparametern und den Gefügeeigenschaften zu bestimmen.

Durch die Elektroimpulse wurden erfolgreich Risse in den Erzproben erzeugt. Diese Beschädigung kann zu einer Reduzierung der nötigen Energie für den gesamten Aufbereitungsprozess führen.

Projektfortgang

Derzeit wird am Institut für Aufbereitungsmaschinen (IAM-TUBAF) der Versuchsstand für die Aufbereitung größerer Erzmengen mittels Elektroimpulszerkleinerung (EIZ) aufgebaut.

Der EIZ-Versuchsstand am IAM ermöglicht weitere Untersuchungen mit den ausgewählten Materialien und die Evaluation der Prozessfaktoren. Die gewonnenen Erkenntnisse fließen direkt in die Entwicklung der Pilotanlage für einen kontinuierlichen Betrieb ein.

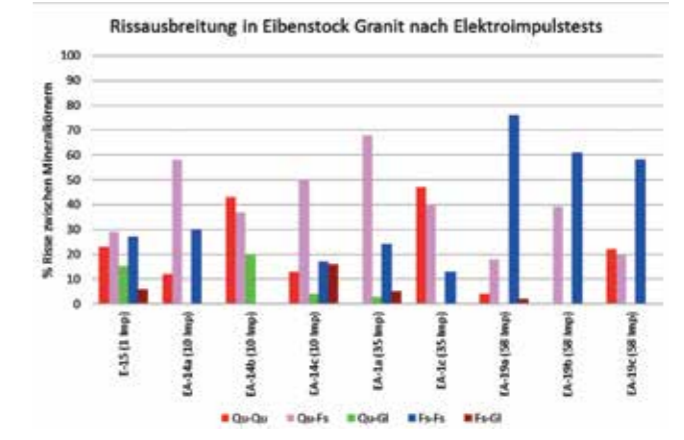


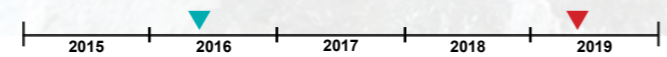
Abb. 3: Quantifizierung der Rissausbreitung entlang Korngrenzen zwischen Mineralkörnern in Eibenstock Granit (Qu-Qu: Quarz-Quarz, Qu-Fs: Quarz-Feldspat, Qu-Gl: Quarz-Glimmer, Fs-Fs: Feldspat-Feldspat, Fs-Gl: Feldspat-Glimmer), Quelle: Mezzetti, TUBAF-IAM

Kontakt
 TU Bergakademie Freiberg,
 Institut für Aufbereitungsmaschinen
 Lampadiusstraße 4
 09599 Freiberg
 Prof. Dr. Holger Lieberwirth | Tel. +49 3731 39-2558
 E-Mail: Holger.Lieberwirth@iam.tu-freiberg.de
 Projektlaufzeit: 01.07.2016 – 30.06.2019
 Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 108



OptiWiM

Optimierung der Wertschöpfungskette für polymineralische Erze wirtschaftsstrategischer Metalle



Ausgangssituation

Polyminerale Erze tragen weltweit zu den Ressourcen an Hochtechnologiemetallen, wie Niob, Zirkon oder Seltenen Erden bei. Diese vielfach an granitoiden Gesteinen gebundenen Rohstoffvorkommen sind zwar aufgrund ihres vielfältigen Angebotspektrums wirtschaftlich robuster als andere, besitzen derzeit jedoch noch den technologischen und wirtschaftlichen Nachteil einer vergleichsweise aufwändigen Gewinnung und Aufbereitung. Im Zusammenhang mit der gesteigerten Notwendigkeit zur gesicherten Bereitstellung von wirtschaftsstrategischen Rohstoffen rücken diese bislang weniger beachteten Ressourcen verstärkt in den Fokus.

Nutzung aller mineralischen Wertkomponenten

Im Rahmen des Projektes OptiWiM wird als idealtypisches Beispiel für polymineralisch-granitgebundene Hochtechnologiemetall-Vorkommen die Lagerstätte Khalzan Buregtei in der Mongolei untersucht (Abb. 1). Die bisherige Prozessentwicklung der mongolischen Konzessionsinhaber erlaubt bezogen auf den Marktwert lediglich das Ausbringen von weniger als 10 % der vorhandenen Hochtechnologiemetalle. Dies, so zeigen die Untersuchungen des Projektes, resultiert aus dem polymineralischen Charakter sowie der textuellen Komplexität der Erze. Die einzelnen mineralischen Komponenten verhalten sich aufgrund unterschiedlicher physiko-chemischer Eigenschaften in technischen Aufbereitungsprozessen unterschiedlich.



Abb. 1: Polyminerale Erze aus der Lagerstätte Khalzan Buregtei, Mongolei, nutzt „OptiWiM“, Foto: André Hellmann, RWTH Aachen University

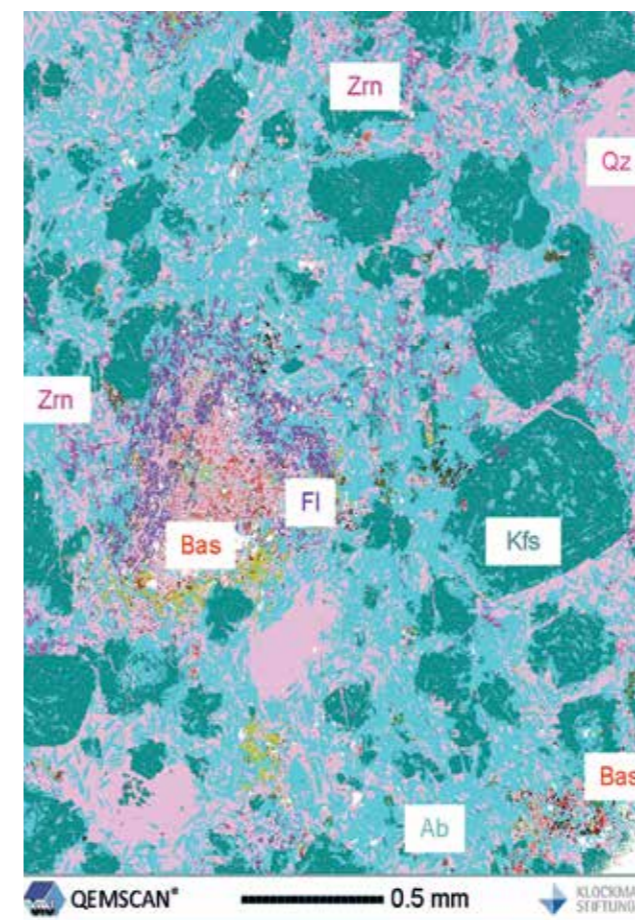


Abb. 2: Farbcodiertes rasterelektronenmikroskopisches Bild eines vererzten Granits bestehend aus Feldspat (Albit Ab, Kalifeldspat Kfs) und Quarz (Qz). Erzminerale sind das SEE-Karbonat Bastnäsit (Bas), das Zr-Silikat Zirkon (Zm) und das Fluor-Mineral Fluorit (Fl)

sen unterschiedlich. Einzelne Prozessketten, die in anderen Lagerstätten erfolgreich Anwendung finden, erlauben hier nur die Extraktion eines Bruchteils des polymineralischen Inventars.

Es wird deutlich, dass es für eine effiziente Nutzung der Lagerstätte, neben dem Gehalt der Erzminerale, viel mehr auf die Betrachtung der prozessrelevanten mineralogischen und textuellen Parameter ankommt. Das Ziel des Projektes OptiWiM ist die Verknüpfung mineralogischer Informationen mit gewinnungstechnischem und metallurgischem „Know-how“ – zur Entwicklung einer effizienten, alle Hochtechnologiemetalle umfassenden, ökonomisch und ökologisch verantwortungsvollen Rohstoffgewinnung in der Lagerstätte Khalzan Buregtei. Diese interdisziplinäre Vernetzung zwischen Mineralogie und Rohstoffingenieurwesen, ausgerichtet auf

die Bewertung und Optimierung aller Prozesse entlang der Wertschöpfungskette mineralischer Rohstoffe, ist das Feld der Geometallurgie, welches die wesentliche Säule des Projektes OptiWiM darstellt.

Zwischenergebnisse

Der erfolgte Aufbau einer Lagerstättendatenbank, eine 3D-Lagerstättenmodellierung, Ergebnisse einer Geländekampagne sowie einer Lagerstätten-petrologischen und aufbereitungstechnischen Untersuchung an über 500 kg (Abb. 2) Probenmaterial bilden nun die Grundlage für die Erstellung eines effizienteren Prozessschemas.

Projektfortgang

Aufbauend auf den bisherigen Projektergebnissen, wird nun ein detailliertes Prozessschema für die unter dem Gesichtspunkt der Rohstoffeffizienz bestmögliche Extraktion aller Hochtechnologiemetalle entwickelt. Dabei wird auch versucht Nicht-Erzminerale so zu separieren, dass sie als Industriemineralien einsetzbar sind und das Volumen der Bergbaureststoffe reduziert werden kann. Die gefundenen Lösungen werden auf ihre technisch-wirtschaftliche Anwendbarkeit hin geprüft. Die weltweite Verbreitung des hier untersuchten Lagerstättentyps erlaubt die Übertragbarkeit der optimierten Verfahren auf zahlreiche andere Vorkommen. Dabei wird für die Lagerstätte auf der Grundlage des erstellten Modells, mit einem auf unterschiedlichen parametrierbaren Optimierungsalgorithmen basierenden Wirtschaftlichkeitsrechner, die optimale Vorgehensweise beim Abbau ermittelt – mit dem Ziel, den Abbauaufwand zu minimieren und gleichzeitig die Wertstoffausbringungsquote zu erhöhen.

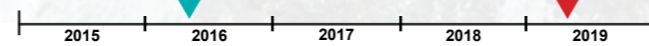
Kontakt

CBM Gesellschaft für Consulting,
Business und Management mbH
Niederbexbacher Straße 67
66450 Bexbach
Prof. Dr. Mathias J. Bauer | Tel. +49 6826 510910
E-Mail: bauer@cbm-ac.de
Projektlaufzeit: 01.05.2016 – 30.04.2019
Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 113



SEEsand

Gewinnung schwerer Seltenerdelemente (SEE) aus Schwermineralsanden



Sand als Hightech-Rohstoff

Die Fortentwicklung grüner Technologien wie Windkraft und Elektromobilität erfordert den Einsatz wirtschaftsstrategischer Hightech-Rohstoffe. Darunter sind „Schwere Seltene Erden“, wie das Metall Dysprosium, das Permanentmagnete für Windkraftanlagen leistungsstärker macht.

In der Vergangenheit wurde aus den Sanden der Ostseeküste das Mineral Zirkon zur Erzeugung von Zirkoniummetall gewonnen, zwischen 1953-1962 circa 1.000 Tonnen. Dabei wurde auch erkannt, dass der enthaltene Zirkon insbesondere die schweren Seltenerdelemente enthält. Heute werden jährlich allein mehr als 500.000 m³ Sand aus der Ostsee allein für die Strandsanierung gewonnen. Dieser Sand enthält in der sogenannten Schwermineralfraktion den Zirkon und damit die Seltene Erden, die Zielelemente

des Projektes „SEEsand“. Gleichzeitig belegt dies das Potenzial für wirtschaftsstrategische Hightech-Rohstoffe auch außerhalb der klassischen deutschen Bergbauggebiete, wie Erzgebirge oder Harz.

Zwischenergebnisse

Im Archiv des Landesamts für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern fand sich ein Schatz wissenschaftlicher Daten (u. a. 20.869 Schwermineraldaten von 1971 – 2015 und Berichte), der gehoben und als Wegweiser zu hoffigen Sandlagerstätten nutzbar gemacht wird (Abb. 1).

Wissenschaftlich-technologisches Hauptziel des Projektes ist die Entwicklung effizienter und umweltfreundlicher Technologien zur Gewinnung der Seltene Erden. Dazu werden

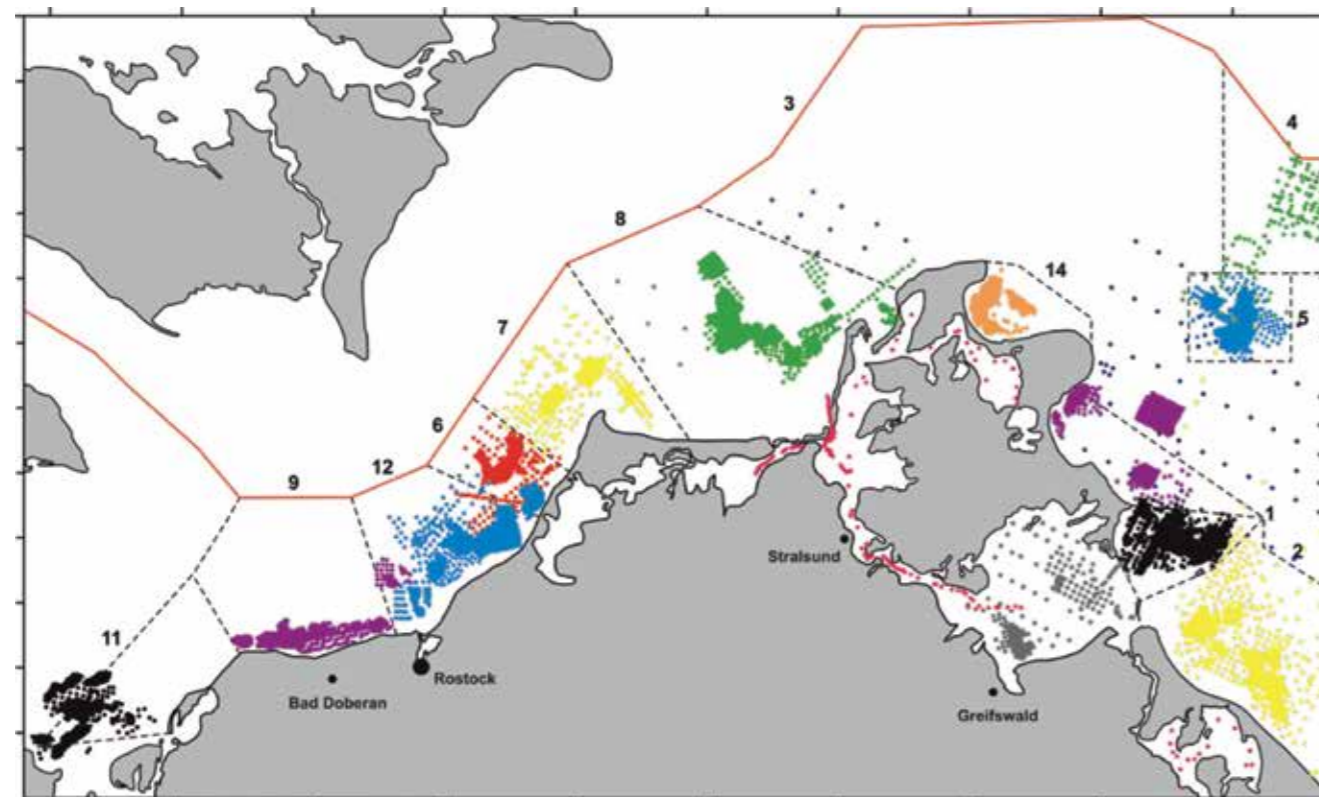


Abb. 1: Gebiete von Sandlagerstätten mit Schwermineralgehalten, Quelle: Andreas Börner, Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (die Farben bezeichnen die Untersuchungsgebiete)



Abb. 2: Sandaufbereitung auf dem Schüttelherd: Schwerminerale (rot) und Quarzsand (weiß) als getrennte Fraktionen, Foto: IFAD, TU Clausthal

die Komponenten des Ostseesandes zunächst nach ihrer Dichte sortiert, beispielsweise mit Schüttelherden (Abb. 2).

Das „Leichtgewicht“ Quarz wird vielfältig in der Baustoff- und Glasindustrie und als Grundlage zur Fertigung von Siliziumwafern oder in der Solarindustrie eingesetzt.

Durch Anwendung von Magneten verschiedener Stärke können die schweren Anteile weiter aufgetrennt werden:

- stark magnetischer Magnetit, verwendet als Eisenerz
- schwächer magnetischer Ilmenit zur Gewinnung des Metalls Titan
- schwach magnetischer Granat (etwa 80 Prozent des Gehalts an Schwermineralen), verwendbar als Schleif- oder Sandstrahlmittel
- nicht magnetischer Zirkon zur Gewinnung der Seltene Erden und als wertvolles feuerfestes Material

Im Zirkon sind die wertvollen schweren Seltene Erden angereichert (Abb. 3). Die Nutzung ohnehin für Küstenschutz oder Bauindustrie gewonnener Sande zur Rohstoffgewinnung macht das Projekt im besten Sinne nachhaltig.

Projektfortgang

Geeignete Technologien zur Gewinnung der Seltene Erden zeichnen sich bereits ab und werden in „SEEsand“ weiter entwickelt. Die Effizienz der Verfahren soll dabei beispielsweise durch Einsatz der sogenannten Tribochemie, also der gezielten mechanischen Beanspruchung zur Verbesserung der Laugungsprozesse, oder von Ultraschalltechnik gesteigert werden.

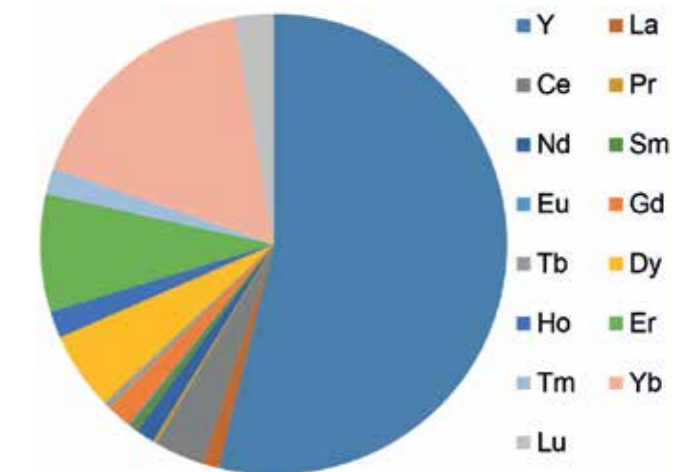
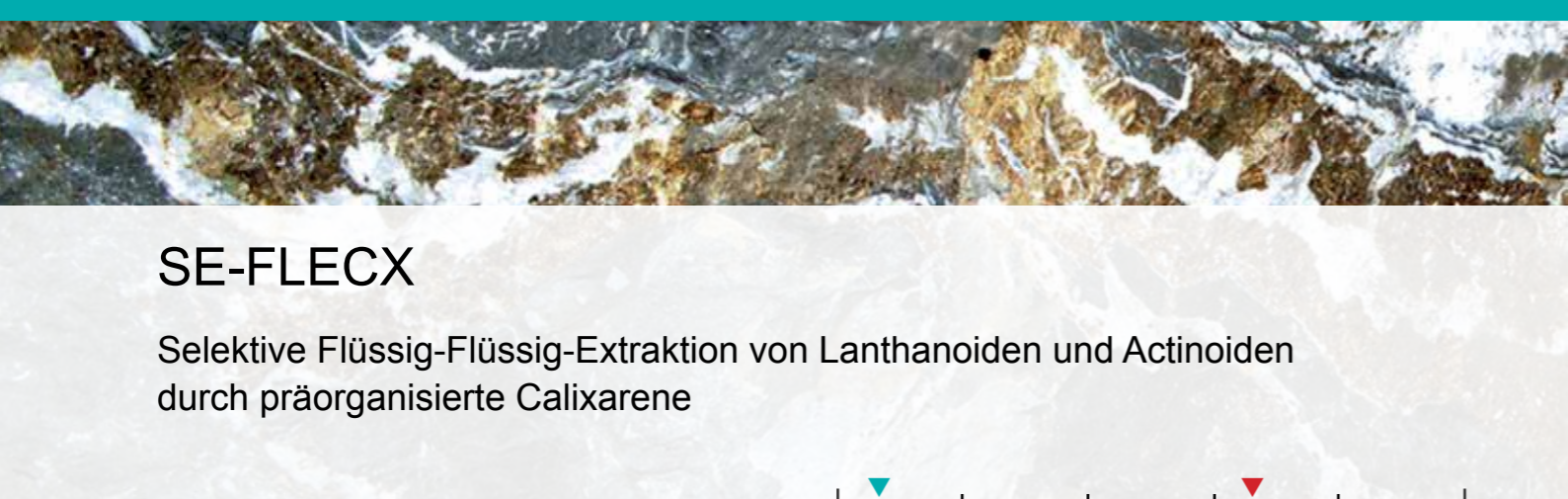


Abb. 3: Anteile der Seltene Erden in Zirkon der Ostseeküste: 93,1 % Schwere SEE, 6,9 % Leichte SEE, Quelle: G.E.O.S.

Trotz der bekannten chemischen Beständigkeit des Zirkons können die Seltene Erden durch Biolaugung abgetrennt werden. Hierzu laufen weitere Laboruntersuchungen. Zusammen mit anderen bio-basierten Verfahren soll eine umweltfreundliche Gewinnungstechnologie für die Seltene Erden entwickelt werden.

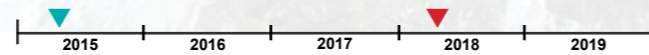
Kontakt

G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH
 Schwarze Kiefern 2
 09633 Halsbrücke
 Dipl.-Chem. Mirko Martin | Tel. +49 3731 369-296
 E-Mail: m.martin@geosfreiberg.de
 Projektlaufzeit: 01.05.2016 – 30.04.2019
 Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 115



SE-FLECX

Selektive Flüssig-Flüssig-Extraktion von Lanthanoiden und Actinoiden durch präorganisierte Calixarene



Metalle der Zukunft

Seltene Erden (Lanthanoide), eine Gruppe von 17 Elementen mit ähnlichen Eigenschaften, sind aus einer Vielzahl heutiger Produkte nicht mehr wegzudenken. Dazu gehören sowohl Gegenstände des täglichen Bedarfs wie LCD-Bildschirme oder Akkus für Laptops als auch hochspezifische Anwendungen wie Dauermagnete in Windkraftanlagen.

Um eine sichere Versorgung mit Seltenen Erden zu gewährleisten, müssen neue und innovative Methoden zur Aufbereitung von Erzen und Konzentraten sowie zur Verbesserung der weiteren Prozesskette durch Entwicklung neuartiger Extraktionsmittel gefunden werden. „SE-FLECX“ nimmt beide Herausforderungen an, wobei drei Hauptziele im Fokus stehen: die Aufbereitung von unkonventionellen Rohstoffen, die Abtrennung der Actinoide und die selektive Auftrennung einzelner Seltenen Erden. Aufgrund ähnlicher Eigenschaften

der Elemente und der steigenden Komplexität aufzubereitender Erze, ist die Bewältigung dieser Aufgaben entscheidend für die Erarbeitung zukünftig durchsetzbarer Prozesse.

Containermoleküle zur effizienten Gewinnung Seltener Erden

Heutzutage werden Seltene Erden vor allem aus einem Mineral – Bastnäsit – gewonnen, obwohl sie in mehr als 200 Mineralen zu finden sind. Die Forscher im SE-FLECX-Projekt arbeiten daran, Prozesse zur Gewinnung der Seltenen Erden aus silikatischen Erzen samt wertvollen Begleitelementen zu erarbeiten. Dies ist jedoch aufgrund der spezifischen Aufbereitungsproblematik (geringe Konzentration der Zielelemente, Kieselgelbildung) keine leichte Aufgabe.

Darüber hinaus werden auch die Synthese und der Einsatz von besonderen Containermolekülen, den sogenannten Ca-



Abb. 1. Gewinnung von Seltenen Erden aus unkonventionellen Rohstoffen unter Einsatz von Calix[4]arenen, Quelle: Helmholtz-Zentrum

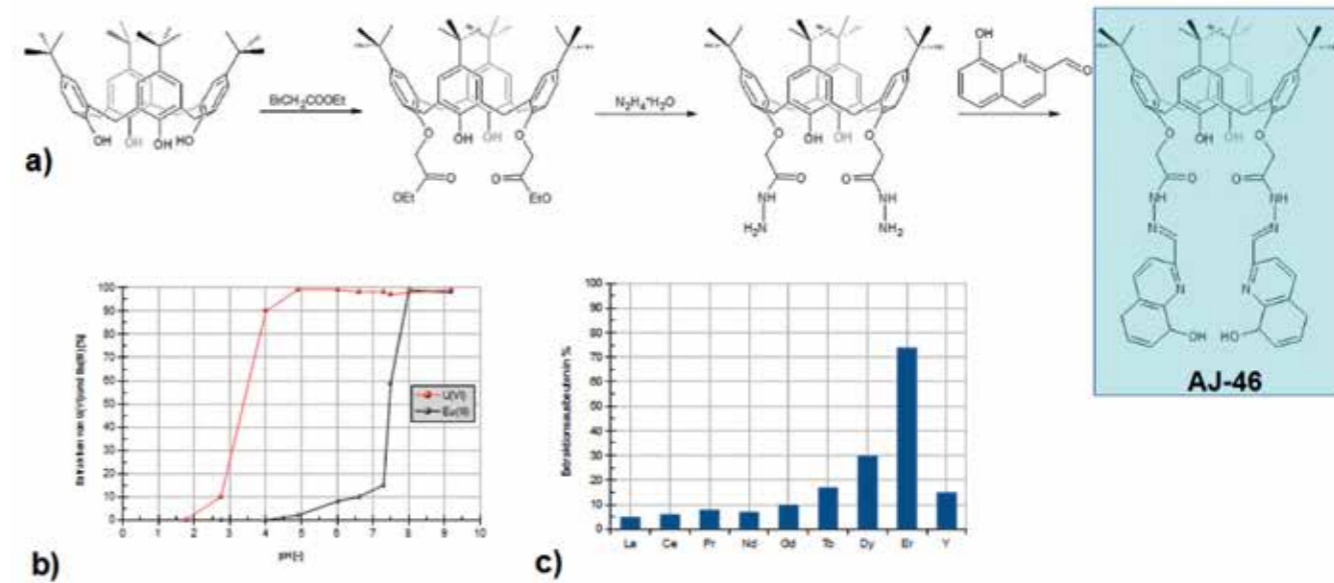


Abb. 2: a) Im Projekt entwickelter Vorschlag zur Synthese von AJ46 / b) Entstrahlung der Lösung / c) Extraktion von Seltenen Erden mit AJ46, Quelle: Helmholtz-Zentrum

lix[4]arenen, für eine effizientere Gewinnung der Elemente untersucht. Durch gezielte Modifikationen in den Strukturen, sollen die Verbindungen sehr selektiv auf die Seltenen Erden ansprechen und sie dadurch effektiver als die gewöhnlichen Extraktionsmittel, beispielsweise Di-(2-ethylhexyl)phosphorsäure, aus den wässrigen Lösungen herausziehen.

Die Raffination der mit Seltenen Erden angereicherten Phase kann mit den Calix[4]arenen erfolgen. Im Laufe des Projektes wurde eine Reihe von interessanten Containermolekülen synthetisiert und erprobt. Insbesondere ein Vertreter, das sogenannte AJ46, zeigt zwei besondere Eigenschaften. Zum einen ist er in der Lage, Uran von den Seltenen Erden abzutrennen, zum anderen reagiert er selektiv auf bestimmte Seltene Erden, beispielsweise Erbium. Somit ist es möglich, dieses Containermolekül bei zwei wichtigen Prozessschritten einzusetzen: zur Abtrennung radioaktiver Elemente und zur Gewinnung von reinen Seltenen Erden.



Abb. 3: Das Prinzip der angewendeten Methode zur Gewinnung von Metallen aus Norra-Kärr-Erz., Quelle Helmholtz-Zentrum

Zwischenergebnisse und Ausblick

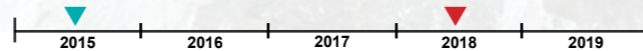
Im Laufe des Projektes ist es gelungen, eine Methode zur Trennung der wertvollen Begleitelemente und Seltenen Erden aus schwedischem Norra-Kärr-Erz zu entwickeln. Dabei werden zwei Phasen mit Metallen wie Zirkonium sowie mit Seltenen Erden angereichert und zur weiteren Raffination verwendet.

Kontakt
 Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf
 Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie
 Abteilung Metallurgie und Recycling
 Chemnitz Straße 40
 09599 Freiberg
 Prof. Dr. Christiane Scharf | Tel. +49 351 260 4429
 E-Mail: c.scharf@hzdr.de
 Projektlaufzeit: 01.05.2015 – 30.04.2018
 Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 116



SEM²

Selten-Erden-Metallurgie – Fortgeschrittene Methoden für die optimierte Gewinnung und Aufbereitung am Beispiel von Ionenadsorptionstonen



Wirtschaftlich und ökologisch

Inhalt des SEM2-Projekts ist es, Lagerstätten der Seltenen Erden in chemisch verwitterten Lateritböden mit optimierten Extraktions- und Aufbereitungsverfahren elementselektiv, kostengünstig und nachhaltig zu erschließen. SEE (Seltene-Erden-Elemente)-reiche Laterite bestehen hauptsächlich aus Kaolinit-Tonmineralen und Schichtsilikaten mit Korngrößen kleiner 2 µm, an welche adsorptiv, also oberflächlich angelagert, vor allem Lanthan (La), Cer (Ce), Praseodym (Pr), Neodym (Nd), Samarium (Sm), Terbium (Tb), Dysprosium (Dy) und Yttrium (Y) gebunden sind.

Das vorgeschlagene Verfahren (Abb. 1) zielt darauf ab, die Wertstoffe ohne Entnahme der Bodenschichten zu laugen, um die negativen Einflüsse auf das Ökosystem signifikant zu reduzieren und auf die Anlage von großflächigen Schlammbecken (Tailings) vollständig zu verzichten.

Die abgeleiteten Einzelziele sind in drei Prozess-Modulen zusammengefasst.



Abb. 1: Verfahrensschritte zur Gewinnung von Seltenen Erden Elementen (SEE) aus Ionenadsorptionstonen (IAC), Quelle: GUB Leipzig

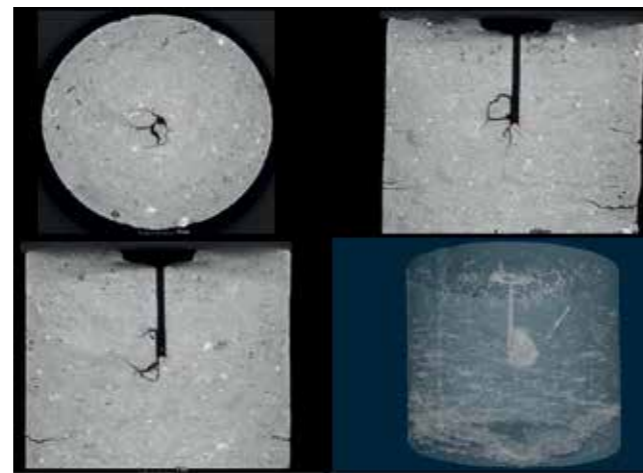


Abb. 2: Risse und Porenhohlräume durch pneumatisches Fracturing, Fotos: phoenix|x-ray, Inspection Technologies, Digital Solutions, Baker Hughes – GE Wunstorf

Zwischenergebnisse

Druck-Injektionen mit komprimiertem, inerten Stickstoff – pneumatisches Fracturing – in die Laterit-Abfolgen sollen den Laugungsprozess in den porösen aber gering-permeablen Tonschichten des Bodens zeitlich und lösungstechnisch verbessern. Im Laborversuch konnte eine Riss- beziehungsweise Auflockerungserzeugung nachgewiesen werden (Abb. 2).

Viele biologische Materialien besitzen die Fähigkeit, Metalle oberflächlich anzulagern (Sorption). Diese Fähigkeit soll zur Gewinnung von Seltenen-Erden-Elementen gezielt ausgenutzt werden. Bei Tests erwiesen sich Wasserlinsen als besonders gute Sorptionsmittel. Durch einfache chemische Prozesse lassen sich aus Wasserlinsen aktivkohleähnliche Biosorbentien herstellen.

Nach der in-situ-Laugung mit einer salzhaltigen Lösung, die chemischen oder biologischen Ursprungs

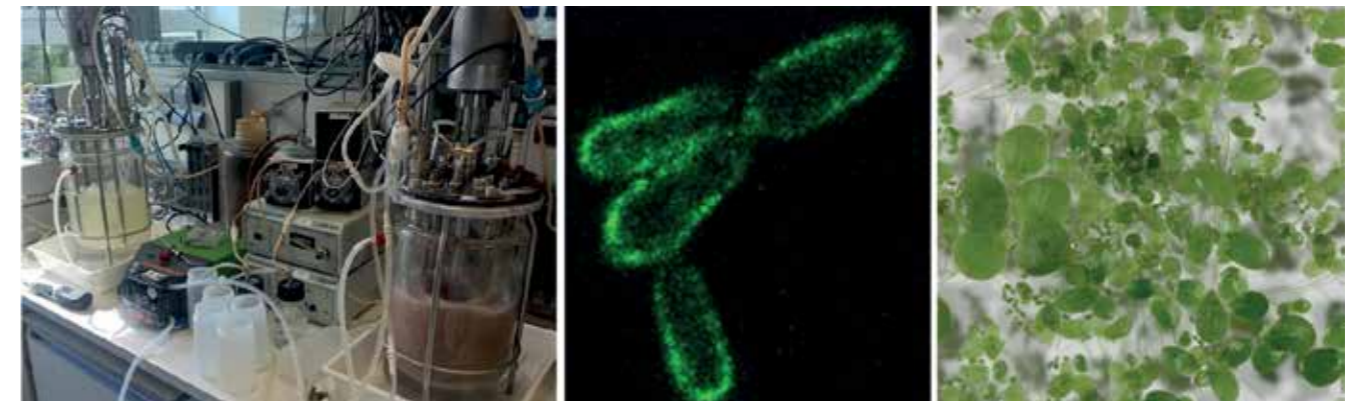


Abb. 3: Mikrobielle Produktion von Komplexbildnern, modifizierten Hefen für die spezifische Biosorption und Wasserlinsen, Quellen: HZDR Rossendorf, IPK Gatersleben und GMBU Halle

sein kann, werden die von der Tonmatrix abgelösten Seltenen-Erden-Elemente aus der Laugungslösung mit dem Biosorbent herausgefiltert.

Bei der mikrobiellen Produktion von Komplexbildnern (Abb. 3) wie Polyglutaminsäure und Glutaminsäure mit *Bacillus licheniformis* ist die Optimierung der Kultivierung weitestgehend abgeschlossen.

Für die Biosorption Seltener Erden wurden Hefezellen genetisch so modifiziert, dass sie neuartige Proteine produzieren. Bindungsproteine auf der Zelloberfläche, die für ein Element, beispielsweise Terbium, spezifisch sind, extrahieren die jeweiligen Ionen aus der Laugungslösung heraus. Die restlichen Elemente bleiben in der Lösung und werden dann von anderen, dem jeweiligen Element angepassten Zellen, sorbiert. Das Ziel ist eine selektive Abtrennung der Seltenen-Erden-Elemente in einzelne hochkonzentrierte Fraktionen, aus denen die Elemente ohne größeren Reinigungsaufwand gewonnen werden können.

Als weitere Alternativen werden die Abtrennung der Seltenen-Erden-Elemente aus der Laugungslösung über Ionenaustauscherharze beziehungsweise über die Fällung als schwer lösliche Salze getestet.

Ausblick

Auf Grundlage der im Projekt entwickelten und experimentell verifizierten Modelle wird ein Gesamtprozess-Schema für die Gewinnung von Seltenen Erden abgeleitet. Der optimierte Gesamtprozess ist Grundlage für die wirtschaftliche und ökologische Bewertung des entwickelten Verfahrens.

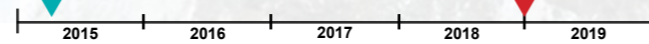
Die Produktion Seltener Erden außerhalb Chinas würde zur Entspannung des Rohstoffmarktes technologisch wichtiger schwerer Seltener Erden führen.

Kontakt
 G.U.B. Ingenieur AG
 Gutenbergplatz 1c
 04103 Leipzig
 Dr. Wilfried Hüls| Tel. +49 341 23102-15
 E-Mail: wilfried.huels@gub-ing.de
 Projektlaufzeit: 01.06.2015 – 31.05.2018
 Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 116



UPNS4D+

Untertägiges 4D+ Positionierungs-, Navigations- und Mapping-System zur hochselektiven, effizienten und im höchsten Maße sicheren Gewinnung wirtschaftsstrategischer Rohstoffe



Autonomer Betrieb von Fahrzeugen im Bergbau

Die Automatisierung gefährlicher Arbeiten bei der Rohstoffgewinnung ist absehbar ein wesentlicher Faktor für den wirtschaftlich erfolgreichen und sicheren Betrieb von Minen. So können kleine Bergbaue mit sehr flachen Erzgängen genutzt werden, die für Menschen nicht mehr leicht zugänglich sind. Das Projektteam von „UPNS4D+“ entwickelt hierzu

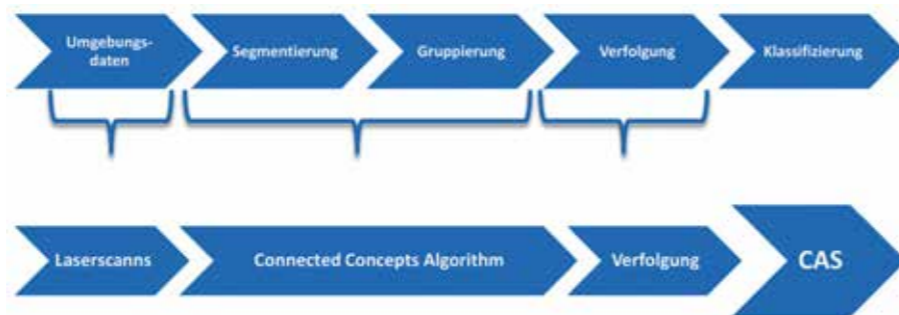


Abb. 2: Datenverarbeitungskette für den Kollisionsschutz von der Datenerfassung, über eine Detektion und Objektverfolgung zum Kollisionsschutzsystem (CAS = Collision Avoidance System) (Quelle: RWTH Aachen IMR)

wesentliche Technologien, die es erlauben Fahrzeuge untertage kollisionsfrei zu steuern, bis hin zu einem flexiblen Navigationssystem, das die Voraussetzungen für einen autonomen Betrieb von Fahrzeugen ermöglicht.

Einem Abbaubetrieb geht dabei zunächst eine Erkundungsphase voraus, die in den Bereich des Markscheidewesens fällt. Dabei muss der Markscheider immer wieder die Gültigkeit des Risswerks überprüfen. In UPNS4D+ wird diese Betriebsphase mit Hilfe eines Erkundungsfahrzeugs effizient



Abb. 1: UPNS4D+ Erkundungsfahrzeug mit Sensorauf- und anbauten in einer Strecke der Reichen Zeche / Freiberg, Foto: RWTH Aachen, IMR

zient unterstützt (Abb. 1). Das mit Sensoren ausgestattete Fahrzeug kann ein Areal teilautonom neu vermessen. Dazu werden verschiedenste Sensoren verwendet: Laserscanner, abbildende Radare, eine Hyperspektralkamera und weitere Kameras erlauben das Umfeld hochpräzise in 3D zu erfassen.

Während der Produktion kann wiederum ein Fahrzeug auf die Daten zurückgreifen, um die eigene Position zu ermitteln und eine Fahrplanung vorzunehmen (Abb. 2). Exemplarisch wird in UPNS4D+ ein Niederflurlader mit mehreren abbildenden Radarsensoren und weiteren Sensoren zur Erfassung der eigenen Bewegung beispielsweise mit inertialen Messgebern ausgestattet. Die Messdaten werden schließlich mit den Referenzdaten des Markscheiders abgeglichen und können auch zu einer Nachverfolgung von Veränderungen in den Strecken genutzt werden. Der Markscheider bekommt so eine Möglichkeit das Risswerk zu verifizieren. Er kann anhand seiner Kriterien eine Nacherkundung zur Aktualisierung des Risswerks veranlassen.

Zwischenergebnisse

Das kettengeriebene Erkundungsfahrzeug, das mit Hilfe einer Spurführung auch auf Gleisen verwendet werden kann, ist einsatzbereit. Es dient als Sensorträger, bei dem zusätzlich noch 3D-Kameras montiert wurden. An der autonomen Steuerung wird noch intensiv entwickelt.



Reflexion signifikant stärker als Umgebung

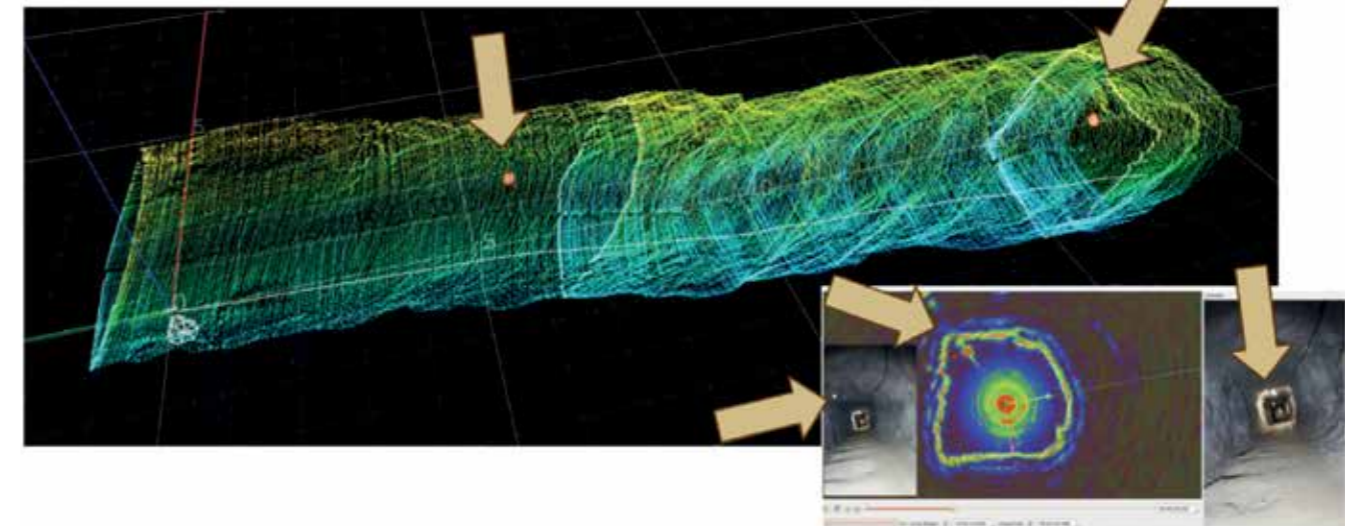


Abb. 3: 3D-Punktwolke aus Radarmessung mit Referenzbild und 2D-Schnittebene, markiert sind Referenzmarken die im Radar stark sichtbar sind, Quelle: indurad

Wesentliche Teile der Datenverarbeitung liegen bereits vor, insbesondere eine Datenbank, in der alle Informationen abgelegt werden. Der Prozess zur Interaktion mit der Datenbank existiert.

Auch das Ladefahrzeug ist mit radarbasierter Sensorik ausgestattet und kann bereits angesteuert werden. Mit Hilfe der scannenden Radare und der Fahrt des Fahrzeugs entsteht ein Umfeldmodell (Abb. 3), das anhand von Merkmalen wiederum mit der Referenz des Markscheiders abgeglichen werden kann. So kann der genaue Ort des Fahrzeugs und dessen Orientierung ermittelt werden. Der Abgleich ermöglicht zudem additive Fehler in der Streckenerkennung zu vermeiden.

Während der Arbeiten wurde jedoch erkannt, dass eine 2D-Sensorik, bei der die dritte Dimension nur über die Bewegung der Fahrzeuge gewonnen wird, in vielen Fällen nicht ausreichend ist. Ferner wurde auch erkannt, dass die Objekterkennung besonders bei Dingen, die sich schlecht von einer Oberfläche absetzen, sehr anspruchsvoll oder sogar unmöglich wird. Daher wurden im Projekt zwei weitere Sensorsysteme mit aufgenommen: Ein arraybasiertes Bodenradar (GPR = Groundpenetrating Radar) erlaubt die Detektion von geologischen Eigenheiten im Untergrund. Diese Muster sind wie ein Fingerabdruck einzigartig, sie unterliegen in der Regel keiner Änderung. Einmal erfasst kann jederzeit

eine Position detektiert werden. Ein Funkortungssystem am Fahrzeug und an besonders kritischen Stellen schafft die Möglichkeit auch im Stand die Position zu ermitteln.

Ausblick

Mit Ende des Projekts wird ein Demonstrator vorliegen, der viele wesentliche technologische Teile für beinahe autonom agierende Fahrzeuge im Bergbau zulässt. Grundsätzlich ist damit die Möglichkeit geschaffen ohne Einbahnregelungen oder Streckensperrungen Fahrzeuge zu betreiben. Wird das Gesamtsystem um Abbauprozesse, sowie Lade- und Entladeprozesse erweitert, können Minen nahezu autonom betrieben werden.

Kontakt

indurad GmbH
 Belvedereallee 5
 52070 Aachen
 Dr. Matthias Rabel | Tel. +49 241 538070-0
 E-Mail: matthias.rabel@indurad.com
 Projektlaufzeit: 01.04.2015 – 31.12.2018
 Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 118



r⁴-Verbundprojekte

Rückgewinnung von Sekundärrohstoffen

- ▶ ARGOS
- ▶ BiRec
- ▶ EcoGalN
- ▶ ELEXSA
- ▶ GRAPHIT 2.0
- ▶ Lan-Tex
- ▶ MetalSens
- ▶ MinSEM
- ▶ REWITA
- ▶ SESAM
- ▶ Theisenschlamm
- ▶ TransTech
- ▶ VAFLOW



ARGOS

Steigerung des funktionellen Recyclings entlang der Wertschöpfungskette durch Echtzeitanalyse metallreicher Aufbereitungsprodukte



Optimierung des Metallrecyclings

Die aktuelle Aufbereitungsinfrastruktur für metallreiche Abfallströme ist an die Trennung von Hauptkomponenten wie Kunststoffe, Stahl, Aluminium, Kupfer, Buntmetalle und ausgewählte edelmetallreiche Fraktionen, wie Leiterplatten, angepasst. Dies führt andererseits bei wirtschaftsstrategischen Metallen zu deutlichen Verlusten von bis zu 90 %. Somit gehen dem Wirtschaftskreislauf Legierungselemente wie Nickel, Chrom, Wolfram, Niob, wertvolle Edelmetalle der Platingruppe, Gold und Silber oder auch Seltene Erden verloren.

Gleichzeitig führt ein steigender Einsatz von Legierungsmetallen und immer komplexeren Materialverbänden zu veränderten Qualitäten und Zusammensetzungen metallreicher Stoffströme. Mit den derzeit in Aufbereitungsanlagen verfügbaren Möglichkeiten, etwa visueller Bewertung, können Metalle aber nur in geringem Umfang legierungsspezifisch zurückgewonnen werden. Dabei ist gerade die sortengerechte Spezifikation von Schrotten, ausgerichtet auf den nachfolgenden metallurgischen Prozess, ein wichtiges Instrument der Prozesssteuerung und damit ausschlaggebend für die ressourceneffiziente Nutzung der Metalle.

Um ein funktionelles Recycling wirtschaftsstrategischer Metalle zu verbessern (Abb. 1), wird im Verbundprojekt ARGOS ein neues Multisensor-System entwickelt, das Zielmetalle in Stoffströmen in Echtzeit erkennt und charakterisiert. Dieses System verknüpft verschiedene Sensoren mit mathematischen Ableitungen und empirisch bekannten Stoffstromeigenschaften. Zusätzlich kommt als Kernelement ein neu zu entwickelnder Röntgenfluoreszenzsensor hinzu.

Zwischenergebnisse

Die bisherigen Arbeiten umfassen vor allem die Auswahl von zu charakterisierenden Stoffströmen, die Weiterentwicklung der Sensortechnik sowie die Planung und den Aufbau der Multisensor-Teststrecke. In Abstimmung mit allen Projektpartnern und unter Berücksichtigung spezifischer Anforderungskriterien wurden Stoffströme für die weiteren Untersuchungen ausgewählt und durch die Partner TSR und SJM bereitgestellt.

Um Metallkonzentrationen mittels Sensortechnologie in Echtzeit zu ermitteln, sind verschiedene Hilfsgrößen, wie das Partikelvolumen, erforderlich. Dies wird etwa durch das IWARU der FH Münster an unterschiedlich geformten Partikeln ermittelt (Abb. 2) und anschließend auf einer Teststrecke bei Steinert überprüft. Für die untersuchten regelmäßig geformten Metallpartikel stimmen die Volu-



Abb. 1: Wie lassen sich Metallabfälle optimaler recyceln? Daran forscht „ARGOS“, Foto: TSR Recycling GmbH & Co. KG



Abb. 2: Beispiele für regelmäßig und unregelmäßig geformte Metallpartikel, Foto: IWARU

mina aus der Sensor-Messung gut mit den Referenzwerten überein, sofern abgeleitete Korrekturfaktoren angewendet werden. Bei unregelmäßig geformten Partikeln sind die Volumina mittels Sensor noch nicht hinreichend genau bestimmbar – hier sind weitere Untersuchungen erforderlich.

In den nächsten Arbeitspaketen stehen vor allem Versuche im von der Firma Steinert konzipierten Messtunnel (Abb.3) im Fokus, in dem neben Farbkamera, Laser-Triangulation, Induktions- und Röntgentransmissionsmessung auch der von LLA weiterentwickelte RFA-Sensor eingebaut werden soll. Schwerpunkt dieser Versuche ist die sinnvolle Verknüpfung der verschiedenen Messergebnisse der Sensortechnologien untereinander und mit den zu hinterlegenden Stoffdatenbanken.



Abb. 3: Geplanter Messtunnel, Quelle: Steinert

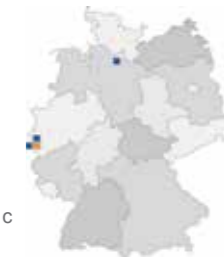
Parallel hierzu wird von der TU Berlin die Referenzanalytik und die Verwendung einer Hand-RFA weiterentwickelt. Für die Bewertung der Ressourcen- und Energiepotenziale der NE-Metall-Sortierprodukte nutzt das IME chemische und Schmelzanalysemethoden.

Projektfortgang

Erfolgreiche Entwicklungen können die Vorsortierung von Stoffströmen und die Erkennung von Qualitätsveränderungen im Sortierprozess metallreicher Stoffströme deutlich verbessern. Hierdurch werden Metallverluste entlang der Wertschöpfungskette zukünftig minimiert. Entwickelte Detektions- und Steuerungsprinzipien können langfristig auch auf Anwendungsfelder der Primärrohstoffgewinnung übertragen werden.

Kontakt

IWARU Institut für Wasser•Ressourcen•Umwelt
an der FH Münster
Corrensstraße 25
48149 Münster
Prof. Dr. Sabine Flamme | Tel. +49 251 8365-253
E-Mail: flamme@fh-muenster.de
Projektlaufzeit: 01.05.2016 – 30.04.2019
Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 105



BiRec

Entwicklung einer nachhaltigen Prozessroute zur innereuropäischen Aufbereitung von Bismutschäumen durch Kombination innovativer Raffinationsverfahren



Ausgangssituation

Die weltweite Bismut-Nachfrage hat sich seit 1990 verdoppelt. Prognostiziert wird eine steigende Tendenz. Vor diesem

Bismutanteil von 5 – 12 % weiterverarbeitet wird. Im Verbundprojekt „BiRec“ werden diese Bi-Schäume durch eine innovative Aufbereitungsroute zu einem verkaufsfähigen Endprodukt aufbereitet

(Abb. 1) Durch den Einsatz einer Schmelzzentrifuge werden die Bi Partikel weiter separiert (Abb. 2 und 3). Einwirkende Fliehkräfte leiten einen physikalischen Trennprozess ein, um anschließend durch ultrasensitive Oxidation Begleitelemente wie Blei, Magnesium und Calcium zu oxidieren. Das so entstandene Rohbismut, mit einer Reinheit von >75 %, wird im letzten Schritt durch fraktionierte Kristallisation zu einem Bismut mit einem Bi Gehalt von >99 % angereichert.

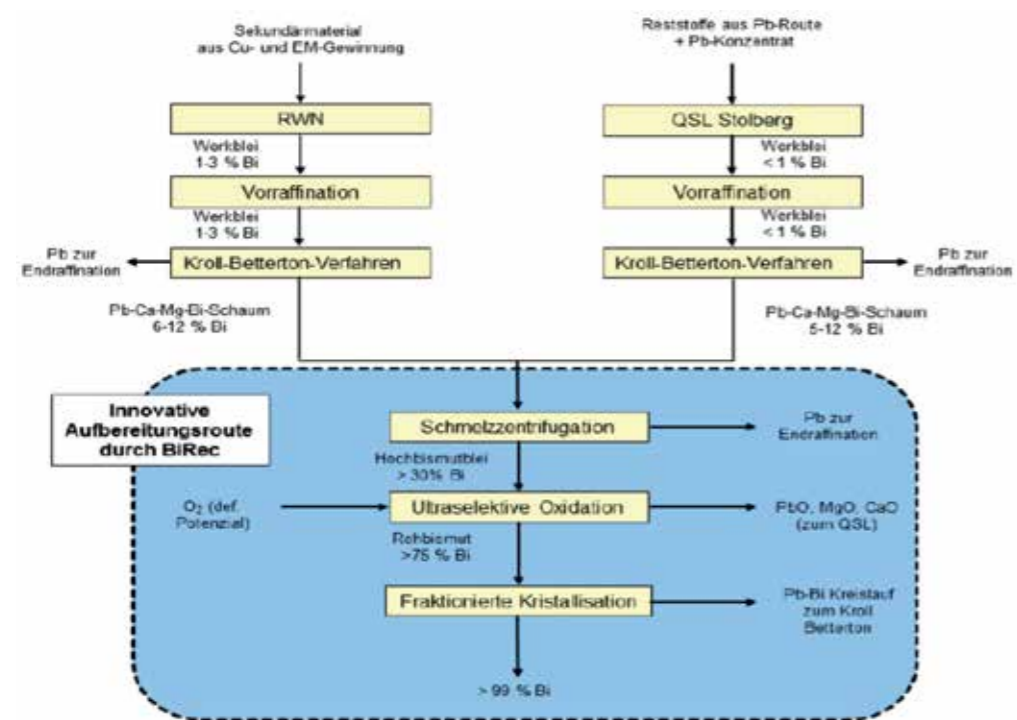


Abb. 1: Beispiel einer innovativen Prozessroute, Quelle: IME

Hintergrund ist die Bismut-Gewinnung aus Reststoffen der Bleiraffination von strategischer Relevanz. Um die Wettbewerbsvorteile der deutschen Wirtschaft dauerhaft zu sichern, ist es wichtig, umweltentlastende und ressourceneffiziente Prozesse zu entwickeln. Ziel des Projekts „BiRec“ ist eine innovative Verfahrenskombination zur Erzeugung qualitativ hochwertigen Bismuts aus Schäumen der Bleiraffination ohne ökologisch fragwürdige Prozessschritte beziehungsweise kritische Zwischenprodukte zu erzeugen.

Die innovative Aufbereitung von Bi-Schaum

Im sogenannten Kroll-Betterton-Verfahren wird ein Pb-Ca-Mg-Bi-Schaum erzeugt, der zu einem Blei mit einem

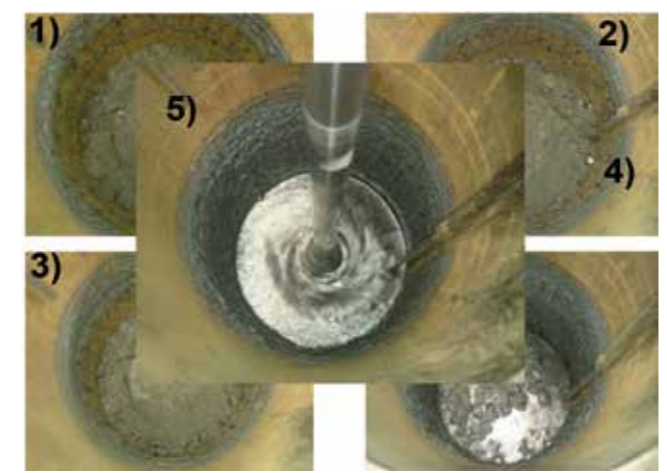


Abb. 2: Zentrifugieren von intermetallischen Bi-Ca-Mg-Pb-Kristallen, Foto: IME



Schutzgas-Zufuhr

Thermoelement

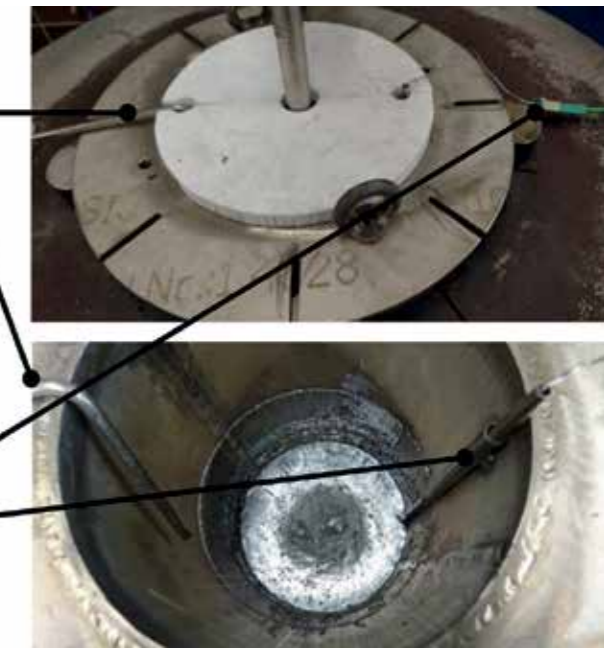


Abb. 3: Versuchsaufbau im Labormaßstab, Quelle: IME

Forschung für die Zukunft

Verfahrensschritte:

- Schmelzzentrifuge zur physikalischen Trennung von Bi-Schäumen.
- Ultrasensitive Oxidation zum Beseitigen unerwünschter Begleitelemente.
- Fraktionierte Kristallisation zur Herstellung eines verkaufsfähigen Endproduktes.
- Erstellung einer thermochemischen Datenbank für das System Pb-Bi-Ca-Mg-O.

Projektfortgang

Nach einer Modellierung der Raffinationsprozesse – ultrasensitive Oxidation – fraktionierte Kristallisation – erfolgt eine Abschätzung der erzielbaren Produktqualität. Anschließend wird eine ganzheitliche Simulation der innovativen Prozessroute mittels SimuSage abgebildet. Im Labormaßstab erarbeitete Forschungsergebnisse sollen im Produktionsmaßstab bei der Berzelius Stolberg GmbH eingesetzt werden. Es besteht die Möglichkeit, die Erkenntnisse auch in anderen Raffinationsschritten einzusetzen, beispielsweise in der Entsilberung. Alternative Trennprozesse wie Filtrieren, Verdampfen, etc. sollen ebenfalls betrachtet werden.



Abb. 4: Zentrifugieren von Bi-Schaum, Foto: IME

Kontakt
 Berzelius Stolberg GmbH
 Binsfeldhammer 14
 52224 Stolberg (Rheinland)
 Dipl.-Ing. Knut Esser | Tel. +49 2402 1206-500
 E-Mail: kesser.bbh@berzelius.de
 Projektlaufzeit: 01.09.2016 – 31.08.2019
 Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 105



EcoGaIN

Gewinnung von Gallium aus Produktionsabfällen der Halbleiter-Industrie



Abfallstoff als Rohstoff

Gallium verbindet die Welt – denn Galliumarsenid (GaAs) ist als Computer-Chip in jedem Smartphone, iPad oder Tablet-PC verbaut. Zunehmend findet es sich auch in Hochleistungs-LED's und Lasertechnik. Gallium möglichst vollständig aus Hightech-Abfällen zu recyceln und dem

Produktionskreislauf zurückzuführen ist Ziel des Projektes „EcoGaIN“.

Erzminerale mit Gallium als Hauptelement sind sehr selten und kommen nicht in abbauwürdiger Menge vor. Es tritt vielmehr als Spurenelement in anderen Erzen auf, beispielsweise



Abb. 1: Beim Polieren anfallende Poliersuspension enthält Gallium in geringer Konzentration. Dieses will „EcoGaIN“ mit neuen Recyclingverfahren wiedergewinnen. Foto: Freiburger Compound Materials GmbH

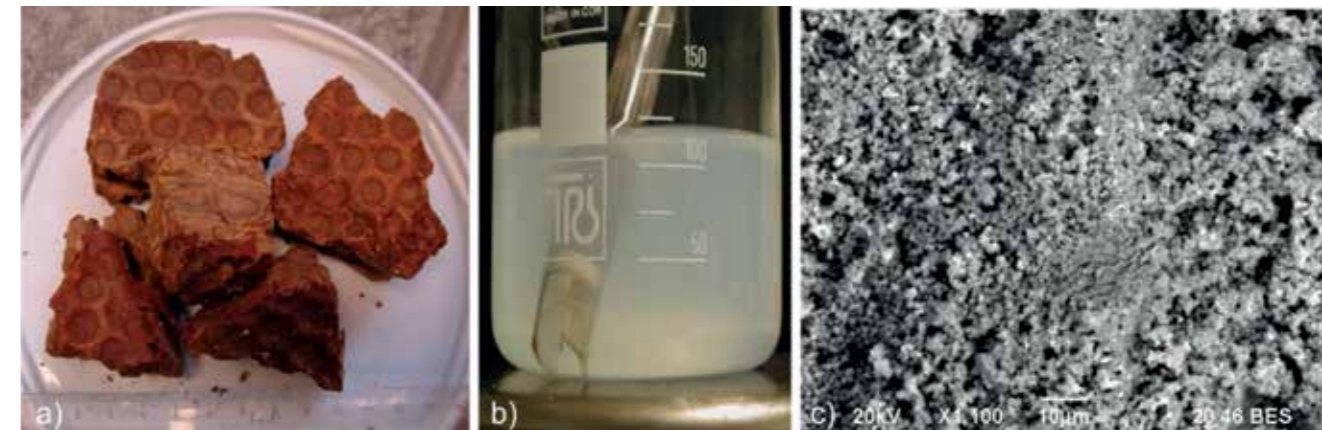


Abb. 2: Ausgangsstoff Fe-SiO₂-Schlamm mit 0,9 % Ga; b) Fällungsprodukt mit 15 – 20 % Ga zusammen mit As, P und F; c) Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme mit Ga-Arsenat-haltigen Kügelchen, Fotos: Dr. Frank Haubrich, G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH

in Bauxit, aus welchem Aluminium hergestellt wird, oder in Zinkerzen, mit einem Anteil von durchschnittlich 50 g/t Erz.

gen selektiv abzutrennen. Damit soll versucht werden gleich von Anfang an Ga und As elementspezifisch anzureichern.

Bei der Produktion der Computer-Chips gelangen nur circa 8 % des eingesetzten Galliums in das Endprodukt. 45 % können heute schon aus dem Produktionsabfall recycelt werden, weitere 47 % landen aber auf der Deponie oder im Abwasser. EcoGaIN hat sich zur Aufgabe gemacht die im Produktionsprozess anfallenden Abfallstoffe möglichst vollständig zu recyceln.

Forschung für die Zukunft

Die Erkenntnisse und die Entwicklung von Methoden zum Recycling von Gallium (und Arsen) aus Abfällen der Halbleiterproduktion lassen noch sehr viel Spielraum offen, nach weiteren noch nicht erkannten Quellen von Metallen in Abfallstoffen der Industrie zu suchen.

Zwischenergebnisse

Ga-/As-haltige Feststoffe und verdünnte wässrige Lösungen der Halbleiterindustrie (Abb. 1) werden im Projekt darauf untersucht, wie die Wertstoffe rückgewinnbar sind. In den Feststoffen sind bis zu 0,9 % Ga enthalten. Solch hohe Gehalte liegen in keiner Ga-haltigen Lagerstätte vor. Deshalb ist der Abfallstoff sehr attraktiv zur Rückgewinnung des Galliums. Die Versuche zeigten, dass es möglich ist, das Ga von 0,9 auf fast 20 % anzureichern (Abb. 2). Diese Ga-Verbindungen lassen sich zu reinstem Gallium für die Halbleiterindustrie aufbereiten. Aus stark verdünnten Lösungen ist es möglich nahezu vollständig das Gallium anzureichern, um es später rückzugewinnen. Dazu werden die Wertstoffe aus den verschiedenen Feststoffen und Lösungen sowohl chemisch als auch mittels biologischer Verfahren extrahiert und angereichert. Eine Methode ist das so genannte Biopanning, wobei eine Extraktion der Elemente aus verdünnten Lösungen mittels Proteinen durchgeführt wird. Die dazu notwendigen Proteine werden durch Mikroorganismen hergestellt. Das Verfahren erlaubt es, chemische Elemente aus den Lösun-

Projektfortgang

Die Bedingungen zur Rückgewinnung und Wiedereinsatz des Galliums und auch des Arsens in der Halbleiterindustrie stehen gut. Trotzdem hängt die wirtschaftliche Gewinnung der Elemente vom Weltmarktpreis ab. Bis zum Jahr 2030 kann von einer stark steigenden Nachfrage an Gallium ausgegangen werden.

Kontakt

G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH
Schwarze Kiefern 2
09633 Halsbrücke
Dr. Frank Haubrich | Tel. +49 3731 369 132
E-Mail: f.haubrich@geosfreiberg.de
Projektlaufzeit: 01.07.2016 – 30.06.2019
Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 107



ELEXSA

Elektrodynamische Fragmentierung von Schlacken und Aschen mit nachfolgender hydrothormaler Extraktion wirtschaftsstrategischer Rohstoffe aus den Schlacke/Asche-Feinfraktionen



Wertschöpfung im Sinne der Nachhaltigkeit

Das Verbundvorhaben „ELEXSA“ verfolgt eine innovative Aufbereitungsrouten, um wirtschaftsstrategische Metalle, beispielsweise Seltene Erden, selektiv aus Materialströmen zu gewinnen: Hochspannungsimpulse führen zu einer selektiven Zerkleinerung und ermöglichen nachfolgend eine Trennung von „Spreu und Weizen“. In einem zweiten Prozessschritt werden die Metalle hydrothermal in Lösung gebracht und anschließend selektiv zurückgewonnen. Branchenübergreifend werden Reste aus der Müllverbrennung, Metallherzeugung und Zementproduktion recycelt.

In Deutschland fallen jährlich über sechs Millionen Tonnen Aschen aus der Müllverbrennung an. Bei der Metallherzeugung entstehen bundesweit jährlich ca. 13 Millionen Tonnen Eisenhüttenschlacken. Hinzu kommen werthaltige Stäube aus metallherzeugenden Betrieben oder der Zementproduktion. Allen gemein ist ein hohes Wertstoffpotenzial an mineralischen und metallischen Komponenten. Insbesondere im Feinanteil der genannten Stoffe können Metalle wie Antimon, Zinn, Molybdän, Wolfram, Kobalt und Seltene Erden, beispielsweise Lanthan, Niob, Cer und Yttrium vorliegen, die

von der EU als „critical raw materials“ eingestuft sind. Genau diese Stoffströme adressiert das Projekt ELEXSA mit einer innovativen Prozesskette. Dabei erfolgt zunächst mittels elektrodynamischer Fragmentierung die selektive Auftrennung der Materialien. Hochspannungsimpulse trennen das Material auf und reichern die werthaltigen Komponenten im Feinanteil an. Dieses wird im Anschluss hydrothermal behandelt um die teils schwerlöslichen Metalle aufzuschließen. Im letzten Schritt werden die gelösten Metalle mit geeigneten Verfahren einzeln wiedergewonnen.

Zwischenergebnisse

Die Versuche zur elektrodynamischen Fragmentierung sind fast abgeschlossen. Die Prozessparameter konnten dahingehend optimiert werden, dass nach der Behandlung ein großer Feinfraktionsanteil vorliegt. In Abb. 1 sind die Sieblinien gezeigt. Im Schnitt können ca. 30 Ma.-% der Schlacken/Aschen in die Feinfraktion abgetrennt werden.

Für die hydrothermale Extraktion liegen die einzelnen Proben in vergleichbarer Kornverteilung vor. Aktuell wird das anfallende Prozesswasser der einzelnen Materialien nach

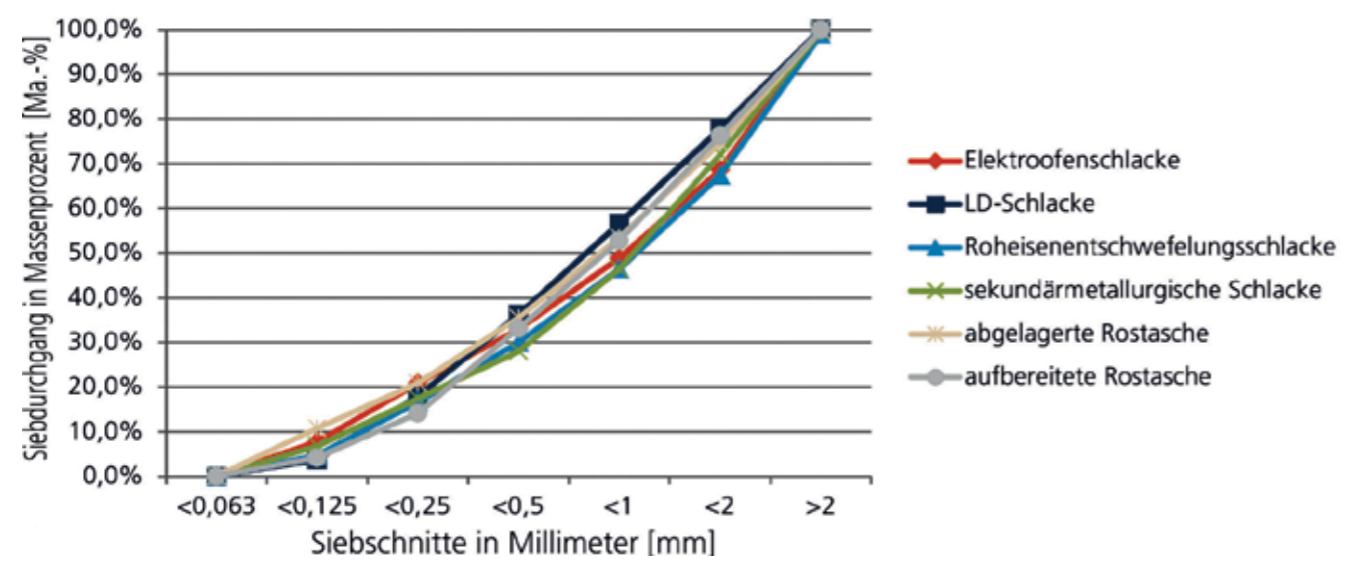


Abb. 1: Vergleich der Sieblinien der fragmentierten Materialien, Quelle: Fraunhofer IBP



Abb. 2: Abguss einer LD-Schlacke ins Schlackenbeet, Foto: Ralf Perret, tkMSS

der Fragmentierung analysiert, um zu sehen, ob werthaltige Metalle bereits bei der Fragmentierung nennenswert in Lösung gehen.

Aus ersten Extraktionsexperimenten wird ersichtlich, dass die Menge an extrahierten Metallen von der Konzentration des Reaktionsmediums (hier Salzsäure) abhängig ist. In Abb. 3 sind die Ergebnisse für einen Staub aus der Sekundärmetallurgie gezeigt. Für die Elemente Blei und Zink

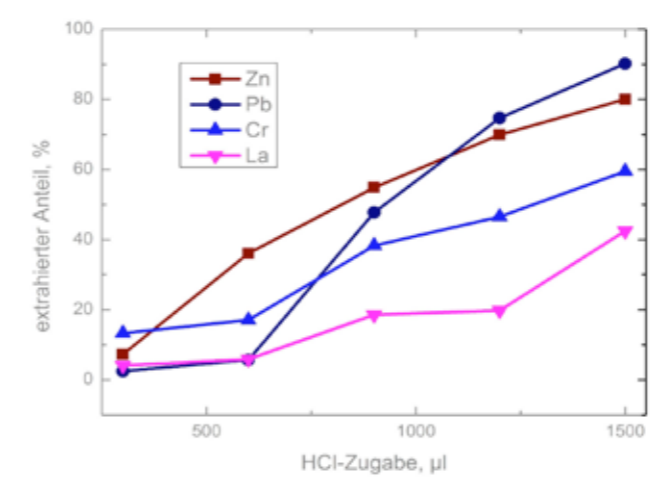


Abb. 3: Ergebnisse der Extraktionsversuche an einem sekundärmetallurgischen Staub in Abhängigkeit der Säurekonzentration, µl HCl (32%ig) bezogen auf 16,5 ml gesamtflüssige Phase, Quelle: Fraunhofer IBP

können bereits Extraktionsquoten von über 80 % erreicht werden. Chrom oder Lanthan weisen noch geringere Rückgewinnungsquoten um die 50 % auf, welche durch iterative Optimierung der Prozessführung erhöht werden sollen.

Projektfortgang

Ziel des Projektes ist die sichere Rückgewinnung von mindestens vier „critical raw materials“ mit Rückgewinnungsquoten um 80 %. Dabei liegt das Hauptaugenmerk des Projektteams auf den Elementen Chrom, Zinn und Molybdän.

Kontakt
 Fraunhofer Institut für Bauphysik
 Fraunhoferstr. 10
 83626 Valley
 Dr. Sebastian Dittrich | Tel. +49 8024 643-209
 E-Mail: sebastian.dittrich@ibp.fraunhofer.de
 Projektlaufzeit: 01.06.2016 – 31.05.2019
 Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 107

GRAPHIT 2.0

Technologieentwicklung zur Gewinnung von Sekundärgraphit aus rezyklierten Kohlenstofffasern



Carbonfaserverstärkte Kunststoffe, das „schwarze Gold“

Graphit als Rohstoff in der High-Tech-Industrie ist ein seltenes und begehrtes Mineral, das nahezu vollständig aus Drittländern nach Europa importiert werden muss. Ziel des Forschungsprojekts Graphit 2.0 ist die Entwicklung eines Verfahrens zur Gewinnung eines Graphit-Substituts aus rezyklierten Kohlenstofffasern für die Anwendung in Speichertechnologien.

Durch ihre Leichtbaueigenschaften und Möglichkeiten zur lastgerechten Auslegung können carbonfaserverstärkte Kunststoffe einen wesentlichen Beitrag zur Ressourceneffizienz leisten. Jedoch kann das Potenzial des Werkstoffs auf Grund des fehlenden hochwertigen Recyclings nicht optimal genutzt werden.

Zwischenergebnisse

Im Rahmen des Projekts „Graphit 2.0“ wurde ein Verfahrensweg zur Rückgewinnung von Kohlenstofffasern aus einer Kombination von mechanischer und thermischer Aufbereitung durch Mikrowellenpyrolyse entwickelt. Im Vorhaben konnte eine Containerlösung zur Aufbereitung von CKF-Abfallstoffen mit der Zerkleinerungstechnologie des „ClassiSizers“ der Firma Dieffenbacher konstruiert werden. Durch den Einsatz der Prallzerkleinerung, welche bislang zur Verarbeitung von Elektronikschrott oder Holzreststoffen eingesetzt wird, ist es möglich eine große Bandbreite an Sekundärprodukten zu erzeugen. In Versuchen wurde der Einfluss verschiedener Prozessparameter – wie Füllgrad im Prallraum, Geschwindigkeit der Prallelemente, Dosierung – auf die Qualität der Carbonfasern hin untersucht.

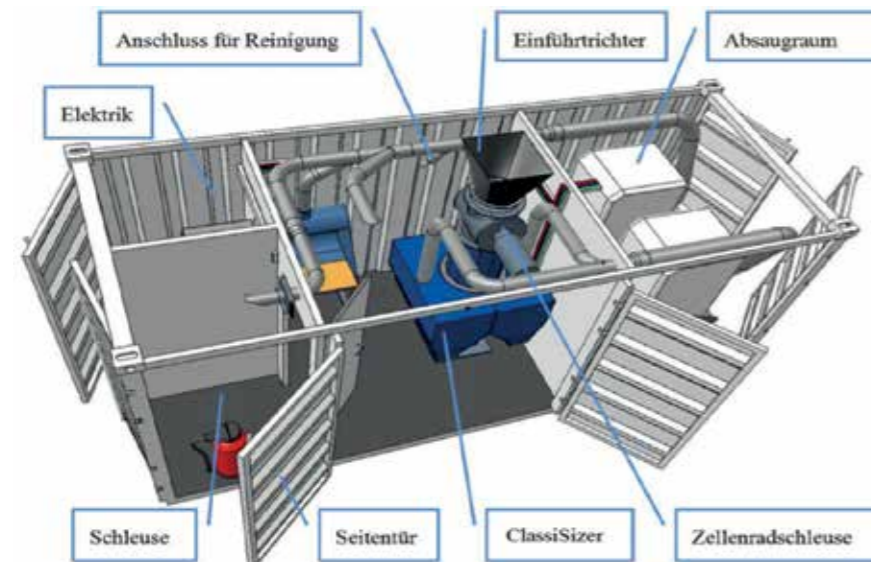


Abb. 1: Konzeptionierung einer Container-Aufbereitungslösung von CKF-Abfällen mittels Classi-Sizer, Quelle: Dieffenbacher GmbH

Durch die Technische Hochschule Nürnberg wurden weitere Zerkleinerungsarten hinsichtlich ihrer Eignung zur Aufbereitung von Kohlenstofffasern zu Sekundärgraphit untersucht und dabei der Einfluss der unterschiedlichen in den Mühlen auftretenden Beanspruchungsmechanismen identifiziert. Anhand von Untersuchungen der partikulären und morphologischen Eigenschaften im Vergleich mit den Referenzmaterialien wird die Herausforderung der Aufbereitungstechnik deutlich. Abb. 2 zeigt Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen von Naturgraphit, synthetischem Graphit und pyrolysierten Kohlenstofffasern.

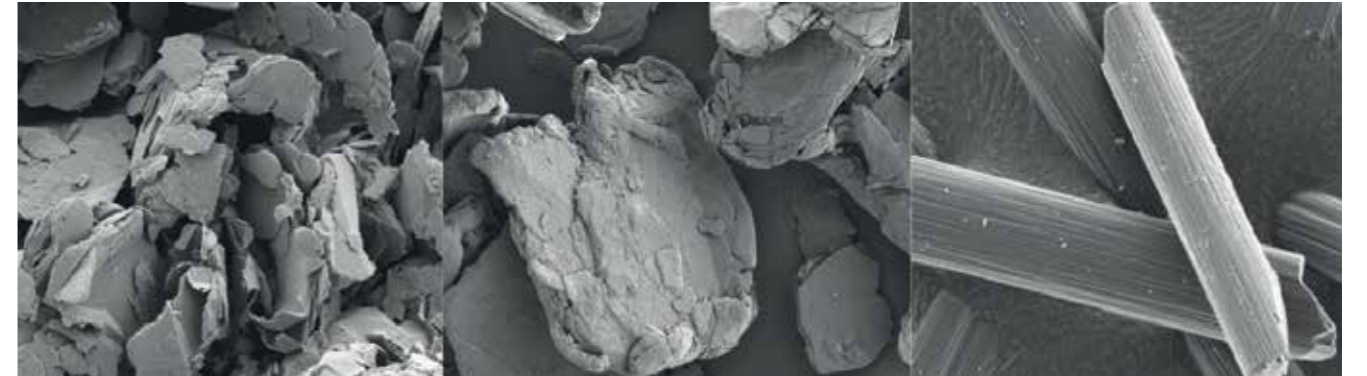


Abb. 2: REM Aufnahmen von Naturgraphit (links), synthetischem Graphit (mitte) und Kohlenstofffasern (rechts), Quelle: Fraunhofer ICT

Graphit als ressourcenstrategischer Rohstoff

Bis heute werden bis zu 95 % des Graphits aus China importiert. Aufgrund der großen Bedeutung für die Hightech-Industrie war es Ziel des Projekts natürlichen und synthetisch erzeugten Graphit in Energiespeichermedien (beispielsweise Bleiakkumulatoren/Autobatterie) mit Sekundärmaterialien zu ersetzen. Die im ersten Projektteil zurückgewonnenen Kohlenstofffasern wurden hinsichtlich Ihrer Anwendbarkeit in Speichermedien untersucht. In Zusammenarbeit des Fraunhofer ICT und der Firma Eisenhuth GmbH konnten

Verfahrenswege aufgezeigt werden, die eine Nutzung des recycelten Abfallmaterials in Bipolarplatten für Brennstoffzellen und Redox-Flow-Batterien möglich machen (Abb. 3).

Ausblick

Die bisherigen Ergebnisse ermöglichen der Firma Dieffenbacher GmbH angepasst an kohlenstofffaserhaltige Abfälle ein Zerkleinerungsaggregat anzubieten. Auch die Firma Eisenhuth GmbH ist basierend auf den Ergebnissen in der Lage Kohlenstofffaserabfälle als Sekundärgraphit zur Produktion von Bipolarplatten zu nutzen. Kommende Herausforderungen liegen zum einen im Aufbau von Verwertungsnetzwerken, um eine kontinuierliche Versorgung mit Sekundärmaterialien sicherzustellen, und zum anderen in der Identifikation weiterer Anwendungsmöglichkeiten.



Abb. 3: Hergestellte Bipolarplatten aus Polypropylen-Kunststoff und Graphit bzw. Kohlenstofffaserpulver, Foto: Fraunhofer ICT

Kontakt

Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm
 Wassertorstr. 10
 90489 Nürnberg
 Prof. Dr. Ulrich Teipel | Tel. +49 911 5880-1471
 E-Mail: ulrich.teipel@th-nuernberg.de
 Projektlaufzeit: 01.06.2015 – 31.05.2018
 Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 110



Lan-Tex

Rückgewinnung von Lanthan aus Rückständen der Raffineriekatalysatorherstellung für die Petrochemie mit Hilfe von Polyelektrolyt-ausgerüsteten Textilien



Seltene Erden kostengünstig aus industriellen Prozesswässern filtern

Die Entwicklung eines innovativen Adsorbentextils für die selektive Rückgewinnung von Lanthan aus petrochemischen Rückständen der Crack-Katalysator-Produktion (Fluid Catalytic Cracking, FCC) verfolgt das Forschungsvorhaben „Lan-Tex“. Wegen der wenig ausgeprägten Selektivität klassischer Metallrückgewinnungsverfahren, lohnte sich die Aufarbeitung Lanthan-haltiger Prozesswässer der Erdölindustrie bisher nicht. Dieses soll sich angesichts der wirtschaftlichen Bedeutung knapper Hochtechnologie-Rohstoffe nun ändern. Die Basis hierfür bilden Polyelektrolyte, die in der Lage sind, Seltene Erden gezielt aus den Abwasserteilströmen herauszufiltern. Derartige Materialien sollen über einfache Methoden der klassischen Ausrüstung an textilen Trägern dauerhaft fixiert werden. Die Praxistauglichkeit der so entwickelten Filtertextilien soll in einer Pilotanlage anhand der realen Prozesswässer getestet werden.

Zwischenergebnisse

Die Laboruntersuchungen des Deutschen Textilforschungszentrums Nord-West (DTNW) ergaben, dass sich eine kommerziell verfügbare Polyacrylsäure über einen zweistufigen



Abb. 1: Industrielle Prozesswässer stellen eine wertvolle Sekundärrohstoffquelle dar. Dazu zählen neben Edelmetallen (Au, Pd, Ag) und Buntmetallen (Cu, Ni) auch Seltene Erden wie Lanthan (La). Foto: Klaus Opwis, DTNW, Krefeld



Abb. 2: Laborfiltrationsanlage zur Rückgewinnung von Lanthan mit Hilfe innovativer Adsorbentextilien, Foto: Klaus Opwis, DTNW, Krefeld

thermischen Prozess in Gegenwart eines geeigneten Vernetzers dauerhaft und waschbeständig an einem vom Textilhersteller Röders AG optimierten Polyesterfilz fixieren lässt. Dabei werden Auflagen von 30 – 40 Gew.-% erzielt. Ein weiteres Up-Scaling der Textilmodifizierung steht unmittelbar bevor. Hierzu sollen beim Projektpartner Roessing GmbH circa 200 Laufmeter des Textils mit einer Warenbreite von



Abb. 3: Einfache und kostengünstige Ausrüstung textiler Materialien mit metallbindenden Polyelektrolyten im industriellen Maßstab, Foto: Klaus Opwis, DTNW, Krefeld

2,20 m und einer Gesamtmasse von etwa 160 kg unter industriellen Bedingungen ausgerüstet werden.

Untersuchungen beim Projektpartner Decker Verfahrenstechnik GmbH zeigten die Notwendigkeit einer vorgeschalteten Abtrennung von Aluminium aus dem Lanthan-haltigen Prozesswasser auf. Diese gelingt durch eine behutsame pH-Wert-Erhöhung, bei der Al³⁺-Verbindungen selektiv ausgefällt werden, während die La³⁺-Verbindungen gelöst bleiben. Aus der verbleibenden Lösung lässt sich Lanthan mit Hilfe der innovativen Textilien vollständig entfernen. In Abhängigkeit von der Filtrationsgeschwindigkeit werden in einer Laborfiltersäule derzeit Lanthan-Beladungen von bis zu 100 mg La/g Textil erzielt. Bisher wurden im Labormaßstab zwölf Reaktionszyklen (bestehend aus Adsorption, Elution, Regeneration) ohne signifikanten Abfall der Adsorptionsleistung durchgeführt.

Dem entsprechend gehen die Projektpartner davon aus, dass das Textil auch im mannigfachen Einsatz dazu geeignet ist, Lanthan aus niedrig konzentrierten Prozesswässern anzureichern, um daraus wiederum hochkonzentrierte Lanthan-Lösungen herzustellen, die direkt in den Prozess der FCC-Katalysatorherstellung zurückgeführt werden können.

Ausblick

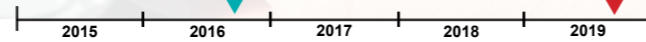
Die wirtschaftsstrategische Relevanz der Metalle der Seltenen Erden steht wegen ihrem vorwiegenden Einsatz im Hochtechnologiebereich außer Frage. So werden die Seltenen Erden etwa bei der Herstellung von Leuchtdioden und Elektronikartikeln, als Mischmetall zur Reinigung von Stahl sowie in Automobilkatalysatoren und Hochleistungsmagneten verwendet. Durch die erfolgreiche Ausweitung des hier gezeigten Konzepts könnten die innovativen Adsorbentextilien mittelfristig neben Lanthan auch für die Rückgewinnung weiterer Seltenerdmetalle oder auch anderer strategischer Wertmetalle wie Gallium, Niob, Tantal oder Indium genutzt werden.

Kontakt

Deutsches Textilforschungszentrum Nord-West gGmbH (DTNW)
Adlerstr. 1
47798 Krefeld
Dr. Klaus Opwis | Tel. +49 203-379-8219
E-Mail: opwis@dtnw.de
Projektlaufzeit: 01.01.2015 - 30.06.2018
Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 111

MetalSens

Entwicklung einer Prozesskette zur staubarmen Rückgewinnung von Technologiemetallen bestückter Leiterplatten mittels sensorgestützter Sortierung



Technologiemetalle sensorgestützt aus Elektronikschrott recyceln

Partner aus Industrie und Forschung entwickeln im Projekt „MetalSens“ eine sensorgestützte und staubarme Prozesskette zur Rückgewinnung von Technologiemetallen aus Leiterplatten.

Im Rahmen des Projektes werden existierende Verfahren zielgerichtet für die Rückgewinnung von Technologiemetallen



Abb. 1: Manuell demontierte Ta-Kondensatoren zur chemischen Analyse, Foto: IME der RWTH Aachen

aus Elektronikschrott nutzbar gemacht. Die Neuentwicklung von Sensorik unter Berücksichtigung der Anforderungen vor- und nachgelagerter Prozessschritte soll die Lücke zwischen Forschung und aktueller industrieller Anwendung schließen. Innovativ betrachtet MetalSens durchgängig den gesamten Recyclingprozess: Die parameteroptimierte, zerstörungsarme und damit weniger Staub freisetzende

Entstückung sowie die Neuentwicklung sortierfähiger Sensorik für geringe Bauteilgrößen bei hohen Abtastraten.

Zwischenergebnisse

Zunächst wurden in der ersten Projektphase auf Leiterplatten eingesetzte Technologiemetalle sowie verbaute Komponenten, wie Kondensatoren und Schaltungen, umfangreich recherchiert und katalogisiert. Diese Materialübersicht wurde schließlich durch eigene chemische Analysen (Abb. 1) von beschafften Leiterplatten sowie deren Komponenten ergänzt. Es zeigte sich, dass Metallanteile je nach Anwendungsfall in Leiterplatten stark variieren.

Neben diesen Analysen wurden auch im Rahmen der Sensorentwicklung einzelne Leiterplatten-Komponenten untersucht. Hierbei konnten bereits konkrete Metalle in den komplexen Elektronik-Bauteilen zerstörungsfrei identifiziert werden (Abb. 2). Diese zerstörungsfreie Detektion stellt die Grundlage für die sensorgestützte Sortierung dar. Die Sortierung hat das Ziel, geeignete Fraktionen für die abschließende metallurgische Verwertung einzelner Technologiemetalle zu erhalten.

Teststand zur staubarmen Entstückung

Beim Verbundpartner SICON GmbH in Hilchenbach wurde ein Teststand für die staubarme Entstückung der Leiterplatten errichtet (Abb. 3). Dieser schließt verschiedene Zerkleinerungs-Technologien, wie schlagende oder schneidende Zerkleinerung, ein. Die optimale Parametereinstellung und Technologieauswahl erfolgt nun durch Versuchsreihen, um so eine erhöhte Prozesseffizienz zu erreichen. Hierfür wurden innerhalb des Konsortiums Versuchspläne erarbeitet, welche eine systematische Variation möglicher Einflussparameter, wie Drehzahl, Siebgrößen oder generelle Prozessführungsstrategien, berücksichtigt.

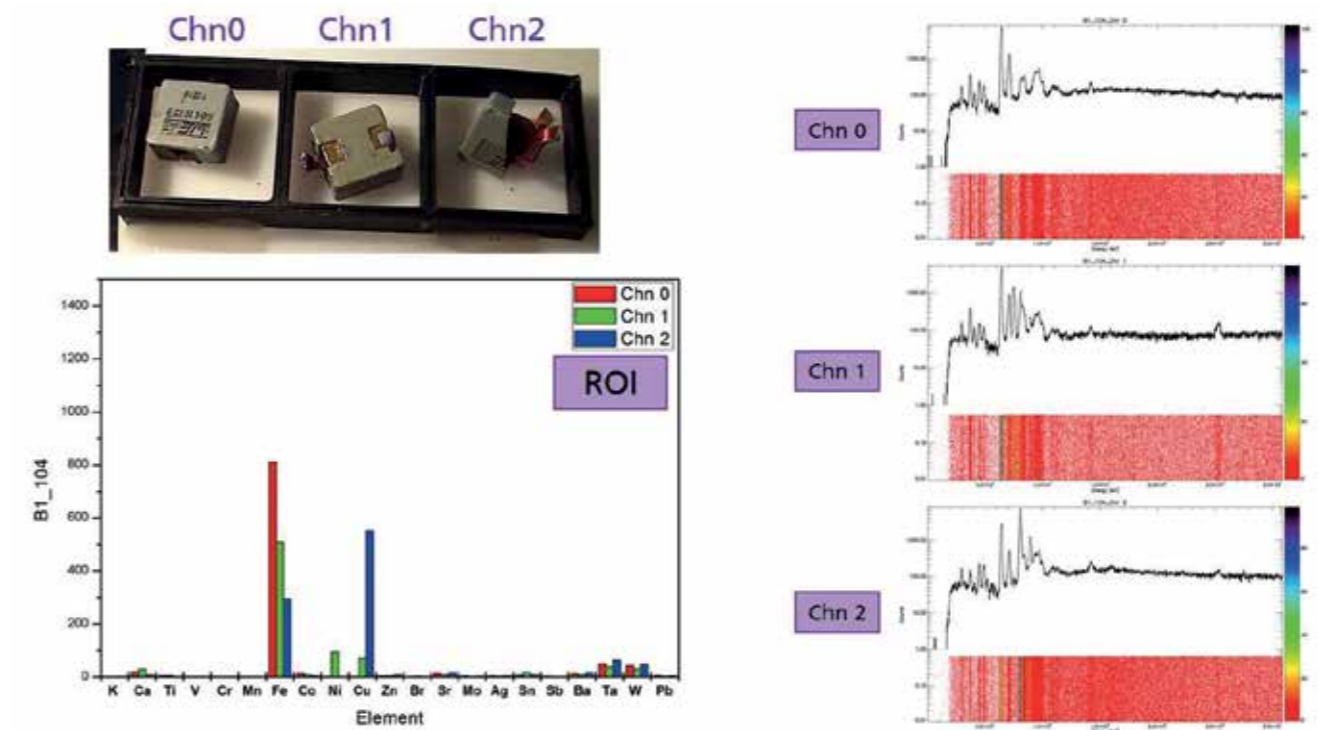


Abb. 2: Testmessungen/XRF-Spektralanalysen an Leiterplatten-Komponenten, Quelle: LLA Instruments

Projektfortgang

Im ersten Drittel des Projektes wurden wichtige Grundlagen der Einzeltechnologien innerhalb der Recycling-Prozesskette erarbeitet. Inklusiv Entstückung, Sortierung sowie Möglichkeiten zur metallurgischen Verwertung der Technologiemetalle. Die Einzeltechnologien gilt es nun weiter zu entwickeln und aufeinander abzustimmen. Klar definierte

Fraktionen sind das Ziel der Entstückung, beispielsweise unbeschädigte Einzelkomponenten bestimmter Größen. Sensorgestützt sollen einzelne Technologiemetalle detektiert, sortiert und für die metallurgische Verwertung bereitgestellt werden. Die gesamte MetalSens-Prozesskette wird schließlich einer ökonomisch-ökologischen Bewertung unterzogen.



Abb. 3: Shredder-Anlage zur Entstückung der Leiterplatten, Foto: SICON

Kontakt
 Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT
 Steinbachstraße 17
 52074 Aachen
 Florian Lindner, M.Sc. | Tel. +49 241 8904-160
 E-Mail: florian.lindner@ipt.fraunhofer.de
 Projektlaufzeit: 01.09.2016 – 31.08.2019
 Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 111

MinSEM

Konzept zur Rückgewinnung von Seltenerdelementen sowie Platingruppenmetallen aus mineralischen Aufbereitungs- und Produktionsrückständen



Nachhaltige Rohstoffnutzung durch effektives Recycling

Cer aus Schlacken recycelter Autoabgas-Katalysatoren, Lanthan aus optischen Flintgläsern – MinSEM gewinnt wirtschaftsstrategische Seltenerdelemente zurück. Flintgläser (Abb. 1), die wegen ihres hohen Brechungsindex als optische Linsen und Prismen in Objektiven oder Mikroskopen eingesetzt werden, enthalten bis zu 40 Gewichts-Prozent Lanthan aber auch Neodym und Praseodym. Auch wertvolle Platingruppenmetalle in Katalysatorschlacken hat das Projekt hinsichtlich eines ressourcen- und energieeffizienteren Schmelzprozesses beim Recycling im Blick. Hintergrund: Für die Produktion von Autoabgas-Katalysatoren werden 31% der jährlichen Platin-, 57% der Palladium-, 84% der Rhodium- und 17% der Cer-Produktion auf der Welt verbraucht.

Zwischenergebnisse

Recycling seltener Erden aus Katalysatorschlacken

Mechanochemisches Leaching bringt in Versuchen die besten Erfolge und ist sehr selektiv. Hierbei erfolgt eine mechanische Feinstzerkleinerung der Schlacke zur Aktivierung der Partikeloberflächen bei gleichzeitiger Extraktion der Zielelemente unter Einsatz schwachkonzentrierter anorganischer Säuren beziehungsweise Laugen oder organischer Komplexbildner.

Wichtigstes Zielelement ist Cer. Daneben sind im Ausgangsmaterial die klassischen Schlackenbildner Aluminium, Silizium, Calcium, Magnesium, Zirkonium und Kalk (CaCO_3) vertreten. Schlackenbestandteile sind zudem Alkalimetalle, wie Natrium, sowie infolge Oxidation Sauerstoff. Vorhandenes Eisen fungiert im Schmelzprozess als Sammlermetall für die rückzugewinnenden Platingruppenmetalle.

Durch Feinstmahlung und Erhöhung der Temperaturen im mechanochemischen Prozess sinkt die Löslichkeit von Aluminium, Zirkonium und Silizium, während die Löslichkeit von Calcium, Cer und Lanthan steigt. Die Cer-Konzentration



Abb. 1: Optisches seltenerdhaltiges Glas für den Einsatz in der Brillenindustrie, Foto: Fraunhofer ISC

in der Lösung nach einstündiger mechanochemischer Behandlung unter Verwendung schwachkonzentrierter Säuren ist vergleichbar zwölfstündigem Laugen in Königswasser (Abb. 2). Königswasser zum nahezu vollständigen Aufschluss ist eine Mischung aus konzentrierter Salzsäure und konzentrierter Salpetersäure im Verhältnis drei zu eins. Aus klassisch gelaugten Proben konnte im Vergleich deutlich weniger Cer extrahiert werden: 91% der Ausgangskonzentration an Cer von 2,85% ließen sich mit Königswasser extrahieren, 85% durch mechanochemische Laugung. Klassische Laugung nach Vorbehandlung in einer Planetenkugelmühle hingegen brachte nur 42% Recyclingerfolg be-

ziehungsweise nur 15% bei Verwendung einer Rotormühle. Aus ökologischen und ökonomischen Gründen wird der Königswasseraufschluss nur im Labormaßstab angewendet.

Lanthan-Rückgewinnung aus optischen Gläsern

Gläser der optischen Spezialglasindustrie enthalten oft nennenswerte Mengen an seltenen Erden. Festkörper-Gas-Reaktionen bieten die Möglichkeit, wertvolle Metalle selektiv in eine gasförmige Verbindung zu überführen und dadurch abzutrennen. Die Methode bietet den Vorteil, dass keine starken Säuren, wie Flusssäure oder giftige Lösemittel eingesetzt werden müssen.

Der fest-gasförmig-Übergang wird als Sublimation bezeichnet. Eine Elementanalyse ergab, dass Lanthan als Oxid (La_2O_3) vorliegt. Die meisten Oxide in Gläsern lassen sich durch Chlorierung in gasförmige Metallchloride überführen. Geeignete Prozesse sind die Heißchlorierung mit Chlor beziehungsweise Ammoniumchlorid oder die Carbochlorierung.

Bei der Carbochlorierung gehen die Metalle Niob, Titan und Zirkonium bereits bei 800°C in die Gasphase über, Seltene Erden erst bei 1.000°C (Abb. 3). Daran ist zu erkennen, dass seltene Erden hinsichtlich der Einwirkung von Chlor im Gegensatz zu anderen Metallen sehr hochtemperaturstabil sind. Nach 60 Minuten Haltezeit bei 1.000°C verbleiben nur noch gut zehn Prozent des Lanthans im Feststoff.

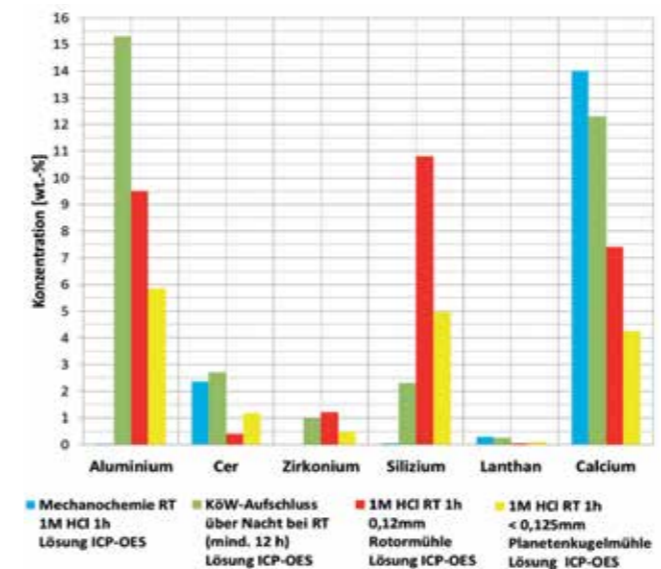


Abb. 2: Konzentration der Ce, La, Al, Zr, Si und Ca-Ionen in der Lösung nach dem klassischen und mechanochemischen Leaching der Katalysatorschlacke bei RT mit Salzsäure (HCl) und Königswasser, Quelle: Fraunhofer ISC Projektgruppe IWKS

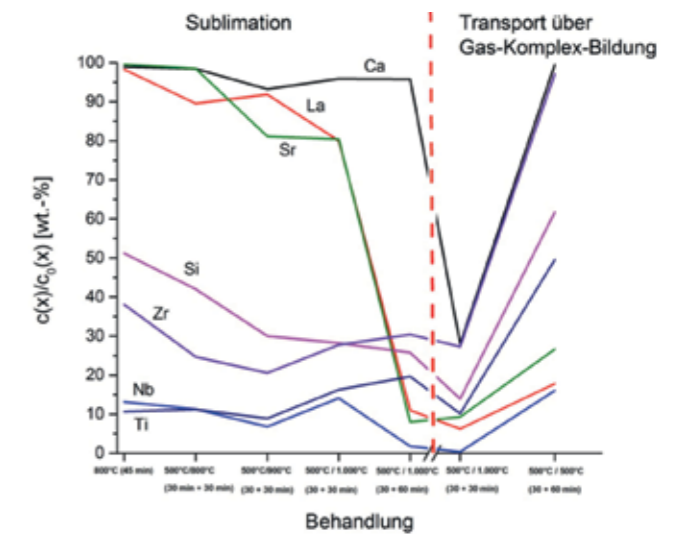


Abb. 3: Prozentuale Anteile der im Feststoff verbliebenen Metalle nach der Sublimation (Carbochlorierung) und Transport über Gas-Komplex-Bildung, Quelle: Fraunhofer ISC Projektgruppe IWKS

Bei der Variante „Gas-Komplexbildung“ zeigt sich, dass Lanthan bereits bei Temperaturen von 500 °C und einer Behandlungsdauer von 60 Minuten in die Gasphase überführt wird. Bei höherer Temperatur von 1.000 °C steigt die Übergangsrate von Lanthan deutlich an, sodass bereits nach 30 Minuten nur noch gut sechs Prozent des ursprünglichen Lanthans im Festkörper vorhanden sind.

Ausblick

Zur selektiven Rückgewinnung muss das Lanthan aus der Gasphase kondensiert werden. Aus ökonomischer Sicht gilt es den niedrigeren Energieverbrauch des Gas-Komplex-Ansatzes der einfacheren Prozessführung bei der Sublimation gegenüberzustellen.

Kontakt
 Fraunhofer ISC Projektgruppe IWKS
 Brentanostraße 2
 63755 Alzenau
 Dr. Karolina Kazmierczak | Tel. +49 6023 32039-845
 E-Mail: karolina.kazmierczak@isc.fraunhofer.de
 Projektlaufzeit: 01.06.2015 – 31.05.2018
 Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 112

REWITA

Recycling bergbaulicher Aufbereitungsrückstände zur Gewinnung wirtschaftsstrategischer Metalle am Beispiel der Tailings am Bollich in Goslar



Als Reste aus der Erzaufbereitung des früheren Erzbergwerks Rammelsberg im Harz lagert ein Schatz wirtschaftsstrategischer Rohstoffe in feinen Schlämmen der Bergeteiche (Tailings). Geschätzter Wert des enthaltenen Indiums, Galliums und weiterer Metalle sowie des Industrieminerals Baryt: Mehrere Millionen Euro. REWITA-Verbundpartner aus Wissenschaft und Industrie untersuchen, wie dieser Schatz gehoben und industriell aufbereitet werden kann.

Zwischenergebnisse und Ausblick

Das Bergeteichmaterial wurde mittels einer aufwändigen Bohrkampagne repräsentativ beprobt. Mineralogische Analysen ergaben eine relativ homogene Mineralverteilung. Die Varianzen der Wertstoffkonzentrationen von BaSO₄, Kupfer, Zink, Blei, Kobalt, Gallium und Indium sind vergleichsweise gering. Bei Baryt ist ein deutlicher Zuwachs mit der Teufe vorhanden. Die Ablagerung zeigt keinen ausgeprägten stratiformen Aufbau. Die Metalle Indium und Kobalt sind an die Sulfide Zinkblende, Kupferkies und Pyrit gebunden. Gallium hingegen ist dominant mit einer silikatischen Matrix.

Das Computermodell der Lagerstätte ist weitestgehend entwickelt, sodass die Grundlage für die Quantifizierung des Inhaltes gelegt ist, siehe Abb.1.

Eine Abschätzung auf Basis der Elementkonzentrationen und Gesamtmassenabschätzungen ergibt nach gegenwärtigem Stand ein Potenzial von circa 30 – 50 Tonnen Indium bei einem Mittelwert von ~ 6 µg/g, 130 – 200 Tonnen Gallium bei einem Mittelwert von ~29 µg/g und 700 – 1.300 Tonnen Kobalt bei einem Mittelwert von ~280 µg/g.

Geotechnische Untersuchungen des Deponats ergaben hinsichtlich der Korngrößenverteilung einen tonigen Schluff bis schluffigen Sand mit Reibungswinkeln zwischen 22 und 37°. Das Material weist eine weiche bis breiige Konsistenz nach mechanischer Lockerung, etwa im Zuge von Abbaumaßnahmen auf. Der Zwischendamm und der Hauptdamm der Tailings gründen geotechnisch zum Teil auf dem Deponat selbst. Dieses stellt für den Abbau eine Herausforderung dar. Ein Abbau der oberen Schichten des Bergeteichmaterials sowie folgend der oberen Dammbereiche scheint möglich.

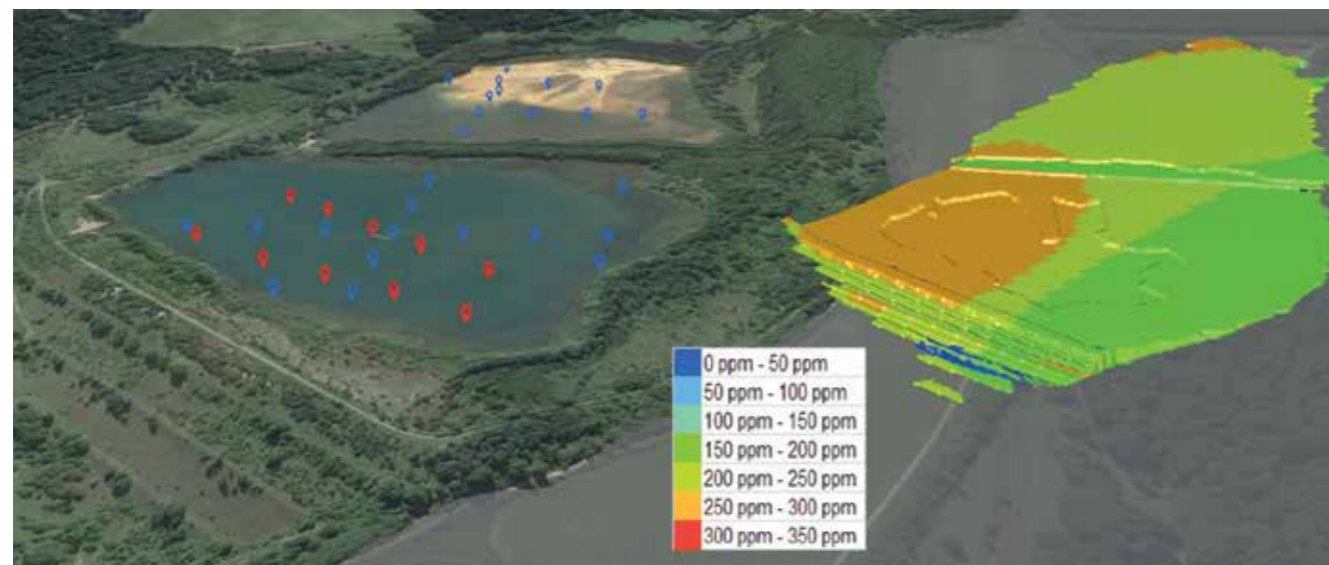


Abb. 1: Lagerstättenmodell für Kobalt mit den zugehörigen Probestellen, Quelle: Angela Binder, TU Clausthal, Institut für Bergbau

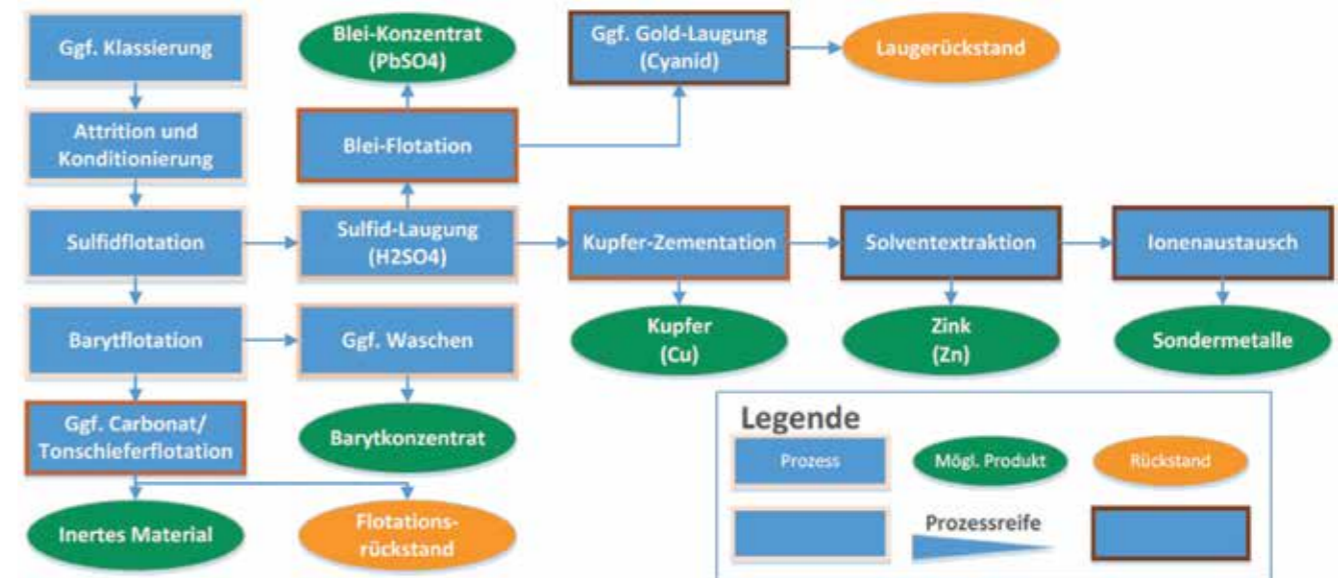


Abb. 2: Verfahrensansatz im Projekt REWITA sowie mögliche Produkte und Rückstände mit einer Einschätzung zum derzeitigen Entwicklungsstand, Quelle: Felix Römer, TU Clausthal, IFAD

Jedoch erfordert dies unter Umständen flankierende Sicherungsmaßnahmen zur geomechanischen Stabilisierung. Ein zuerst entwickelter vertikaler Abbau wäre jedoch aufgrund der nötigen geotechnischen Sicherung kostenintensiver. Eine externe Lagerung der neu anfallenden Aufbereitungsrückstände sollte eingeplant werden.

Entscheidungsmodelle für eine allgemeine Abbauplanung sind entwickelt worden. Weitere Erkenntnisse im Laufe des Projekts fließen ein.

Minerale selbst in feinsten Partikeln verwachsen

Die ermittelte Partikelgröße des Bergeteichmaterials und der wertstoffhaltigen Partikel mit einem Anteil von rund 50 % kleiner 10 µm ist wesentlich feiner, als dies ältere Untersuchungen erwarten ließen. Es konnte keine deutliche größenabhängige Anreicherung festgestellt werden. Durch die sehr kleinen Partikel und selbst dort noch beobachtete Verwachsungen der Minerale, können mittels mechanischer Sortierverfahren keine finalen Konzentrat- und Bergequalitäten erzeugt werden. Mit Hilfe der Feinkornflotation gelingt jedoch eine Trennung in verschiedene werthaltige Vorkonzentrate (Barytkonzentrat, Sulfidkonzentrat, Bergematerial).

Diese Vorkonzentrate sind für eine ausreichend hohe Anreicherung an Wertstoffen beziehungsweise Abreicherung

an Störstoffen einer hydrometallurgischen Aufbereitung zu unterziehen. Unter Einsatz von Schwefelsäure lässt sich ein guter Aufschluss für Kupfer, Zink Indium und Kobalt erreichen. Eine Trennung dieser Elemente und eine Abtrennung von teilweise ebenfalls gelöstem Eisen über Solventextraktion und Ionenaustausch sowie Anreicherungsansätze für Blei, Silber und Gold sind Gegenstand laufender Untersuchungen. Abb. 2 zeigt den bisherigen Verfahrensansatz.

Untersuchungen zur Entwässerung erzeugter Fraktionen, zur Wasserführung und deren Reinigung konnten im Labormaßstab erfolgreich abgeschlossen werden. Zur modernen Datenerfassung und Prozesssteuerung wurden entsprechende Datenmanagementsysteme implementiert.

Kontakt

CUTEC Clausthaler Umwelttechnik Forschungszentrum der TU Clausthal
 Leibnizstraße 23
 38678 Clausthal-Zellerfeld
 Dr. Torsten Zeller | Tel. +49 5323 933-206
 E-Mail: torsten.zeller@cutec.de
 Projektlaufzeit: 01.05.2015 – 30.04.2018
 Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 114



SESAM

Gewinnung von Sekundärrohstoffen aus Flugaschen der Müllverbrennung



Abschätzung des deutschlandweiten Potenzials

Trotz intensiver Bemühungen um ein effektives Recycling, werden große Mengen an Wertstoffen nicht wiedergewonnen und enden in der Müllverbrennung. In Anbetracht der zunehmenden Verknappung wirtschaftsstrategisch wichtiger Stoffe, ist es für den Hochtechnologiestandort Deutschland unabdingbar, auch die bei der thermischen Verwertung von Hausmüll anfallenden Flugaschen (jährlich etwa 130.000 Tonnen) als potenzielle Quelle für Sekundärrohstoffe zu betrachten.

In einem ersten Schritt des SESAM-Projekts wurde das Wertstoffpotenzial in der Flugasche der Müllverwertungsanlage (MVA) Ingolstadt umfassend analysiert und bewertet. Ein Hauptaugenmerk galt den jahreszeitlichen Schwankungen, welche sich aus der stark inhomogenen Zusammensetzung des angelieferten Abfalls ergeben. Durch die zusätzliche Beprobung weiterer Anlagen in Deutschland, welche auch andere Abgasreinigungsverfahren anwenden, lässt sich eine erste Abschätzung über das deutschlandweite Potenzial treffen (Abb. 1, 2).

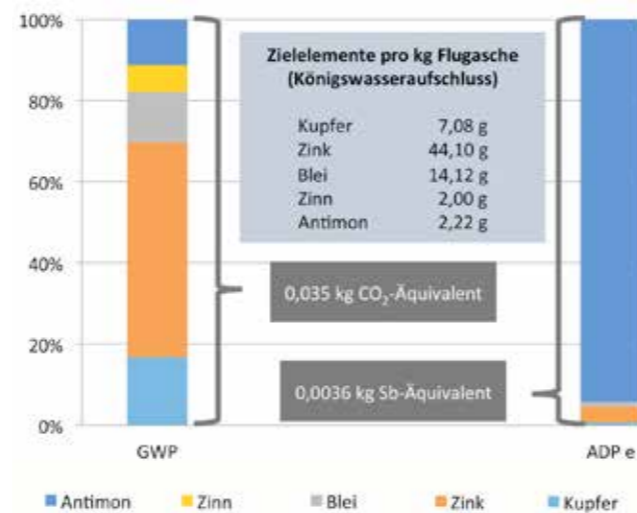


Abb. 2: Potenzial der in der Flugasche enthaltenen Zielelemente hinsichtlich ihres Treibhauspotenzials (GWP) und der Verknappung von Rohstoffen (ADP e) bei der Gewinnung aus Primärrohstoffquellen, Quelle: TU München

Mit der sauren Flugaschenwäsche „FLUWA“ kommt in der MVA Ingolstadt (Abb. 3) bereits heute ein Verfahren zum Einsatz, mit dem Wertstoffe großtechnisch unter schwach sauren Bedingungen aus der Flugasche gelöst werden können. Davon ausgehend, wird die hydrometallurgische Freisetzung der im ersten Schritt definierten Wertstoffe unter Einsatz unterschiedlicher Säuren und Bedingungen untersucht.

Die Freisetzung der Wertstoffe ist erst der Anfang. Klassische Rückgewinnungsverfahren erlauben meist nur bedingt eine selektive Abtrennung wirtschaftsstrategisch relevanter Wertstoffe aus komplexen Prozessabwässern. Deshalb wird im Projekt die polymergestützte Ultrafiltration als ein innovatives Verfahren zur Abtrennung von Sekundärrohstoffen aus wässrigen Lösungen implementiert und im Pilotmaßstab erprobt.

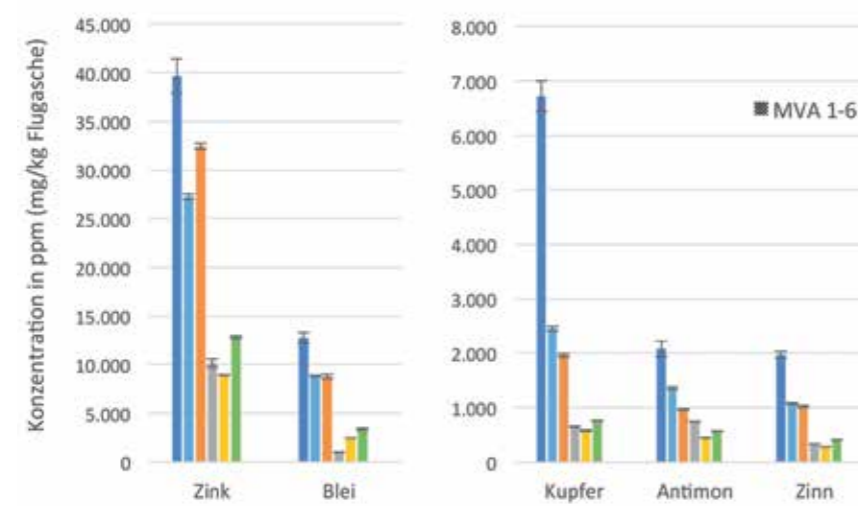


Abb. 1: Gehalte der in hohen Konzentrationen enthaltenen Zielelemente in den Flugaschen der thermischen Müllverwertung (nach Königswasseraufschluss) bei der deutschlandweiten Beprobung von sechs Müllverwertungsanlagen (MVA), Quelle: TU München



Abb. 3: Pilotanlage PAUF Ingolstadt, Foto: TU München

Zwischenergebnisse

Die Analysen zeigen, dass in den Flugaschen der Müllverbrennung hohe Konzentrationen an Zink, Blei, Kupfer und Zinn enthalten sind. Wirtschaftsstrategisch von besonderer Relevanz ist der mit bis zu 2.000 mg/kg hohe Gehalt an versorgungskritischem Antimon, welcher das Ziel einer Rückgewinnung von Antimon aus den Flugaschen nahelegt.

Die FLUWA eignet sich, so wie sie derzeit großtechnisch betrieben werden kann, gut für die Freisetzung von Zink, Blei und Kupfer. Antimon und Zinn können bei den vorherrschenden Bedingungen allerdings nicht effektiv mobilisiert werden. In Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern aus anderen r4-Verbundprojekten wird der Einsatz alternativer Freisetzungsvorgängen, beispielsweise einer hydrothermalen Extraktion, für die Gewinnung des in den Aschen enthaltenen Antimons geprüft. Erste Versuche belegen eine Steigerung der Freisetzung mit diesem Verfahren.

Ausblick

Die Veröffentlichung der Analysen legt das Potenzial der Flugaschen bis in den Spurenbereich hinein erstmals um-

fassend dar. Aufbauend hierauf erfolgt die Entwicklung eines Verfahrens, mit dem die Nutzung eines Teils der enthaltenen Wertstoffe ermöglicht wird, unter anderem durch polymergestützte Ultrafiltration. Abschließend folgt eine Darstellung, welchen Beitrag die Flugaschen der Müllverbrennung bei der Rohstoffversorgung in Deutschland unter Berücksichtigung ökologischer und ökonomischer Gesichtspunkte zukünftig leisten können.

Kontakt

Technische Universität München
Department Chemie – Fachgebiet Analytische Chemie
Lichtenbergstraße 4
85748 Garching bei München
Prof. Dr. Michael Schuster | Tel. +49 89 289-13763
E-Mail: michael.schuster@tum.de
Projektlaufzeit: 01.01.2015 – 30.06.2018
Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 117



Theisenschlamm

Gewinnung wirtschaftsstrategischer Rohstoffe aus Stäuben der Kupferherstellung



Breite Palette an Rohstoffen

Zahlreiche wichtige und seltene Metalle birgt der so genannte Theisenschlamm – Restmaterial aus der früheren Kupferschiefer-Verarbeitung im Raum Mansfeld in Sachsen-Anhalt. Mit innovativen Verfahren gewinnt der Projektverbund „Theisenschlamm“ die Wertstoffe aus dem Bergbau zurück und macht dieses Material so zum Rohstofflieferanten für den Hightech-Standort Deutschland.

Im Gemisch des Theisenschlammes (Abb. 3) schlummern wertvolle Ressourcen. Neben hohen Gehalten an Zink, Zinn, Blei und Kupfer enthält dieses Material zahlreiche wirtschaftsstrategische Rohstoffe wie Molybdän, Rhenium, Kobalt, Germanium und Antimon. Die Einsatz-Palette der Rohstoffe ist breit: Molybdän, Kobalt und Rhenium sind Bestandteile verschiedener Legierungen und von Katalysatoren. Germanium wird beispielsweise für Glasfasertechnik sowie Infraroptik und Antimon zur Härtung von Blei für Starterbatterien verwendet.



Abb. 2: Bioreaktor zur Laugung des Theisenschlammes, Quelle: TU-BAF-Mikrobiologie

Eine besondere Herausforderung bei der Aufarbeitung des Theisenschlammes stellen die gezielte Abtrennung sowie die Anreicherung der niedrig konzentrierten Wertelemente dar. Hinzu kommt ein hoher Anteil organischer Verbindungen. Untersuchungen mit hochauflösenden instrumentell-analytischen Methoden zeigen, dass es sich dabei hauptsächlich um ein komplexes Gemisch aromatischer Kohlenwasserstoffe handelt, das hohe Ähnlichkeit zu Teeren aus Kohle hat.

Die innovative Verwertung des Theisenschlammes ist lohnenswert, denn in den geschätzten 250.000 Tonnen werden allein zehn Tonnen Rhenium vermutet. Das entspricht einem Rohstoffwert von rund 22 Millionen Euro.

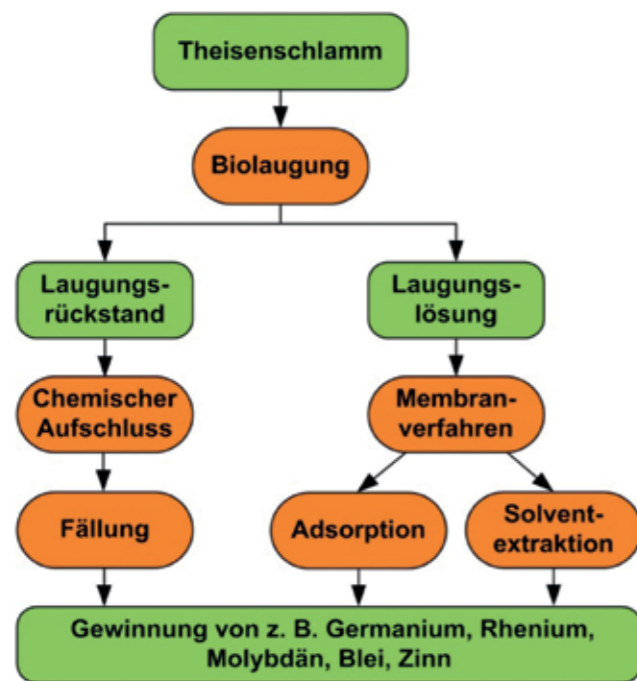


Abb. 1: Vereinfachtes Verfahrensschema, Quelle: Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ



Abb. 3: Foto des Theisenschlammes, Quelle: Dr. Birgit Daus, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ

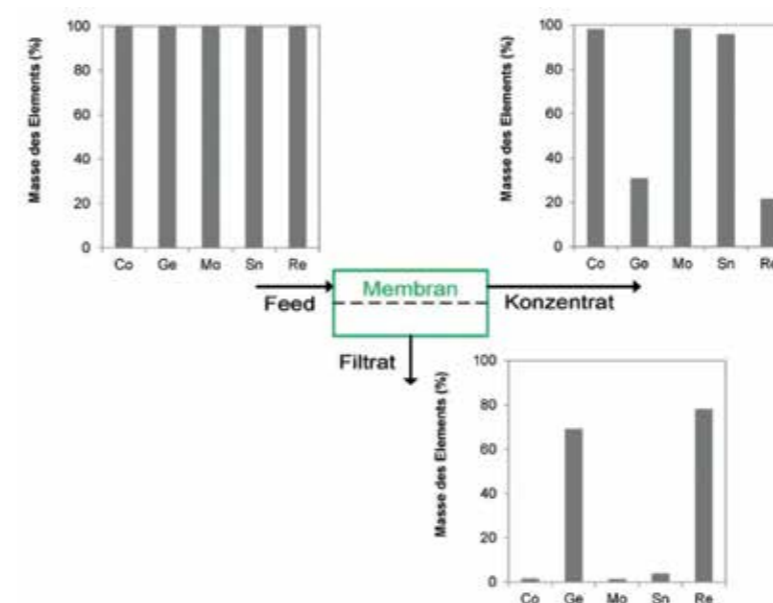


Abb. 4: Abtrennung von Rhenium (Re) und Germanium (Ge) aus der Biolaugungslösung durch das Membranverfahren, Quelle: TUBAF-ITUN

Zwischenergebnisse

Im ersten Schritt der Theisenschlamm-Aufarbeitung wird auf ein spezielles biotechnologisches Verfahren gesetzt, bei dem die Wertelemente mithilfe von Mikroorganismen aus dem Feststoff gelöst werden sollen. Für die erhaltene Laugungslösung kommen anschließend eine Kombination spezifischer Trenn- und Anreicherungsverfahren zum Einsatz (Abb.1, 2).

Mit energie- und ressourcenschonenden Membranverfahren ist eine erste Trennung der Zielelemente möglich, was die Gewinnung in den nachfolgenden Schritten stark erleichtert (Abb. 4). Aufgrund hoher Variabilität ermöglicht die Solventextraktion die Gewinnung einer Vielzahl von Elementen.

So konnte beispielsweise die Anreicherung von Molybdän- und Rhenium um den Faktor 20 gezeigt werden. Eine sehr gute Abtrennung durch Adsorption an eisenoxidhaltigen Feststoffen wurde für Molybdän, Antimon und Germanium nachgewiesen. Auch für Rhenium wurde mit Aktivkohle ein geeignetes Sorptionsmittel gefunden. Zur Gewinnung weiterer Wertelemente wird auch der Rückstand der Biolaugung zunächst gelöst. Anschließend können durch eine Fällung beispielsweise Blei und Silber gewonnen werden.

Ausblick

Das Projektteam untersucht zukunftssträchtige Verfahren, welche besonders auf die Gewinnung der niedrig konzentrierten Wertelemente abzielen. Aufgrund der Vielseitigkeit dieser Prozesse stellen die bisherigen Ergebnisse eine sehr gute Grundlage dar, diese auf zukünftige Anwendungen mit ähnlichen Anforderungen zu übertragen.

Kontakt

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ
 Department Analytik
 Permoserstrasse 15
 04318 Leipzig
 Dr. Birgit Daus | Tel. +49 341 235 1769
 E-Mail: birgit.daus@ufz.de
 Projektlaufzeit: 01.02.2015 – 31.07.2018
 Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 117



TransTech

Entwicklung transformativer Laugungstechnologien zur Steigerung der Ressourcenausbeute von Li, Co und Ag führenden Rohstoffen



Mehr Nachhaltigkeit durch intensivere Laugungsprozesse

Umweltbelastungen reduzieren und gleichzeitig die Effektivität von Laugungsprozessen erhöhen? Unwirtschaftliche Materialien und Abfälle nutzen, statt diese zu entsorgen? Die Anwendung von Mikrowellen-, Plasma-, Ultraschall-Technologie bis hin zu Magneten ermöglicht es, die Reaktivität von Wasser und wässrigen Medien zu steigern.

Seit Projektbeginn im April 2016 befasst sich das Projekt „TransTech“ in Kooperation mit kanadischen Instituten und Unternehmen, sowie den deutschen Firmen MEAB Chemie Technik GmbH und MIMI Tech GmbH mit Fragestellungen zum Thema „aktiviertes Wasser“ hinsichtlich der gesteckten Ziele.

Konventionelle Laugungsprozesse zur Gewinnung von Metallen zeichnen sich durch die Nutzung starker Säuren, Basen und Fällungsreagenzien aus, die die Umwelt belasten. TransTech möchte diese Belastungen reduzieren und den

eigentlichen Laugungsprozess verbessern. Infolge Aktivierung kann mit der gleichen Chemikalienmenge die Ausbeute gesteigert und die Wirtschaftlichkeit von Prozessen verbessert werden. Durch verbesserte Laugungseffizienz wird auch unwirtschaftliches Ausgangsmaterial für die Laugung interessant. So wurden für dieses Projekt explizit Materialien, speziell Schlacken (Abb. 1), ausgewählt, für die eine konventionelle Laugung bisher nicht wirtschaftlich ist. Ein besonderer Fokus wird auf die Metalle Silber, Lithium und das kritische Kobalt gelegt, welche in nur geringen Mengen in den ausgewählten Ausgangsmaterialien vorliegen.

Eingesetzte Technologien aktivieren auf verschiedene Weise Wasser und wässrige Medien: Mikrowellen bewirken eine direkte und selektive Erhitzung der Reaktionslösung. Ziel ist ein kontrollierbarer und sparsamer Heizprozess. Bei der Wechselwirkung von Wasser mit Plasma oder Ultraschall hingegen kann durch die Bildung von Radikalen die benötigte Reaktionszeit und Chemikalienmenge verringert werden. Zur besseren Beurteilung der Aktivierung können die

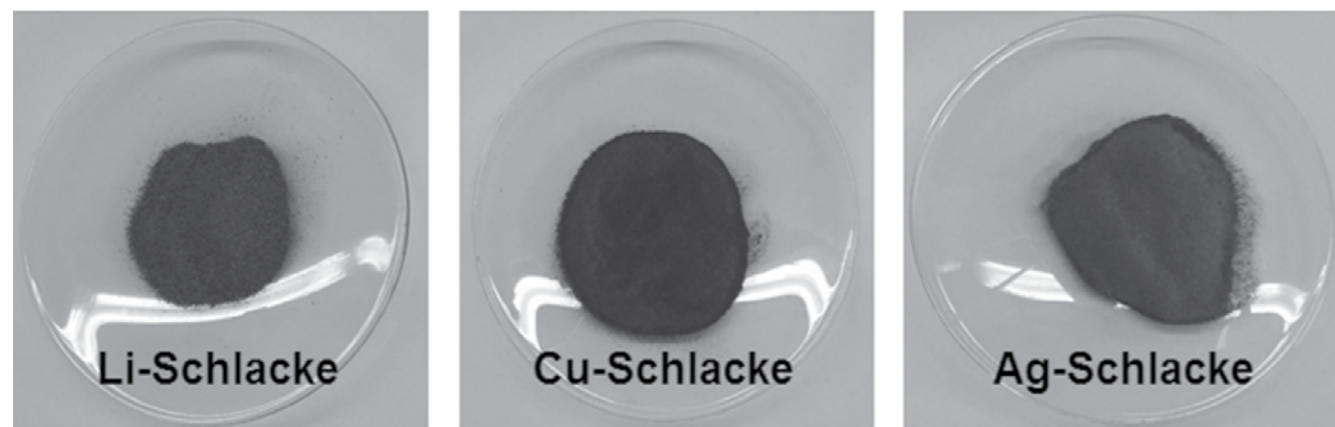


Abb. 1: Im Projekt verwendete Schlacken, Fotos: RWTH Aachen University, IME



Abb. 2: Messung der Aktivierung mittels UV-Vis, Fotos: RWTH Aachen University, IME

Konzentrationen der Radikale und deren Folgeprodukte mittels Photometrie (UV-Vis-Spektroskopie) bestimmt werden (Abb. 2).

Zwischenergebnisse

Im ersten Forschungsjahr des Projekts stand insbesondere die Bestellung der erforderlichen Apparaturen im Vordergrund, die teilweise, wie bei der Plasma-Anlage, speziell für das Vorhaben konzipiert werden mussten. Nach erfolgten Screening-Tests zur Untersuchung der Effektivität konventioneller Laugung, wurden die notwendigen Parameter für die Aktivierungsversuche ausgewählt.

Projektfortgang

Da mit aktiviertem Wasser nicht nur die für TransTech ausgewählten Ausgangsstoffe gelaugt werden können, ist die Anwendung der effektivsten Technologie auch für andere Primär- und Sekundärmaterialien denkbar.

Noch vor Projektende wird bereits deutlich: das Potenzial zur Erhöhung der Effektivität von Laugungsprozessen durch die Aktivierung von Wasser und wässrigen Medien ist gegeben. Über die Wirtschaftlichkeit entscheidet der aktuelle Weltmarktpreis der gewonnenen Metalle.

Kontakt

RWTH Aachen University, IME
Intzestraße 3
52056 Aachen
Prof. Bernd Friedrich | Tel. +49 241 80-95850
E-Mail: bfriedrich@ime-aachen.de
Projektlaufzeit: 01.04.2016 – 31.03.2019
Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 118



VAFLOW

Einsatz eines Vanadiumelektrolyts auf Basis von Sekundärrohstoffen in Redox-Flow-Batteriespeichersystemen



Verknüpfung von Energie- und Rohstoffwende

Die Energieversorgung der Zukunft braucht leistungsfähige Speichersysteme. Wie die Energieerzeugung sind auch Speichersysteme auf spezifische wirtschaftsstrategische Rohstoffe angewiesen. Im Fall der Redox-Flow-Batteriespeicher ist dies das Metall Vanadium für den Elektrolyten, in dem die Energie chemisch gespeichert wird.



Abb. 1: Neue Energie aus Industrie-Abfällen: „VAFLOW“ gewinnt Vanadiumelektrolyt für Batterien, Foto: Fraunhofer UMSICHT

Damit Vanadium sicher und langfristig verfügbar ist, entwickelt das VAFLOW-Projektteam ein Verfahren, um vanadiumhaltige Reststoffe aus der Industrie für eine Nutzung in

Batteriespeichern aufzubereiten. Damit leistet das Vorhaben einen Beitrag sowohl für nachhaltige Energieinfrastrukturen als auch für die Kreislaufwirtschaft. Es werden Verfahren entwickelt, um entsprechende Reststoffe mit geringem Vanadiumgehalt pyro- und hydrometallurgisch zu einem hochwertigen Vanadium-Elektrolyten aufzubereiten. Dabei wird die gesamte Wertschöpfungskette betrachtet, beginnend mit der Identifizierung und Charakterisierung relevanter Reststoffströme. Diese werden mit geeigneten metallurgischen Trennverfahren behandelt und das abgetrennte vanadiumhaltige Vorprodukt für die Elektrolytherstellung eingesetzt. Durch Tests in einem Batterieteststand, wird so der hergestellte VAFLOW®-Elektrolyt charakterisiert, seine Leistungsfähigkeit mit der von kommerziellen Elektrolyten verglichen und an die Erfordernisse in Redox-Flow-Batterien angepasst.

Zwischenergebnisse

Sieben Stoffströme aus den Branchen Chemie, Energie und Stahl, die sich prinzipiell für eine Aufbereitung zu einem vanadiumhaltigen Vorprodukt eignen, wurden identifiziert. Analysen der einzelnen Stoffströme ergaben Vanadiumgehalte zwischen 0,2 und drei Massenprozent. An der TU Freiberg erfolgten hydrometallurgische Versuche mit Nebenprodukten der chemischen Industrie (vgl. Abb. 2), um das enthaltene Vanadium vollständig in Lösung zu überführen, Störelemente abzutrennen und Vanadium selektiv aufzukonzentrieren. Erste Ergebnisse zeigen eine gute Löslichkeit des Vanadiums, jedoch sind weitere Trennschritte notwendig, um das Trennergebnis weiter zu steigern. Es wird erwartet, dass die betrachteten Stoffströme durch eine innovative Aufbereitung sowie mögliche Kombination mit anderen vanadiumhaltigen Stoffströmen eine neue wirtschaftliche Alternative darstellen können.

Parallel gelang es dem Projektpartner Nickelhütte Aue GmbH ein bei der Aufarbeitung etablierter Sekundärrohstoffe anfallendes, vanadiumhaltiges Vorprodukt zu einem Testelektrolyten weiterzuverarbeiten. Mit der Erkenntnis:



Abb. 2: Laboraufbau der Laugungsversuche, Foto: Fraunhofer UMSICHT

Grundsätzlich ist die bewährte Vanadium-Recyclingstrecke auch zur Herstellung von Vanadiumelektrolyten geeignet. Neben den hydrometallurgischen Versuchen errichtete Fraunhofer UMSICHT mehrere Teststände mit unterschiedlichen Zellgrößen zur Elektrolytcharakterisierung (vgl. Abb. 3). Ergänzt werden diese Versuchsstände durch einen Aufbau zur Bestimmung des Kapazitätsverlusts des



Abb. 3: Blick in die Redox-Flow-Testzelle, Foto: Fraunhofer UMSICHT

Elektrolyten bei unterschiedlicher Zyklenzahl mittels potentiometrischer Titration.

Projektfortgang

Das Projekt VAFLOW belegt: Potenzial zur Vanadiumgewinnung aus bisher nicht betrachteten Reststoffen ist vorhanden und verfahrenstechnische Lösungen zur Herstellung eines Elektrolyten sind auch im industriellen Maßstab denkbar. Weitere Versuche werden sich mit der gezielten Kombination der vorliegenden Reststoffe befassen, um die Elektrolytherstellung effizienter und kostengünstiger zu realisieren. Im Forschungsfeld „pyrometallurgische Aufbereitung“ werden nun Reststoffe mit hohen Kohlenstoffgehalten gezielt untersucht. Eine entscheidende Frage bei der Elektrolytentwicklung ist: Wie tolerant sind Batteriesysteme gegenüber eingebrachten Störstoffen im Elektrolyt? Angewandte Verfahren werden einer orientierenden Nachhaltigkeitsbewertung unterzogen.

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT
Osterfelder Str. 3
46047 Oberhausen
Jochen Nühlen | Tel. +49 208 8598-1370
E-Mail: jochen.nuehlen@umsicht.fraunhofer.de
Projektlaufzeit: 01.04.2016 – 01.05.2019
Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 119



r⁴-Verbundprojekte

Kreislaufführung von Altprodukten



▶ AddResources

▶ MExEM

▶ AgREE

▶ NeW-Bat

▶ DIBRAS

▶ SEMAREC

▶ gagenda+



AddResources

Rückgewinnung und Wiedereinsatz von Antimontrioxid und Titandioxid aus Kunststofffraktionen der Elektroaltgeräteverwertung



Flammgeschützte Kunststoff-Abfälle als gehaltvolle Rohstoffquelle

Sowohl Antimon als auch Titan zählen zu den versorgungskritischen Metallen und sind in Additiven für Kunststoffgehäuse von Elektrogeräten enthalten: Antimontrioxid als Flammenschutzmittel, Titandioxid als Weißpigment. Lassen sich ausgediente Kunststoffgehäuse als Rohstoffquelle für Antimon und Titan nutzen beziehungsweise enthaltene Sekundärrohstoffe für hochwertige Produkte einsetzen?

Diese Fragen beantwortet seit Projektbeginn im März 2015 das Verbundprojekt AddResources. Mitarbeiter des Fraunhofer Institutes für Verfahrenstechnik und Verpackung nutzen dazu den CreaSolv® Prozess, ein lösemittelbasiertes Verfahren, das die Gehäusekunststoffe auflöst und nach Reinigung zu hochwertigen Kunststoff-Recyclaten verarbeitet. In der Reinigungsstufe werden die beiden kritischen Metalle mit Aggregaten des Projektpartners Flottweg SE aus der Kunststofflösung abgetrennt und nach weiterer Auf-

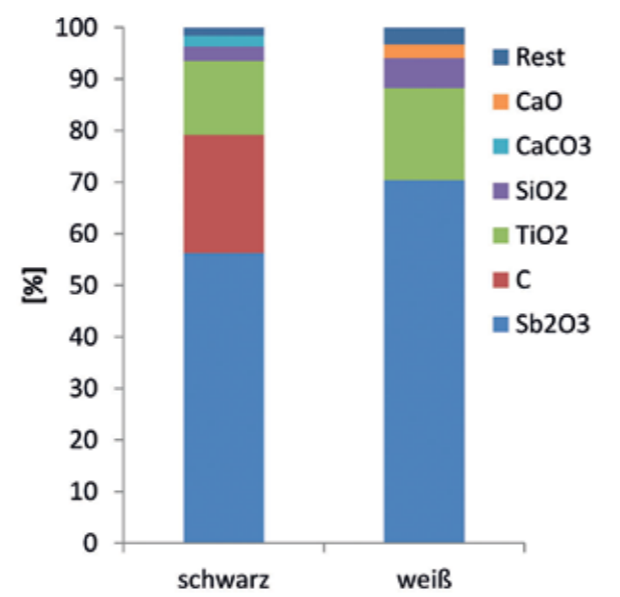


Abb. 2: Die Additive können in zwei Qualitäten rückgewonnen werden. Ohne Kohlenstoff wird ein weißes Sekundäradditiv mit Antimontrioxidgehalten von 73 % wiedergewonnen (rechts). Im anderen Fall erhält man ein schwarzes Pulver mit 62 % Antimontrioxid, Quelle: Fraunhofer IVV

bereitung zu Sekundär-Additiven verarbeitet, die der Additiv- und Masterbatchlieferant ARGUS Additive Plastics GmbH in neuen Produkten verarbeitet. Der vierte Projektpartner, die UVE GmbH, übernimmt die Öffentlichkeitsarbeit sowie die Vernetzung der Technologiepartner mit Erstbehandlungsanlagen für Elektroaltgeräte, explizit Vertretern der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (öRE).

Zwischenergebnisse

Ein wichtiges Ergebnis des AddResources-Projektes ist, dass sich partikuläre Additive im unteren Mikrometerbereich mithilfe der Zentrifugalkraft effektiv aus Polymerlösungen abtrennen lassen. Sowohl Antimontrioxid als auch Titandioxid sind stofflich recycelbar. Ein weiteres wichtiges Ergebnis besteht darin, dass sich aus den abgetrennten Partikeln Additivkonzentrate herstellen lassen, die sich als Polymeradditiv eignen. Sie erreichen die Spezifikationen hinsichtlich der Partikelgröße und können Antimontrioxid-Neuware zu



Abb. 1: Test des Flammenschutzmittels: Kunststoffolie additiviert mit Antimontrioxid. In der Kantenbeflammung zeigt sich eine bessere Schutzwirkung durch das wiedergewonnene Antimontrioxid (rechts) im Vergleich zur Neuware (links), Foto: ARGUS Additive Plastics GmbH



Abb. 3: Bildschirm Altgeräte bei einem Recyclingunternehmen, Foto: Fraunhofer IVV

100 % substituieren. Aktuelle Flammprüfungen nach DIN 4102 B2 (Kantenbeflammung) belegen, dass die Sekundäradditive keine Wirkungseinbußen zeigen und sogar besser als Neuware abschneiden (Abb. 1).

Forschung für die Zukunft

Damit ist der technische Nachweis gelungen, dass flammgeschützte Gehäusekunststoffe – eine Problemfraktion der Elektroaltgeräteverwertung – einer umfassenden stofflichen Verwertung zugeführt werden können, mit RoHS (Richtlinie zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten) konformen Poly-

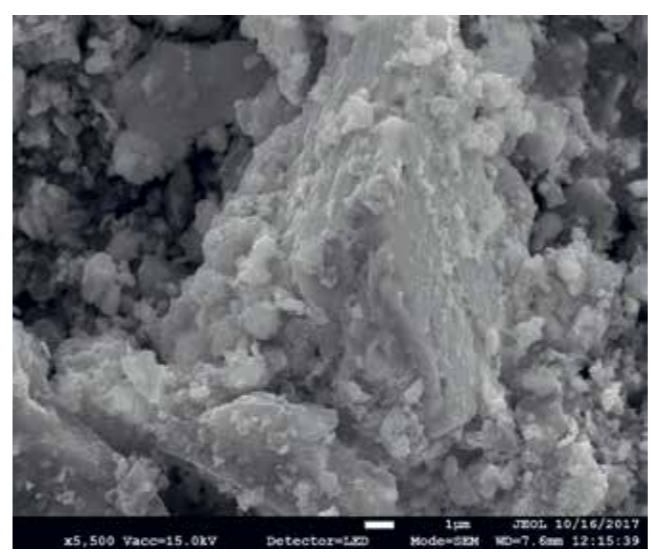


Abb. 4: Ein einzelnes Antimontrioxid Partikel im Rasterelektronenmikroskop, Foto: Fraunhofer IVV

mer-Recyclaten einerseits und Sekundäradditiven andererseits. Die wirtschaftliche Betrachtung der neuen Technologie ergab, dass die durch die Additivrückgewinnung erhöhten Konversionskosten durch Produkterlöse vollständig gedeckt werden können.

Ausblick

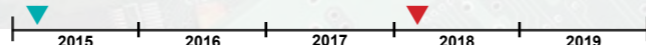
Die CreaSolv® Technologie wird aktuell für zwei andere Kunststoffabfallfraktionen in den industriellen Maßstab umgesetzt, wodurch sich die Investitionssicherheit für den innovativen Prozess deutlich erhöht hat. Die Wirtschaftlichkeit des Prozesses für flammgeschützte Kunststoffe aus Elektroaltgeräten wird sehr positiv bewertet, auch deshalb, weil der Export nach Asien zunehmend eingeschränkt wird und die hochpreisige thermische Verwertung langfristig keine gute Option bietet.

Kontakt
 Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV
 Giggenhauser Str. 35
 85354 Freising
 Dr. Martin Schlummer | Tel. +49 8161 / 491-750
 E-Mail: martin.schlummer@ivv.fraunhofer.de
 Projektlaufzeit: 01.03.2015 – 28.02.2018
 Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 104



AgREE

Ag-Recycling von Elektrolyseelektroden



Ökonomisch und ökologisch effizienter neuer Recycling-Prozess für Silber und Nickel aus Elektroden der NaCl-SVK-Elektrolyse

Die Sauerstoffverzehrkathode (SVK) von Covestro ist eine Gasdiffusionselektrode, die bei der Chloralkali-Elektrolyse gegenüber dem Stand der Technik bis zu 30% an elektrischer Energie einspart. Gebrauchte SVKs enthalten 70 % Silber (Ag), 25 % Nickel (Ni) und fünf Prozent Polytetrafluorethylen (PTFE), bekannt als Teflon. Ziel des Projektes ist die Entwicklung und technische Umsetzung eines Recyclingprozesses für diese Elektrodenmetalle, um die SVK-Technologie weiter zu etablieren.

Umweltfreundliche hydrometallurgische Trennung

Das recycelte Silber soll dabei in einer katalytisch aktiven Form anfallen, in der es wieder für die Elektrodenherstellung verwendet werden kann. Die zentrale Herausforderung beim Recycling der SVK-Elektroden ist die vollständige Abtrennung des PTFE. Hierfür werden sowohl pyrolytische als auch pyrometallurgische Verfahren untersucht und Waschprozesse für feinste PTFE-Partikel erarbeitet. Die zweite Herausforderung liegt in der vollständigen Trennung der Metallbestandteile Ag und Ni. Das recycelte Silber soll im technischen Maßstab wieder in die Herstellung hochaktiver Katalysatoren für SVKs gehen. Zwei Verfahren werden dazu parallel untersucht: die Elektroraffination und die hydrometallurgische Trennung. Bei der Elektroraffination soll in einer Stufe ein Pulver aus Ag beziehungsweise Ag/Ag₂O gewonnen werden, das direkt wieder zur Herstellung von SVKs eingesetzt werden kann. Bei der hydrometallurgischen Trennung ist die Erarbeitung eines NO_x- also stickoxidfreien Verfahrens für den Löseprozess von inhomogenen Ag/Ni-Legierungen neu. Die entwickelten Recyclingrouten werden mit Hilfe einer Ökobilanz bewertet.

Zwischenergebnisse

Die vollständige pyrolytische Abtrennung von PTFE wurde demonstriert. Die Verarbeitung der entstandenen fluorhal-

tigen Abgase ist leider zu kostenintensiv und aufwendig. Es wurde daher ein alternatives, umweltfreundliches Verfahren entworfen, welches durch kryogenes Mahlen, also bei frostigen Temperaturen, eine Abtrennung des PTFEs ermöglicht. Das Silber wird anschließend durch einen mechanischen Aufschluss und hydrometallurgische Behandlung zurückgewonnen.

Bei der elektrochemischen Raffination der pyrometallurgisch gereinigten Silberanoden wurde mittels Hochstromelektrolyse ein Metallpulver erzeugt, welches Ni-Gehalte kleiner 10 ppm aufweist und gute katalytische Eigenschaften besitzt. Das recycelte silberreiche Metallpulver wurde direkt wieder in der Covestro-Elektrodenfertigung eingesetzt und zu neuen SVKs weiterverarbeitet. Die Ni-Verunreinigungen gelangen in den unlöslichen Anodenschlamm und werden separat zurückgewonnen.



Abb. 1: Ag-Laugungsanlage, Foto: RWTH-IME



Abb. 2: SVK-Elektrode, Foto: Covestro

Recycling-Elektroden zeigen mit Standardprodukt vergleichbare Leistungen

Zusammengefasst: Bei der hydrometallurgischen Trennung wurden die Löseparameter für Ag/Ni-Legierungen im Labormaßstab festgelegt und im technischen Maßstab bestätigt. Das Verfahren zum Lösen von PTFE-freien SVKs im technischen Maßstab ist abgeschlossen. Die Raffination von Rohsilber zu einem aktiven Vorstoff zur Katalysatorproduktion wurde im kg-Maßstab reproduzierbar demonstriert. Die Auslegung der technischen Löseanlage sowie die Aufarbeitung der Nickel-Salzlösung und der Hilfschemikalien sind in der Bearbeitung.

Ag-Pulver aus der Elektroraffination und der hydrometallurgischen Trennung wurden systematisch in SVK-Elektroden eingearbeitet und geprüft. Die Leistung der SVK-Elektroden mit recyceltem Silber ist vergleichbar mit jener der Standard-SVKs. Feinteilige Ag₂O-Pulver der Siegfried Jacob Metallwerke wurden in zweilagige SVK-Elektroden eingearbeitet und getestet. Auch bei höheren Stromdichten ist die Leistung der Elektroden sehr gut, aber die eingesetzte Katalysatormenge ist noch zu hoch.

Ausblick

Alle aufgezeigten Recyclingrouten reduzieren die Umweltauswirkungen verglichen mit der reinen Primärrohstoffverwendung, wobei die möglichen Einsparungen von der Menge des rückgeführten Materials abhängen. Die finale ökologische und ökonomische Bewertung wird bis zum Projektende erfolgen.

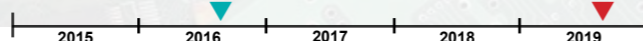
Kontakt

Covestro Deutschland AG
COV-CTO-PUR-TCBC
R17 / R.102
51365 Leverkusen
Dr. Konstantinos Douzinas | Tel. +49 214 6009 5680
E-Mail: konstantinos.douzinas@covestro.com
Projektlaufzeit: 01.03.2015 – 28.02.2018
Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 104



DIBRAS

Direkter Einsatz von selbstreduzierenden Briketts in den Aggregaten der Stahl- und Gießereiindustrie zur Verbesserung der Ressourcenbilanz



Ziel der DIBRAS-Verfahrensentwicklung

Wertvolle wirtschaftsstrategische Metalle wie Chrom, Molybdän, Vanadium, Niob und Zinn, die in Schlacken und Filterstäuben als Metalloxide gebunden sind, will das Projekt „DIBRAS“ in den Wertstoffkreislauf direkt zurückführen. In der Stahl-, Nicht-Eisen-, Metall- und Gießereiindustrie können beispielsweise Schlacken aus der Edelstahlherstellung und Filterstäube bisher nur bedingt wiederverwendet werden, obwohl sie noch viele wertvolle Elemente enthalten. Sie werden derzeit teilweise im Straßenbau oder der Zementindustrie eingesetzt – enthaltene Metalle gehen dabei jedoch verloren.



Abb. 2: Briketts aus Reststoffen, Foto: Sascha Orlic, RHM

Zwischenergebnisse

Spezialisten aus Industrie und Wissenschaft entwickeln daher seit August 2016 gemeinsam ein innovatives Verfahren mit dem Ziel, die in den Reststoffen enthaltenen werthaltigen Metalle nicht durch teure und energieintensive Aufbereitungsprozesse als hochreine Metalle zurückzugewinnen,

sondern sie in Form aufkonzentrierter Briketts wieder direkt in den ursprünglichen Prozess zurückführen zu können. Im Hinblick auf eine wirtschaftliche und sinnvolle Verwendung der Reststoffe muss für jedes Material eine optimale Aufbereitung erzielt werden. Besonderes Interesse gilt dabei der magnetischen Fraktion, in der sich besonders hohe Konzentrationen der gesuchten Metalle befinden.

Dies liegt an der besonderen Struktur eines Eisenoxids, dem Magnetit. Dieses Oxid ist magnetisch und kann somit mit einem Magnetabscheider abgetrennt werden. Seine Struktur begünstigt jedoch auch, dass Metallionen darin aufgenommen werden können, ähnlich wie ein Schwamm Wasser in seinen Poren aufnimmt. Diesen Effekt konnten die Verbundpartner bereits experimentell bestätigen (Abb. 1).

Durch die magnetische Trennung kann somit ein Teil des Materials, der besonders hohe Gehalte der wertvollen Metalle beinhaltet, gezielt abgetrennt und für die Herstellung von Briketts verwendet werden (Abb. 2).

Briketts dieser Art werden zunächst in Reduktionsversuchen und später in Technikums- und Industrierversuchen eingesetzt, um herauszufinden, wieviel des enthaltenen Metalls sich tatsächlich zurückgewinnen lässt (Abb. 3).

Im Verlauf des Vorhabens bereits erzielte Ergebnisse zeigen, dass Schmelzen aus reinem Eisen durch Zugabe von 10% Briketts auf Chromgehalte von 3 % bis 4 % auflegiert werden können. Gleichzeitig werden Molybdän- und Vanadiumgehalte von ca. 0,5 % erreicht.

Im Verlauf der Forschungsarbeit der Verbundpartner wird eine Vielzahl möglicher Reststoffe auf ihre potenzielle Verwertbarkeit hin untersucht. Der Fokus liegt dabei besonders auf Schlacken und dem so genannten Walzzunder, einem Material, dass durch Oxidation in den Öfen von Schmieden und Walzwerken entsteht und durch das Umformen mit Walze oder Hammer von der Oberfläche des Metalls abplatzt. Der grundsätzliche Erfolg des Verfahrens ist im Labormaßstab bereits gegeben. Eine großtechnische Umsetzung hängt jedoch maßgeblich von wirtschaftlichen Faktoren ab, wie beispielsweise den notwendigen Investitionen oder der Entwicklung der Metallpreise.

Projektfortgang

Im Verlauf der Forschungsarbeit der Verbundpartner wird eine Vielzahl möglicher Reststoffe auf ihre potenzielle Verwertbarkeit hin untersucht. Der Fokus liegt dabei besonders auf Schlacken und dem so genannten Walzzunder, einem Material, dass durch Oxidation in den Öfen von Schmieden und Walzwerken entsteht und durch das Umformen mit Walze oder Hammer von der Oberfläche des Metalls abplatzt. Der grundsätzliche Erfolg des Verfahrens ist im Labormaßstab bereits gegeben. Eine großtechnische Umsetzung hängt jedoch maßgeblich von wirtschaftlichen Faktoren ab, wie beispielsweise den notwendigen Investitionen oder der Entwicklung der Metallpreise.



Abb. 3: Reduktionsversuch im Labor, Foto: Dominik Ebert, Universität Duisburg-Essen

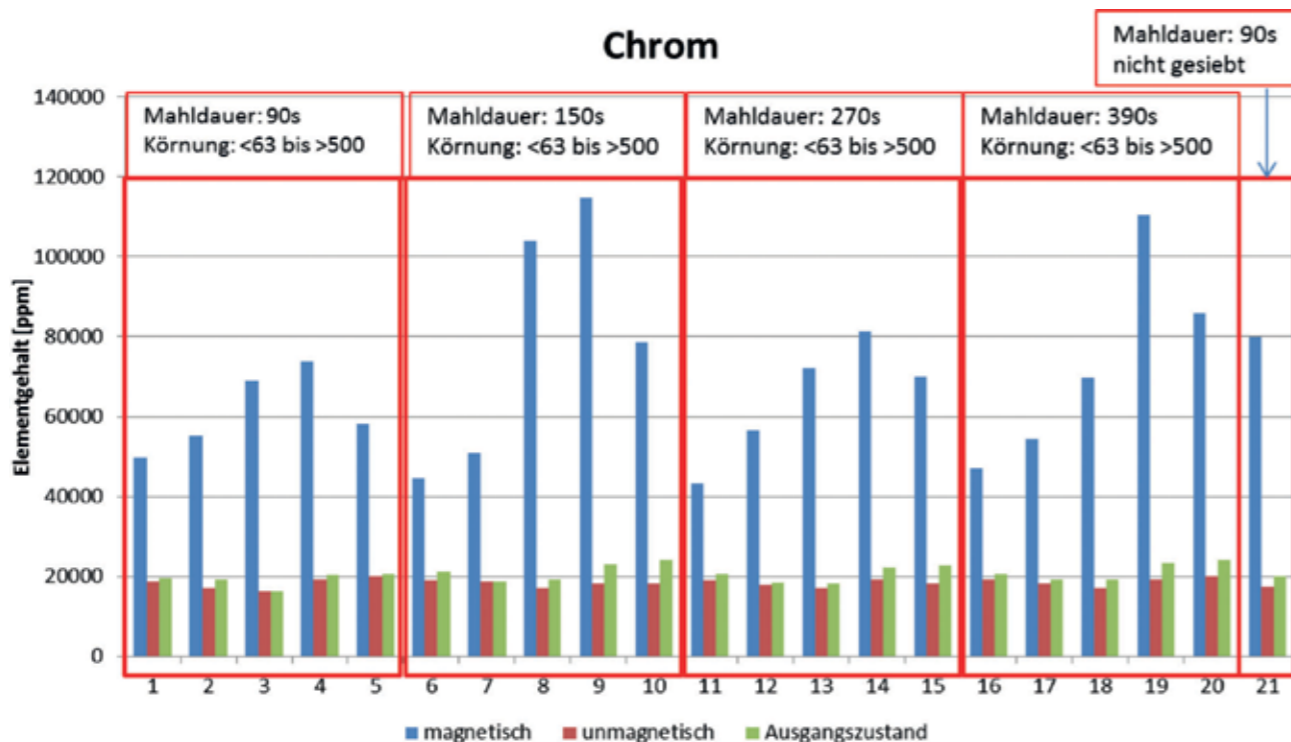


Abb. 1: Chromgehalt in Abhängigkeit der magnetischen Trennung und Korngröße, Quelle: Universität Duisburg-Essen

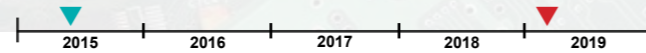
Kontakt

Universität Duisburg-Essen
Institut für Technologien der Metalle
Friedrich-Ebert-Str.12
47119 Duisburg
Prof. Dr. Rüdiger Deike | Tel. +49 203 3793455
E-Mail: ruediger.deike@uni-due.de
Projektlaufzeit: 01.08.2016 – 31.07.2019
Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 106



gagendta+

Modulare Prozesskette zur dezentralen Rückgewinnung von ausgewählten Technologiemetallen



Hightech-Metalle aus Elektroschrott recyceln

Abfallströme wie Elektro- und Elektronikaltgeräte, kurz EAG, bieten große Chancen für das Recycling nahezu aller relevanten Metalle – doch ihr Potenzial wird nach heutigem Stand bei weitem nicht ausgeschöpft. Das Projekt befasst sich deshalb mit den Zielmetallen Gallium, Germanium, Neodym und Tantal – aus der Kurzbezeichnung dieser Elemente ergibt sich der Titel des Vorhabens: „gagendta+“. Mit unterschiedlichen Verfahren sollen diese nacheinander aufkonzentriert und zurückgewonnen werden – in Reinform, als Legierung oder, entsprechend der gewünschten Verwendung, als sonstige definierte chemische Verbindung.

Oft werden die genannten Metalle zusammen mit Dysprosium, Indium, Praseodym und Yttrium eingesetzt, die als Begleitmetalle deshalb ebenfalls betrachtet werden – dafür steht das Plus hinter gagendta. Die acht betrachteten Me-

talle haben End-of-Life-Recyclingraten, beispielsweise aus EAG, von unter einem Prozent.

Zwischenergebnisse und Ausblick

Zu Beginn des Projekts wurde die EAG-Aufbereitungsanlage des Projektpartners „ALBA Electronics Recycling GmbH“ daraufhin untersucht, in welchen bestehenden Output-Fractionen die Zielmetalle bevorzugt zu finden sind und in welchen man sie anreichern könnte. Neben manuell sowie teilautomatisiert erzeugten Stoffströmen wie Kondensatoren, Leiterplatten, Glasfaserkabeln und Flüssigkristallanzeigen aus Flachbildschirmen, konnten insbesondere in Shredder-Rückständen der EAG-Aufbereitung signifikante Mengen der Zielmetalle identifiziert werden. Während Shredder-Rückstände oder Glasfaserkabel in der Prozesskette direkt in einem thermo-chemischen Prozess weiter behandelt werden konnten, wurden Fraktionen wie Leiterplatten, bei

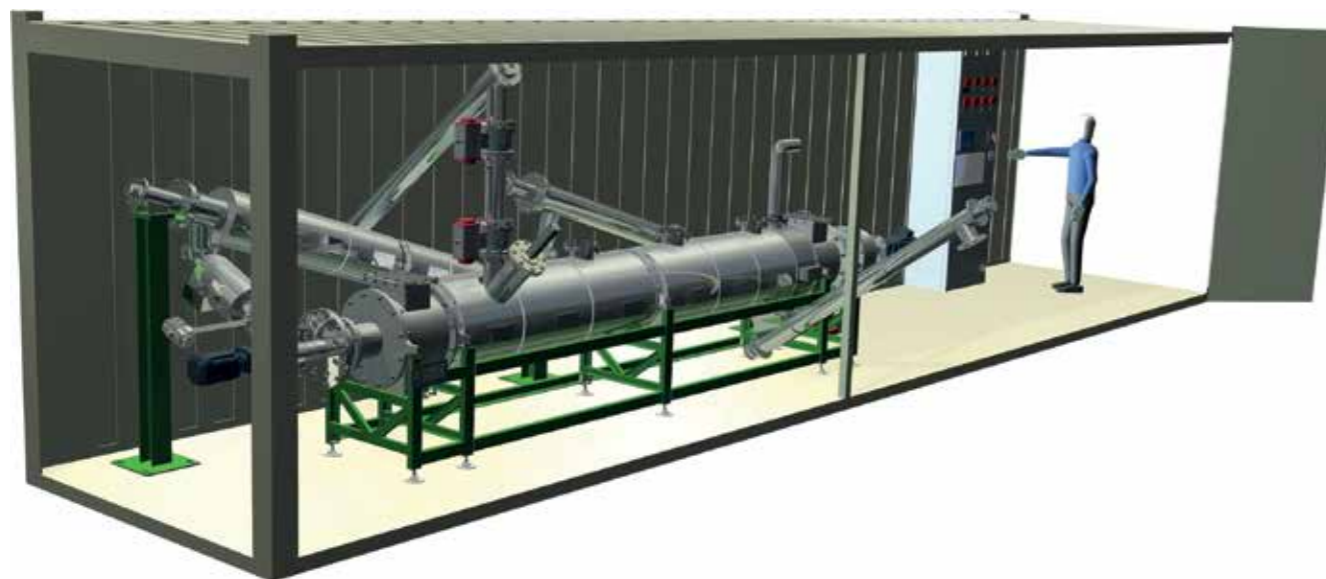


Abb. 1: Pyrolysereaktor zur thermo-chemischen Stofftrennung der EAG-Fractionen, Quelle: Kautz Technologies GmbH

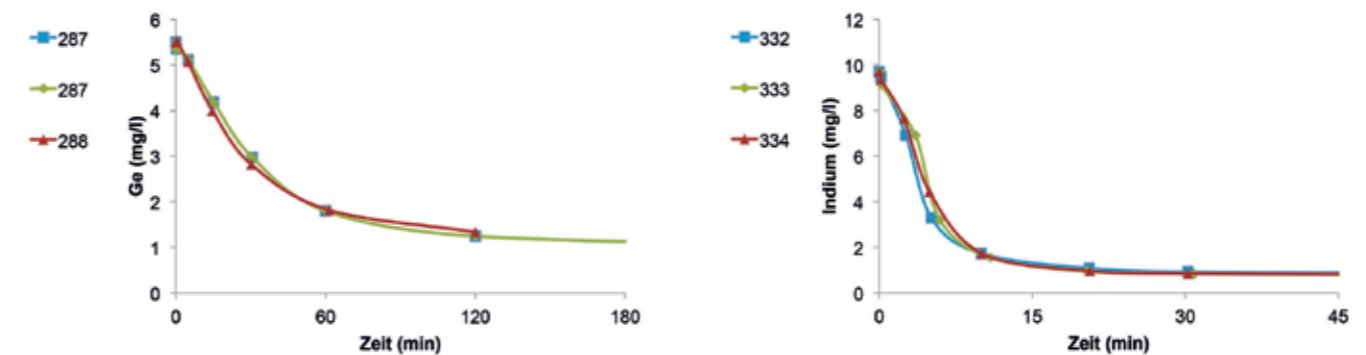


Abb. 2: Sorption von Germanium an *Nanochloropsis oculata* (links) sowie von Indium an *Phaeodactylum tricornutum* (rechts). Es wurden jeweils drei Versuchsansätze mit je ca. 24 gTS/l bei pH 3,0 (Ge) bzw. 12 gTS/l bei pH 1,0 (In) an Algenbiomasse parallel gestartet und einzeln ausgewertet, Quelle: Fraunhofer IGB

denen die Zielmetalle nur in Bauteilen wie Kondensatoren vorkamen, zunächst mechanisch vorbehandelt. Dazu nutzt der Projektpartner „Fraunhofer-Projektgruppe IWKS“ die so genannte elektrohydraulische Zerkleinerung, bei der mittels elektrischer Schockwellen gezielt Bauteile von den Leiterplatten abgelöst werden können.

Für den nächsten Schritt, die thermo-chemische Stofftrennung (Pyrolyse), haben die Projektpartner „Kautz Technologies GmbH“ und „Fraunhofer UMSICHT“ einen Reaktor entwickelt (Abb. 1), um die Zielmetalle oxidationsfrei freizulegen. Die bei diesem Prozess zersetzten Kunststoffe werden zudem in hochwertige Öle und Gase umgewandelt, die dann zur Strom- und Wärmeenergiegewinnung genutzt werden sollen. Der Projektpartner „Hubert Tippkötter GmbH“ entwickelt hierzu ein Blockheizkraftwerk, welches beide Energieträger nutzen kann.

Metallrückgewinnung

Um die freigelegten Metalle elementspezifisch gediegen oder als Legierung zurückgewinnen zu können, werden die Metalle nach einer mechanischen Aufbereitung durch den Projektpartner „Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm“ in einem abschließenden Schritt mittels Biosorption, Biofällung und Elektrolyse fraktioniert und zurückgewonnen: Die zunächst thermo-chemisch freigelegten Metalle stellen noch ein Gemisch aus verschiedensten Metallen sowie nicht volatilen Kohlenstoff dar, welches zunächst in Lösung gebracht wird. Mit Hilfe von verschiedenen Bakte-

rien- und Algenstämmen werden die jeweiligen Zielmetalle dann in biosorptiven Prozessen, welche der Projektpartner „Fraunhofer IGB“ durchführt, abgeschieden (Abb. 2). Diese sollen anschließend durch den Projektpartner „Fraunhofer IPA“ mit Hilfe einer wässrigen Elektrolyse (Gallium und Germanium) sowie Schmelzflusselektrolyse (Neodym) zurückgewonnen werden. Das Element Tantal konnte hingegen bereits mit Hilfe der mechanischen (elektrohydraulische Zerkleinerung) und thermo-chemischen Aufbereitung (Pyrolyse) in Konzentrationen von rund 80 % zurückgewonnen werden. In dieser Form kann das Konzentrat entweder mit Hilfe der Schmelzflusselektrolyse weiter aufbereitet oder direkt in Primärprozesse eingeschleust werden.

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT,
 Institutsteil Sulzbach-Rosenberg
 An der Maxhütte 1
 92237 Sulzbach-Rosenberg
 Peter Hense, M.Sc. | Tel. +49 9661 908-435
 E-Mail: peter.hense@umsicht.fraunhofer.de
 Projektlaufzeit: 01.06.2015 – 28.02.2019
 Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 108



MExEM

Keramische Membranextraktionssysteme und adaptierte elektrochemische Verfahren zur Gewinnung metallischer Rohstoffe aus niedrigkonzentrierten Lösungen



Bergbaureststoffe und industrielle Prozesswässer als Rohstoffquelle für Hightech-Metalle

Seltene Metalle aus Prozesswässern der Metallrecyclingindustrie gewinnt MExEM zurück. Die sieben Partner aus Wissenschaft und Wirtschaft setzen auf einen Mix bekannter und neuer Verfahren zur Metallgewinnung aus niedrigkonzentrierten Lösungen. Mit einer innovativen Kombination aus Membranextraktion und anschließender elektrochemischer Abscheidung sollen die Metalle Gallium und Indium sowie Bismut, Vanadium und Antimon recycelt werden.

Die Recyclingquote für seltene Metalle in Europa ist noch sehr gering. Doch auch, wenn beispielsweise Abwässer aus der Industrie eine gute Recyclingquelle darstellen – für Unternehmen ist dies derzeit nicht wirtschaftlich. Denn die Konzentration der Metalle ist sehr niedrig und die Recyclingverfahren sind aufwendig und kostenintensiv. Wertvolle Ressourcen gehen so dem Rohstoff-Markt bisher verloren.

Der Verbund aus Forschungseinrichtungen sowie Unternehmen entwickelt und erprobt eine neuartige Recycling-

Technologie, mit der die begehrten Metalle auch aus niedrigkonzentrierten Lösungen recycelt werden können. Mit Hilfe eines kombinierten Verfahrens, sollen insbesondere die schwierig nutzbaren Rohstoffpotenziale erschlossen werden. Neben niedrigkonzentrierten Prozesswässern der metallverarbeitenden Industrie nehmen die Projektpartner auch Bergbaurückstände als Rohstoffquelle ins Visier.

Zwischenergebnisse

In MExEM wurden Schlackehalden aus bergmännischen Auffahrungen, sowie Spülhalden aus feinkörnigen Abgängen der Erzaufbereitung im ehemaligen Bergbaurevier Freiberg untersucht (Abb. 1). Mittels mikrobiologischer Laugung wurden die Zielelemente mobilisiert und in eine gelöste Form überführt. In schwefelsauren Biolaugungslösungen aus bergbaulichem Spülhaldenmaterial konnte Indium bis zu 65 % ausgebracht werden. Weiterhin wurden Prozesswässer aus dem Recycling von Katalysatoren der Nickelhütte Aue untersucht. Bismut und Antimon könnten bei der aktuellen Marktsituation schon heute wirtschaftlich gewonnen werden.

Recycling in wenigen Schritten

Damit aus Abwässern und Rückständen wieder wertvolle Rohstoffe werden, kombiniert MExEM selektive Aufbereitungstechniken. Bei der Membranextraktion wird eine wässrige Phase (mit den Zielelementen) mit einer organischen Phase (Extraktionsmittel) über die Membran in Kontakt gebracht. Der entscheidende Vorteil gegenüber dem konventionellen Extraktionsprozess ist dabei, dass beide Phasen nicht miteinander vermischt werden. Die Prozessführung kann daher kontinuierlich erfolgen. Verschleppungen von Verunreinigungen (unvollständige Phasentrennung) in das Zielprodukt werden vermieden. Die Wertstoffe werden unter harschen Reaktionsbedingungen (niedrigen pH-Werten) selektiv abgetrennt.

Es ist gelungen eine Membran zu entwickeln, die diese Anforderungen erfüllt. Für unterschiedliche Zielelemente wurden die geeigneten Extraktionsmittel und die für den Trenn-

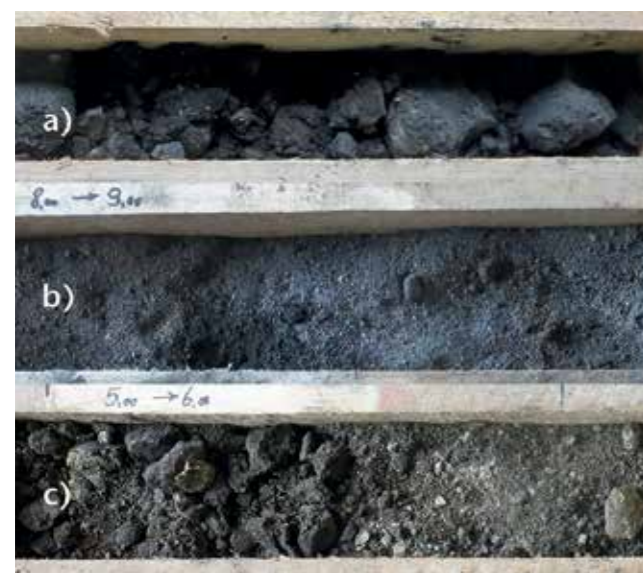


Abb. 1: Verschiedene untersuchte Materialien bergmännischer Ablagerungen: a) Schlackengemisch, b) Steinsand und c) Schlacke-Schlackensand-Gemisch, Foto: SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mbH



Abb. 2: Entwickelter Demonstrator zur membrangestützten Selektiv-Extraktion, Foto: Andreas Junghans Anlagenbau und Edelstahlbearbeitung GmbH & Co. KG

prozess optimalen Parameter untersucht. Im Anschluss erfolgten Extraktionsversuche an Modell- und Reallösungen. Für die Extraktion von Gallium und Indium sind sowohl saure (TBP) als auch basische (D2EHPPA) Extraktionssysteme geeignet. Hohe Re-Extraktionsgrade wurden mit hochkonzentrierten Säuren erreicht. Liegen nach der Trennung die jeweiligen Elemente in wässriger Lösung vor, erfolgt der zweite Schritt: Die elektrochemische Abscheidung. Aus verdünnten Lösungen konnte Indium mit geringem Strombedarf nahezu zu 100 % elektrochemisch abgeschieden werden.

Erprobung in der Industrie

Der entwickelte Demonstrator (Abb. 2) zur Membran-Extraktion sowie Re-Extraktion wurde durch Andreas Junghans Anlagenbau und Edelstahlbearbeitung GmbH gefertigt und im Technikumsmaßstab bei der Nickelhütte Aue GmbH errichtet. Um die Leistungsfähigkeit der Membran-Extraktion mittels leistungsfähiger keramischer Membranen zu demonstrieren, wird das Verfahren gegenwärtig mit realen Prozesswässern der Nickelhütte Aue getestet.

Ausblick

Das Projekt wird einen messbaren Beitrag zur Verbesserung der Versorgungssicherheit vor allem für die strategischen Metalle Gallium und Indium sowie für Bismut, Vanadium und Antimon leisten. Verbessert werden soll insbesondere auch die Qualität (Reinheit) der erzeugten, vermarktungsfähigen Produkte (Metalle, -salze). Dazu werden die Vorteile der innovativen Verfahrenskombination gezielt genutzt.

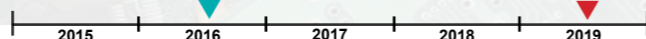
Kontakt

Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS)
Winterbergstraße 28
01277 Dresden
Dr. Burkhardt Faßauer | Tel. +49 351 2553-7667
E-Mail: burkhardt.fassauer@ikts.fraunhofer.de
Projektlaufzeit: 01.05.2015 – 30.04.2018
Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 112



NeW-Bat

Neue energieeffiziente Wiederverwertung von Batteriematerialien



Lithium-Ionen-Batterien als Schlüsseltechnologie

Bei der Energiewende und Elektromobilität sind Lithium-Ionen-Batterien eine Schlüsseltechnologie. Dieses führt zu einem wachsenden Altproduktaufkommen ausgedienter Energiespeicher, die eine wertvolle Rohstoffquelle darstellen. „NeW-Bat“ erschließt diese Quelle durch ein neues Recycling-Verfahren. Kernstück des Verfahrens ist die elektrohydraulische Zerkleinerung mittels Schockwellen.

Aktuell werden für Altbatterien und Produktionsabfälle aus der Batteriefertigung energieintensive metallurgische Recyclingmethoden eingesetzt. Damit können allerdings nur bestimmte Elemente zurückgewonnen werden. Die Wertschöpfung beruht meist nur auf den Metallwerten von Kupfer, Aluminium, Nickel, Cobalt oder Mangan. Wertvoller

ist die angestrebte Rückgewinnung der eigentlichen Batteriematerialien, die mit hohem Aufwand aus den Elementen hergestellt wurden. Hierzu zählen lithium-, nickel-, cobalt- und manganhaltige Verbindungen sowie hochwertige Kohlenstoffe. Das neue Verfahren ist besonders energie- und ressourceneffizient und eignet sich sowohl für Produktionsreste als auch für Altprodukte.

Selektive Trennung mittels elektrohydraulischer Zerkleinerung

Anders als beim rein metallurgischen Recycling wollen die NeW-Bat-Projektpartner nicht nur die Elemente, sondern auch die synthetisierten Basismaterialien zurückgewinnen. Zu diesem Zweck betreibt die Projektgruppe IWKS eine Versuchsanlage zur elektrohydraulischen Fragmentierung



Abb. 1: Zurückgewonnene Materialfraktionen: Metalle (links), Elektrodenmaterial (vorne), Kunststoffe (rechts), Foto: Fraunhofer ISC

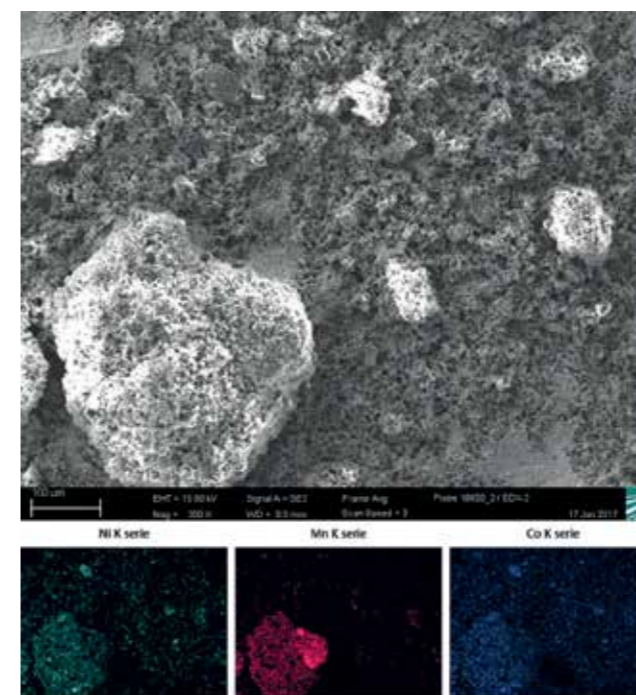


Abb. 2: REM-Aufnahme (oben) und EDX-Mappings der relevanten Elemente Nickel, Mangan, Cobalt (unten) des recycelten Elektrodenmaterials, Quelle: Fraunhofer ISC

von Elektroschrott. Diese Schockwellenzerkleinerungsanlage wurde speziell für das Recycling komplexer, schwer aufzuschließender Composite wie Batteriezellen entwickelt. Die Anlage nutzt ein elektrohydraulisches Zerkleinerungsverfahren, welches auf intensiven Druckwellen basiert, die durch elektrische Entladungen in einer Funkenstrecke erzeugt werden. Dabei entstehende Schockwellen breiten sich gleichmäßig in einem mit Wasser gefüllten Reaktor aus und treffen auf das zu zerkleinernde Material. Damit ist es möglich, die Composite quasi berührungsfrei an den Materialgrenzen aufzuspalten und so eine einfache und schonende Trennung der Komponenten zu erreichen. Die verschiedenen Materialfraktionen werden anschließend aufgetrennt und aufbereitet (Abb. 1).

Zwischenergebnisse

Im Rahmen der Materialcharakterisierung wurden die Trennergebnisse der Zerkleinerungsprozesse unter anderem mit der Rasterelektronenmikroskopie (REM) und energiedispersiven Röntgenspektroskopie (EDX) analysiert. Untersucht wurde das nach dem elektrohydraulischen Prozess getrennt vorliegende Elektrodenmaterial der Batteriezellen. Im Vordergrund stand dabei die chemische und strukturelle Zu-

sammensetzung der Proben. Der Fokus der Analysen lag zunächst auf dem Aktivmaterial der Kathode, bestehend aus Lithium-Metalloxid-Verbindungen wie Lithium-Nickel-Mangan-Cobalt-Oxid (NMC). Die Zielelemente waren daher Nickel, Cobalt, Mangan und Lithium.

Um zu untersuchen, in welcher Form das Elektrodenmaterial vorliegt und wie hoch die daraus resultierende Wiederverwertbarkeit ist, wurden REM-Aufnahmen und EDX-Mappings des recycelten Materials erstellt (Abb. 2). Die REM-Aufnahmen zeigen gut die weitestgehend unbeschädigten Aktivmaterialpartikel. In den Mappings ist zu erkennen, dass die Elemente Ni, Co und Mn nahezu identisch über den gesamten Bildbereich verteilt sind. Daraus lässt sich schließen, dass das elektrohydraulische Zerkleinerungsverfahren die Struktur des Aktivmaterials nicht angreift und das Elektrodenmaterial als Ganzes wiederverwendet werden kann.

Projektfortgang

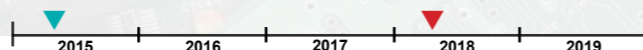
Da insbesondere die Elektrodenmaterialien der Batterien im Lauf der Batterienutzung altern, müssen die Recyclingmaterialien einer genauen Prüfung und Aufbereitung unterzogen werden, um ihre ursprüngliche Qualität wiederherzustellen. Mit speziellen Niedertemperaturverfahren können beim Fraunhofer ISC unerwünschte Degradationsprodukte an den Oberflächen entfernt und Defekte in den Kristallstrukturen behoben werden. Diese Aufbereitung kann mit einer Veredelung in Form einer Core-Shell-Beschichtung verknüpft werden, die das recycelte Material hinsichtlich der Lebensdauer sowie der Lade- und Entladeeigenschaften deutlich verbessern.

Kontakt
 Fraunhofer-Projektgruppe IWKS
 Rodenbacher Chaussee 4
 63457 Hanau
 Daniel Horn, M.Sc. | Tel. +49 6023 32039-854
 E-Mail: daniel.horn@isc.fraunhofer.de
 Projektlaufzeit: 01.07.2016 – 30.06.2019
 Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 113



SEMAREC

Entwicklung einer industriell umsetzbaren Recycling-Technologieketten für NdFeB-Magnete



Recycling Seltener Erden aus Neodym-Eisen-Bor-Abfällen

Kernthema des Forschungsprojektes SEMAREC ist die Rückgewinnung von Seltenen Erden (Neodym, Dysprosium, Praseodym, Terbium), die auf der Liste der kritischen Rohstoffe der EU aufgeführt sind. Das Projekt greift unterschiedliche Fragestellungen in Bezug auf das Recycling von NdFeB-Abfällen und die Rückgewinnung enthaltener Seltenen Erden auf.

Zwischenergebnisse

Um das Gesamtpotenzial an verwertbaren NdFeB-Magneten in Europa abschätzen zu können, erfolgte eine Potenzialanalyse NdFeB-haltiger Abfallströme. Das Ergebnis der Analyse ist eine fundierte Datenbasis, die potenziell geeignete Stoffströme und deren Mengen für die geplante Rückgewinnung von Seltenen Erden aufzeigt. Auf Basis der in der Marktrecherche ermittelten Daten, wurden für als relevant identifizierte Stoffströme Demontage- und Aufbereitungsprozesse entwickelt. Die erarbeiteten Prozesse wurden zudem auf ihre wirtschaftliche Machbarkeit hin untersucht. Ein weiterer Fokus liegt auf der Weiterentwicklung eines im Rahmen des Forschungsprojektes „MORE“ entwickelten hydrometallurgischen Aufbereitungsprozesses für NdFeB-Magnete, mit dem ein marktfähiges Seltenerd-mischoxid gewonnen werden kann. Das Verfahren weist Optimierungspotenzial hinsichtlich der Rückgewinnung vermarktbarer Nebenprodukte sowie der Reduzierung des Chemikalieneinsatzes auf.

Derzeit fallen in Europa etwa 80 t NdFeB-haltige Abfälle pro Jahr aus dem Bereich der Produktions- und Konsumentenabfälle an. Relevante Abfallmengen stammen aus den Bereichen Elektro-Schrott (vor allem Festplatten), Elektromotoren und Windkraftanlagen. Die gesammelten Abfälle



Abb. 1: Manuelle Demontage von Lautsprecherboxen zur Freilegung enthaltener NdFeB-Magnete, Foto: Andre Bertram, CUTEC

werden für das Recycling nach China und Japan verkauft. Insgesamt reichen die anfallenden Abfallmengen derzeit nicht für ein industrielles Recycling in Europa aus. Zwar kann in den kommenden Jahrzehnten mit deutlich steigenden Abfallmengen aus verschiedenen Anwendungsgebieten gerechnet werden, insbesondere aus der E-Mobilität und Windkraftanlagen, mit einem Rücklauf hinreichend großer Mengen NdFeB-Magnetabfälle (>1000 t/a) ist allerdings vor 2030 nicht zu rechnen.

Im Rahmen einer Demontagestudie wurden vier Stoffströme (Festplatten, Industriemotoren, Pedelecs, Lautsprecher) unter anderem auf ihre Demontierbarkeit sowie durchschnittliche Magnet- und SEE-Gehalte hin untersucht (Abb. 1). Die manuellen Demontageprozesse wurden anschließend einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung unterzogen. Für die untersuchten Stoffströme ist eine manuelle Entnahme der



Abb. 2: Elektronikschrott, Foto: Electrocyling GmbH

NdFeB-Magnete zu deutschen Lohnkosten bei den aktuell eher geringen Marktpreisen für NdFeB-Hartschrotte (ca. 4US\$/kg), nicht wirtschaftlich darstellbar. Seitens der Projektpartner wird daher Forschungsbedarf hinsichtlich automatisierter Demontagetechniken, vor allem für E-Motoren sowie Windkraftanlagen, gesehen.

Für Festplatten wurde zudem ein mechanischer Aufbereitungsprozess im Technikumsmaßstab entwickelt, mit dem ein marktfähiges Magnetkonzentrat erhalten wird. Somit ist die Aufbereitung von Stoffströmen, deren manuelle Demontage nicht wirtschaftlich darstellbar ist, grundsätzlich möglich, allerdings ließen sich durch den Verkauf des erhaltenen Magnetkonzentrates sowie weiterer Nebenfraktionen (u.a. Aluminium, Platinen) nicht die Prozesskosten decken. Auch in diesem Fall ist die Wirtschaftlichkeit zum aktuellen Zeitpunkt der limitierende Faktor für eine industrielle Umsetzung.

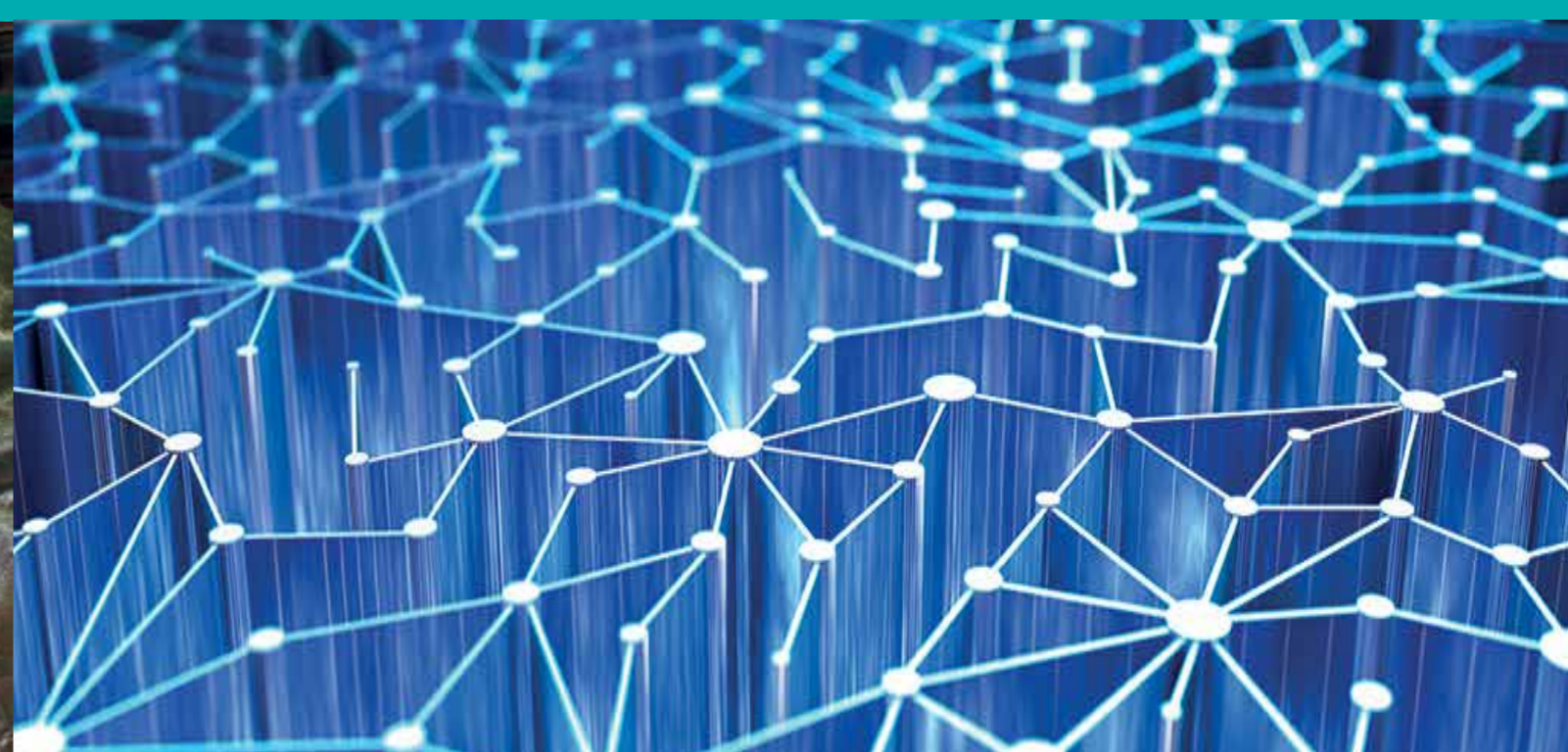
Ausblick

Die Versuchsergebnisse zur Optimierung der hydrometallurgischen Aufbereitung zeigen, dass vielversprechende

Ansätze zur Kreislaufführung eingesetzter Chemikalien und zur Rückgewinnung weiterer Nebenprodukte gefunden wurden, etwa durch eine hydrolytische Destillation zur Kreislaufführung der Salzsäure. Durch diese Prozessoptimierungen könnten sich mittelfristig bei ausreichend anfallenden Abfallmengen Wettbewerbsvorteile gegenüber asiatischen Mitbewerbern ergeben.

Kontakt

Technische Universität Clausthal
Institut für Aufbereitung, Deponietechnik
und Geomechanik
Walther-Nernst-Str. 9
38678 Clausthal-Zellerfeld
Prof. Dr. Tobias Elwert | Tel. +49 5323 72-2735
E-Mail: tobias.elwert@tu-clausthal.de
Projektlaufzeit: 01.05.2015 – 30.04.2018
Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 116



r⁴-Verbundprojekte

Flankierende Maßnahmen

- ▶ r⁴-INTRA
- ▶ GERRI



r⁴-INTRA

Integrations- und Transferprojekt



Begleitforschung für die Potenzialanalyse und den Ergebnistransfer der r⁴-Verbundprojekte

r⁴-INTRA untersucht die Potenziale der geförderten Forschungsvorhaben, insbesondere im Hinblick auf ihre Beiträge zur Ressourceneffizienz, Nachhaltigkeit und Versorgungs-



Abb. 1: Aufgaben der Begleitforschung r⁴-INTRA

sicherheit – vernetzt die daran beteiligten Projektverbände und unterstützt bei der Kommunikation sowie dem Transfer der Ergebnisse an ein breites Spektrum von Zielgruppen (Abb. 1). Die Ergebnisse werden auch in Handlungsempfehlungen für die zukünftige Forschungspolitik einfließen.

Primärrohstoffe haben 16 der insgesamt 40 Verbundprojekte zum Inhalt. Die Forschungsarbeiten tragen dazu bei, dass Erfolgsaussichten steigen, Fehlschläge reduziert und somit Kosten sowie Zeitaufwand gesenkt werden. Ausgaben sinken, wenn innovative Methoden für die Prospektion, die Exploration und den Bergbau bestehende Methoden verbessern oder obsolet machen. Nicht zuletzt wird der ökologische Fußabdruck des Bergbaus beispielsweise durch effizientere Gewinnung und Aufbereitung minimiert.

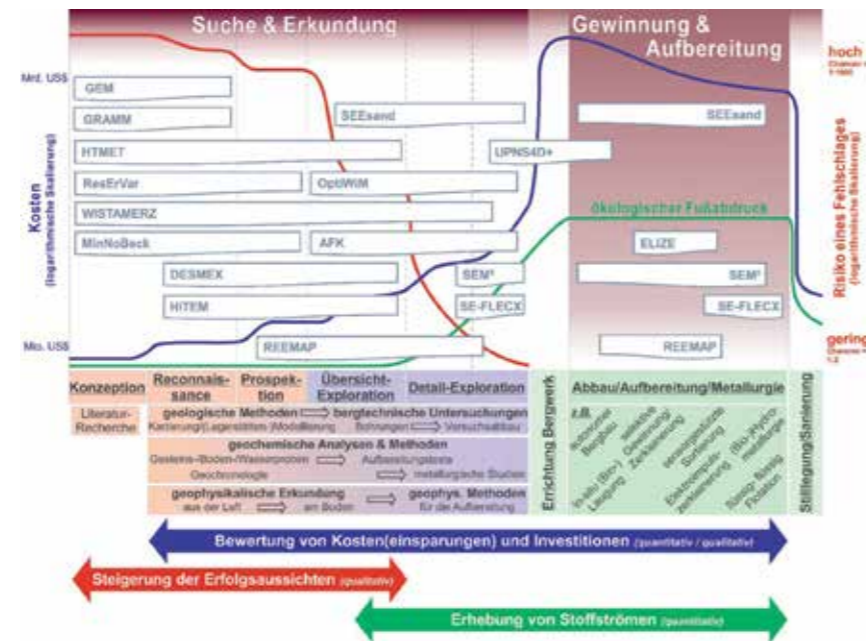


Abb. 2: Verortung Primärrohstoffverbände entlang der Wertschöpfungskette mit den jeweils relevanten Methoden sowie entstehenden Kosten und Risiken eines Fehlschlages. Die farbigen Pfeile kennzeichnen, welche Bewertungen der einzelnen Verbände im Rahmen in der von r⁴-INTRA durchgeführten Potenzialanalyse möglich sind. Quelle: BGR

Zur Quantifizierung der Verbesserungen werden auf Grundlage des Bergbau-Zyklus die einzelnen Aktivitäten beziehungsweise Methoden aufgeschlüsselt und mit durchschnittlichen Kosten sowie ökobilanziellen Daten hinterlegt. Diese Aktivitäten und Methoden werden den Projekten zugeordnet, wobei der jeweilige Ist- mit dem Sollzustand verglichen wird (Abb. 2).

Weitere Projekte, die sich mit der Rückgewinnung von Sekundärrohstoffen sowie der Kreislaufführung von Altprodukten beschäftigen, wurden anhand ihrer Forschungsziele geclustert. Für die Quantifizierung von Investitionen, Kosten und Stoffströmen ist ein Erhebungstool entwickelt worden, mit dem für alle Verbände eine einheitliche Datenbasis geschaffen werden soll. Auf dieser Grundlage berechnen r⁴-INTRA-Wissenschaftler die sozio-ökonomischen und ökologischen Potenziale der Vorhaben.

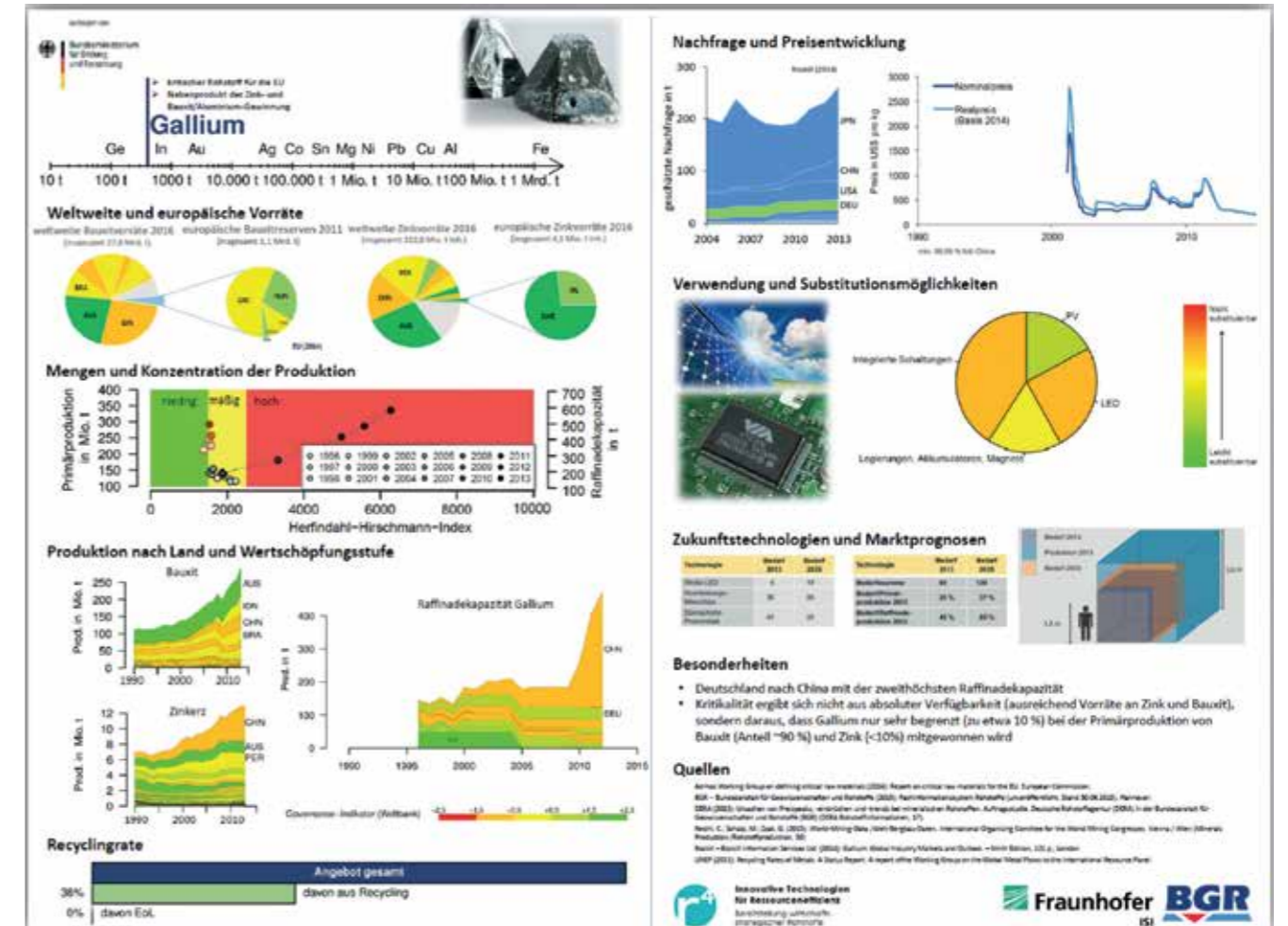


Abb. 3: Rohstoffprofil am Beispiel Gallium. Für alle in r⁴ adressierten Rohstoffe wird so die aktuelle Versorgungslage – Vorräte, Menge und Länderkonzentration der Produktion nach Wertschöpfungsstufen, Recyclingrate, Nachfrage sowie Substitutionsmöglichkeiten und Prognosen zukünftiger Verwendungen – dargestellt, Quelle: Fraunhofer ISI

Darüber hinaus dienen die Daten des Erhebungstools zur Bewertung des Einflusses der r⁴-Ergebnisse auf die Versorgungssicherheit Deutschlands mit wirtschaftsstrategischen Rohstoffen. Hierfür ist es unabdingbar einen exakten Überblick über die aktuelle Versorgungslage der einzelnen Rohstoffe zu haben. Als Grundlage dienen speziell entwickelte Rohstoffprofile, die Abb. 3 beispielhaft zeigt.

Ausblick

Auf dieser Basis werden Auswirkungen auf die (Gesamt-) Rohstoffproduktivität als zentrale Steuerungsgröße der Ressourcen(effizienz)politik sowie gesamtwirtschaftliche Wirkungen untersucht. Als Austauschplattform dienen unter anderem Kongresse für Nachwuchsforscherinnen und Nachwuchsforscher unter dem Motto "24 Stunden für Ressourceneffizienz".

Kontakt

CUTEC Clausthaler Umwelttechnik Forschungszentrum
Leibnizstraße 23
38678 Clausthal-Zellerfeld
Prof. Dr. Daniel Goldmann | Tel.: +49 5323 72-2735
E-Mail: goldmann@aufbereitung.tu-clausthal.de
www.cutec.de
Projektlaufzeit: 01.01.2015 – 31.12.2019
Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 110

GERRI

Einrichtung eines deutschen virtuellen Forschungs-Instituts
„German Resource Research Institute“



Nationales Rohstoff-Kompetenznetzwerk

GERRI erfasst, bündelt und vertritt die deutschen Forschungsaktivitäten im Rohstoffbereich. Als nationales Netzwerk im Bereich metallischer und mineralischer Rohstoffe, welches die Aktivitäten der deutschen Forschungsakteure aufeinander abstimmt und koordiniert. Mit GERRI soll Deutschland zum Innovationskatalysator werden, der die Rohstoffversorgung für eine technologisch-fortschrittliche und ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft sichert.



Abb. 1: Gründungspartner und künftige Netzwerkerweiterung

GERRI spricht mit einer Stimme

GERRI bietet als virtuelles Institut eine Plattform zur Steuerung strategischer Forschungsk Kooperationen für die Rohstoffgewinnung aus Primärlagerstätten, beim Recycling von end-of-life-Produkten oder bei der Suche nach geeigneten Substitutionsmöglichkeiten von Rohstoffen. Die Partner des Netzwerks sind dank ihres breiten Spektrums von Natur-, Ingenieurs-, Gesellschafts- bis zu Wirtschaftswissenschaften in der Lage, sich mit diesen komplexen Fragestellungen zu beschäftigen und einen ganzheitlichen Lösungsansatz zu bieten.



Abb. 2: Kompetenzbereiche

Kernziele von GERRI:

- Zentraler Ansprechpartner - über GERRI spricht die Rohstoffforschung mit einer Stimme.
- Vermittlung und Wissenstransfer zwischen Politik, Industrie und Forschung
- Akquise und Umsetzung gemeinsamer Forschungsprojekte entlang der Wertschöpfungskette, insbesondere von Großprojekten im internationalen Umfeld.
- Die Sicherung der Rohstoffe auf der politischen Agenda in den Fokus zu setzen
- Die deutsche Rohstoffforschung im Ausland zu vertreten

Partner

Die fünf Gründungspartner Bergakademie TU Freiberg, das Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF) am Helmholtz Zentrum Dresden-Rossendorf, die RWTH Aachen, die TU Clausthal und die Fraunhofer-Projektgruppe für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS haben GERRI 2015 gegründet. Die Europäische Wissens- und Innovationsgemeinschaft EIT RawMaterials ist seit 2016 Netzwerkpartner. Seit 2017 sind die Bundesanstalt für Geo-



Flankierende Maßnahmen | GERRI

Periodic Table



Material Flows



Abb. 3: Öffentlicher Zugang zu Kompetenzen durch Suche nach Elementen und Stoffströmen (stoffbezogener Ansatz) über die Website

wissenschaften und Rohstoffe (BGR) sowie die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) assoziierte Partner.

Schaffung von Transparenz zu Kernkompetenzen

Um vorhandenes Wissen optimal einzubringen arbeitet GERRI daran, Transparenz über Kernkompetenzen und Infrastrukturen in der deutschen Forschungslandschaft zu schaffen. Auf der GERRI-Plattform sollen – insbesondere im Bereich wirtschaftsstrategischer Rohstoffe – Kernkompetenzen und Infrastrukturen der Partner transparent dargestellt und für die gemeinschaftliche Nutzung geöffnet werden. So können künftig Synergien besser erschlossen sowie Forschungsstrategien zielorientiert aufeinander abgestimmt und gegenüber Dritten vertreten werden. GERRI hat dafür erstmals eine Methodik entwickelt, über die Kompetenzen strukturiert erfasst, ausgewertet und verfügbar gemacht werden können.

Vorgehen:

Die Kompetenzen werden über zwei Ansätze erfasst und ausgewertet:

- verfahrenstechnischer Ansatz (Erfassung nach verfügbaren Methoden und Anlagen),
- stoffbezogener Ansatz (Erfassung nach Zielelementen und Stoffströmen)

Die Kompetenzen werden kontinuierlich in einer Datenbank erfasst, die den GERRI-Mitgliedern zur Verfügung steht. Die Datenbank dient dem Sortieren und Suchen nach Berei-

chen, Methoden und Anlagen, Elementen und Stoffströmen. Hierdurch können gezielt Technologien, Methoden und Ansprechpartner für komplexe Aufgaben gefunden werden. Für die Öffentlichkeit stellt die Website eine verkürzte, anonymisierte Übersicht der Kompetenzen bereit.

Ausblick

GERRI soll in den kommenden Jahren wachsen und weitere Mitglieder aufnehmen. Ebenfalls sollen die Industriekontakte ausgebaut und die Vertretung in Brüssel intensiviert werden. Um die Rohstoffforschung nachhaltig zu unterstützen, wird GERRI zum Ende der Projektlaufzeit in eine eigenständige Gesellschaftsform überführt werden. Das zugrundeliegende Geschäfts- und Finanzierungsmodell befindet sich aktuell in der Entwicklung.

Kontakt

Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie
Chemnitzer Str. 40
09599 Freiberg
Helene E. Köpf | Tel. +49 351 260-4425
E-Mail: h.koepf@hzdr.de
www.gerri-germany.org
Projektlaufzeit: 01.02.2015 – 31.01.2020
Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 109



r⁴-Verbundprojekte

Flankierende Maßnahmen Nachwuchsforscher

- ▶ BakSolEx
- ▶ GORmin
- ▶ GRAMM





BakSolEx

Bakterielle Metallophore für die Solventextraktion



Biologische Komplexbildner für Wertmetalle: Metallophore

Ziel von „BakSolEx“ ist es, neue biobasierte Metallophore zur selektiven Extraktion strategischer Metalle aus Prozesslösungen zu finden. Metallophore sind Komplexbildner, die Metalle beziehungsweise Metalloide an sich binden. Bodenbakterien und einfache Pilze sind Kandidaten für die Produktion solcher Metallophore. Zugleich baut das Projektteam theoretisch erforschte Komplexbildner chemisch nach. Zielmetalle sind Gallium, Kobalt, Molybdän, Silber und Vanadium.

Hintergrund

Bakterien und andere Mikroorganismen müssen verschiedenste Metalle aufnehmen, damit ihr Stoffwechsel, angetrieben durch biochemische Prozesse, ablaufen kann. Dieses geschieht durch Metallophore, biologische Komplexbildner, welche Metalle binden und in beziehungsweise an Mikroorganismen transportieren können. Citrat und Desferrioxamine sind typische Beispiele solcher Komplexbildner (Abb. 1), welche bereits industrielle Anwendung finden.

Der Begriff „Metallophor“ geht auf Siderophore zurück. Siderophore (griechisch: sidero = eisern; phore = tragen) sind niedermolekulare Metabolite mit der Fähigkeit Metalle zu binden, speziell Eisen. Seit ihrer Entdeckung und ersten Be-

schreibungen in den 1950er Jahren werden stetig Neue beschrieben. Diese werden beispielsweise von Bakterien bei Eisenmangel gebildet und in die Umgebung ausgeschleust. Im Projekt wurden über 50 Mikroorganismen auf ihre Fähigkeit Metallophore zu bilden mittels eines Farbscreenings (Abb. 2) durchmustert. Üblicherweise wird diese Methode nur für Eisen eingesetzt.

Zwischenergebnisse

Da aber im Rahmen von BakSolEx andere Zielelemente untersucht werden, wurde der Test erweitert. Die Etablierung neuer Screenings für andere Metalle wie Gallium oder Vanadium ist Ende 2017 auf einer internationalen Tagung vorgestellt und publiziert worden. Zusätzlich wurde die Produktion auf genomischer Ebene betrachtet. Denn mit dem Verständnis der Erbanlagen zur Metallophorproduktion kann man diese optimieren und für einen Prozess steuerbar machen. Hier gilt es natürliche Produktionsmengen von mg Metallophor je Liter Fermentationsbrühe auf g je Liter zu steigern! Zudem müssen effiziente Lösungen zur Reinigung von Metallophoren und deren Anwendung entwickelt werden.

Produktion und Reinigung von Metallophoren

Nach Auswertung des Screenings werden die besten Stämme zu Produktionsstudien herangezogen. Dazu wird im 100-ml-Maßstab die Kultivierung optimiert und entspre-

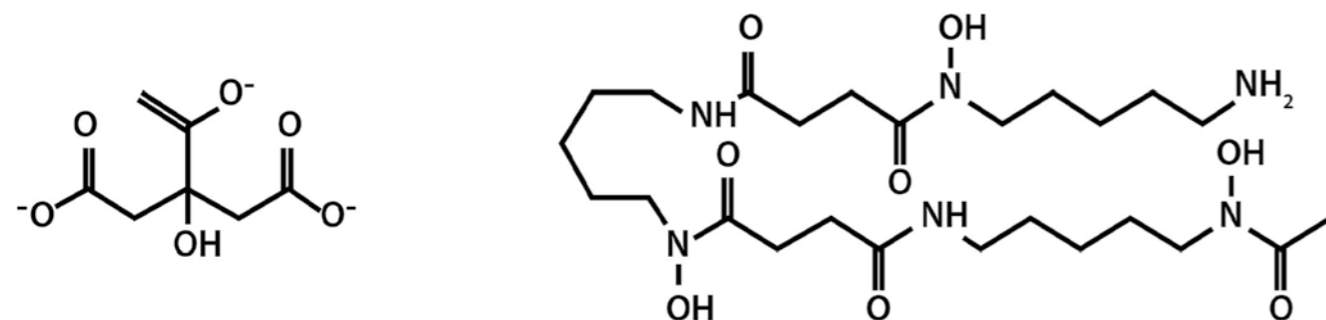


Abb. 1: Citrat (li.) und Desferrioxamine (re.) als Komplexbildner, Quelle: TU Bergakademie Freiberg

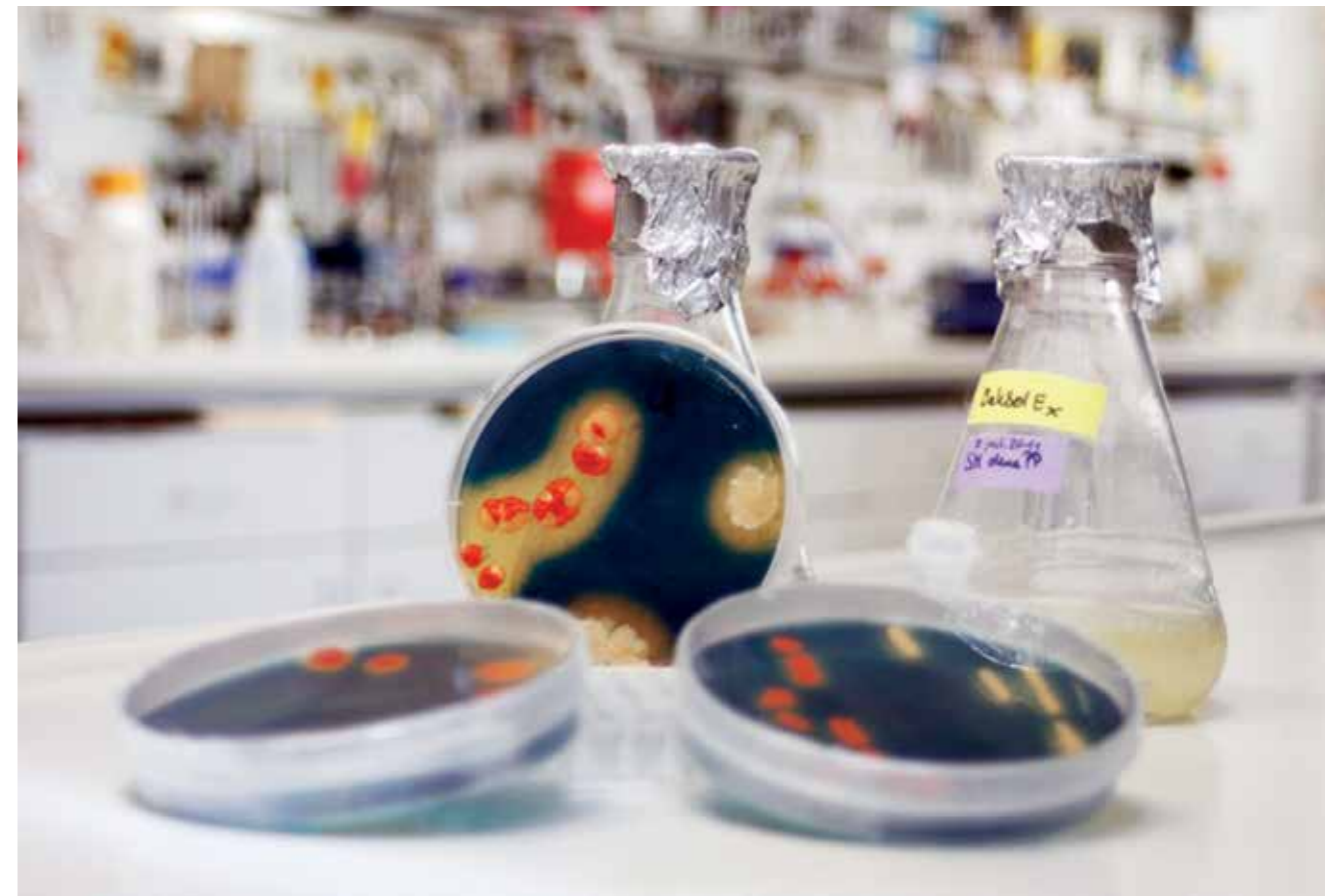


Abb. 2: Durchmustern von Bakterien auf Metallophorbildung – hier auf Festmedien mit blauem Eisenkomplex. Im Fall einer Metallophorproduktion wird dem blauen Komplex das Eisen entzogen und dieser damit entfärbt, Foto: Marika Mehnert, Ringo Schwabe, TU Bergakademie Freiberg

chend im Ein- bis Zehn-Liter-Maßstab produziert. Die Kulturüberstände enthalten das gewünschte Produkt und werden mittels Zentrifugation von der Biomasse abgetrennt. Im Projekt gelang es eine simple Anreicherungs- und Reinigungsstrategie zu finden. Hierbei werden die Metallophore mittels Festphasenextraktion aus Kulturüberständen extrahiert und anschließend über Metallaffinitätschromatographie gereinigt. Dies konnte für mehrere Systeme erfolgreich etabliert werden und wurde ebenso Ende 2017 publiziert.

Ausblick

Die reinen Präparationen von Metallophoren werden aktuell in diversen Metallbindestudien auf deren Anwendung hinsichtlich Solventextraktion, Sensorik oder biologische Wirksamkeit getestet.

Kontakt

Technische Universität Bergakademie Freiberg
Institut für Biowissenschaften
Leipziger Str. 29
09599 Freiberg
Dr. Dirk Tischler | Tel. +49 3731 39 2103
E-Mail: dirk-tischler@email.de
Projektlaufzeit: 01.01.2015 – 31.12.2019
Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 105



GORmin

Governanceoptionen für die akzeptable Gewinnung wirtschaftsstrategischer Ressourcen aus primären und sekundären Lagerstätten in Deutschland



Technologieentwicklung verantwortlich gestalten, Gesellschaft und Rohstoffforschung ins Gespräch bringen

Wie beeinflussen gesellschaftliche Akteure Projekte der Technologieentwicklung zur Gewinnung von Industriemineralien in Deutschland? Ziel der Forschungsgruppe GORmin ist es, die gesellschaftlichen Bedingungen soziotechnischer Kontroversen um Rohstofftechnologien zu verstehen und Gestaltungsoptionen zu entwickeln, die eine gesellschaftlich verantwortliche Technologieentwicklung ermöglichen.

Interviews sowie Gruppendiskussionen mit Expertinnen und Experten aus der Rohstoffforschung, Verwaltung, Politik, Wirtschaft und Gesellschaft bilden die Datenbasis des Projektes. Räumliche Schwerpunkte der Datenerhebungen lagen in den Regionen Harz und Erzgebirge, sowie in Baden-Württemberg. Die Interviews wurden transkribiert und mit Hilfe der Software MAXQDA analysiert.

Gegenwärtig werden mit Blick auf Halden, Deponien und geologische Lagerstätten innovative Technologien für die Rohstoffgewinnung entwickelt. Zwar entstehen diese Technologien in Deutschland, eingesetzt und angewandt werden beispielsweise Erkundungsdrohnen, autonome Messgeräte oder spezielle Aufbereitungstechnologien jedoch weltweit.

Rohstofftechnologien wirken in der Gesellschaft, ohne dass sich die Wirkungen genau vorhersagen lassen oder auf lokale und nationale Kontexte beschränkt sind. So stehen zwar technische Lösungen im Fokus, ihre Entwicklung und Anwendung sind aber abhängig von Dynamiken der Finanz- und Rohstoffmärkte sowie geopolitischen Situationen. Neue Technologien können die Arbeitssicherheit verbessern, gleichzeitig aber auch neue Distanzen zwischen rohstoff-

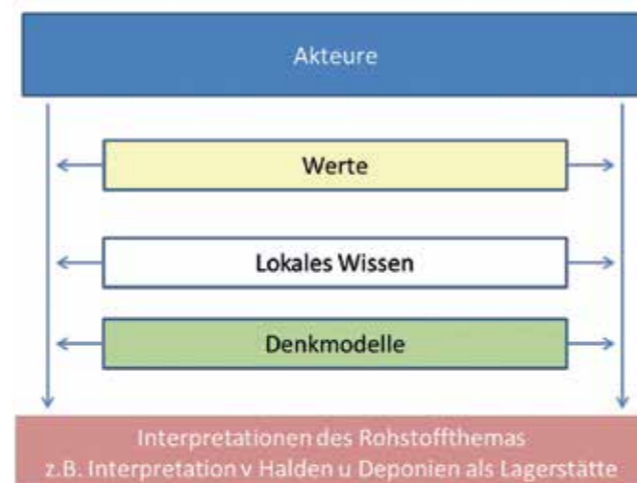


Abb. 1: Soziokulturelle Einflussfaktoren in der Entwicklung von Rohstofftechnologien, Quelle: UFZ

gewinnender Industrie und lokalen Gesellschaften schaffen. Damit werden Governanceansätze nötig, die es ermöglichen, mit den komplexen unbekanntem Wirkungen innovativer Rohstofftechnologien umzugehen.

Zwischenergebnisse

Ein zentrales Ergebnis der Forschungen der Nachwuchsgruppe GORmin ist, dass Rohstoffprojekte für wirtschaftsstrategische Rohstoffe in Deutschland derzeit in erster Linie der Technologieentwicklung dienen. Ein zweites wichtiges Ergebnis ist, dass die regionalen Kontexte, beispielsweise der Ablauf behördlicher Genehmigungsprozesse, die Wahrnehmung des Rohstoffthemas bei regionalen politischen Akteuren oder der Zugang zu regionalen Wissensbeständen, die Entwicklung von Technologien beeinflussen.

Soziale Prozesse im regionalen Kontext beeinflussen auch, ob Rohstoffpotenziale in Halden, Deponien, primären La-



Abb. 2: Stakeholderworkshop zur Diskussion und Ergänzung der Projektergebnisse, Foto: UFZ

gerstätten überhaupt wahrgenommen werden und damit genutzt werden können. Dabei kommen Werte wie Landschaftsbilder oder wirtschaftliche Effizienz, Wissensbestände wie Altlastenwissen oder Unternehmenswissen sowie Denkmodelle über die öffentliche Meinung oder über den Verlust der Bergbautradition zum Tragen.

Das Zusammenwirken der soziokulturellen Faktoren bildet den Ansatzpunkt für die Entwicklung von Optionen für die Gestaltung von Rohstofftechnologien. Die vorzuschlagenden Ansätze werden die regionalen gesellschaftlichen Kontexte der Technologieentwicklung adressieren und Möglichkeiten aufzeigen, wie diese konstruktiv in Entwicklungsprozesse eingebunden werden können.

Ausblick

Um angemessene Gestaltungsoptionen für die Entwicklung von Ressourcentechnologien vorschlagen zu können, ist es nötig, dass sich künftige sozialwissenschaftliche Forschung stärker mit der Verbindung zwischen Entstehungs- und An-

wendungskontexten innovativer Technologien beschäftigt. Die Erforschung dieser Kontexte gibt nicht nur Aufschluss über die generellen Mechanismen soziotechnischer Entwicklungen, sondern sie ist Teil einer gesellschaftlich verantwortungsvollen Technologiegestaltung.

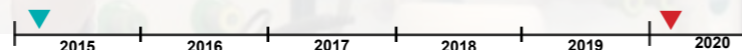
Kontakt

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
Permoserstr. 15
04318 Leipzig
Dr. Alena Bleicher | Tel. +49 341 235 1745
E-Mail: alena.bleicher@ufz.de
Projektlaufzeit: 01.03.2015 – 29.02.2020
Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 109



GRAMM

Quantifizierung lagerstättenbildender Prozesse an granitischen Intrusionen als Grundlage für Explorationsmodelle wirtschaftsstrategischer Spurenmetalle



Fließprozesse als treibende Kraft

Die Klassifikation metallischer Rohstoffvorkommen in der Erdkruste richtet sich im Wesentlichen nach dem Chemismus der Lagerstätte und ihrer Umgebung. Physikalische Fließprozesse in der Erdkruste sind jedoch die eigentliche treibende Kraft der chemischen Anreicherung. Hierbei werden Elemente, die ursprünglich nur spärlich in der Kruste vorkommen, aus einem großen Volumen herausgelöst, zu einem klar umgrenzten Bereich der Erdkruste transportiert und dort durch einen effizienten Ausfällungsprozess angereichert.

Die Forschungsgruppe GRAMM identifiziert und quantifiziert physikalische und geologische Prozesse, welche die chemische Anreicherung wirtschaftsstrategischer Spurenmetalle bei der Lagerstättenbildung kontrollieren. Computermodelle sollen das Fließverhalten metallführender hydrothermalen Lösungen in der Erdkruste simulieren und deren Wechselwirkungen mit Gestein und Schmelze untersuchen. Die Modellrechnungen werden mit geochemischen Analysen der bedeutendsten Zinn- und Wolframlagerstätten Europas kombiniert. Diese sind an granitische Intrusionen gebunden und entstehen durch Fluidmischungsprozesse während der Kristallisation der Magmakammer und anschließende Anreicherung im Granit und/oder Umgebungsgestein.

Zwischenergebnisse

Im feld- und analyseorientierten Teil befasst sich das Projekt mit einer der bekanntesten aktuell im Abbau befindlichen Wolfram (W)-Zinn (Sn)-Lagerstätten in Panasqueira (Portugal) sowie mit aktuellen Explorationsprojekten für Sn-W-Li-Vorkommen im Erzgebirge (Deutschland). Flüssigkeitseinschlüsse in Mineralen erlauben einen direkten Einblick in die Chemie und die Bildungsbedingungen der mineralisierenden hydrothermalen Fluide. Um die Quelle des aufsteigenden Magmas und der Fluide eingrenzen zu können, werden die Proben aus Panasqueira mit Hilfe des

hochauflösenden SIMS-Instruments (Sekundärionen-Massenspektrometrie) des GFZ Potsdam auf Bor-Isotope in Turmalinen untersucht.

Der Vergleich beider Lagerstätten zeigt unterschiedliche Anreicherungsprozesse. So dokumentieren die Fluideinschlüsse, dass es in Zinnwald (Osterzgebirge) bereits innerhalb des Kuppelbereichs des Granitkörpers durch Fluid-Gesteins-Reaktionen zur Zinnausfällung kam, während sich (teilweise zeitgleich) durch Druckentlastung und Phasenseparation Zinn und Wolfram führende Adern bildeten (Abb. 1), welche diesen Granitkörper durchschlugen. Alle Stoffe zur Erzmineralbildung waren in der Kuppel vorhanden, ergab die Analyse der Fluideinschlüsse. In Panasqueira dagegen flossen die mineralisierenden Fluide aus der Granitkuppel weiter bis in das Nebengestein aus Schiefer und bildeten erst hier die Lagerstätte. Der Schiefer enthält das zur Bildung des Minerals Wolframit notwendige Eisen. Die Lagerstätte bildete sich in Panasqueira durch Abkühlungs- und Reaktionsprozesse, welche sich auch in

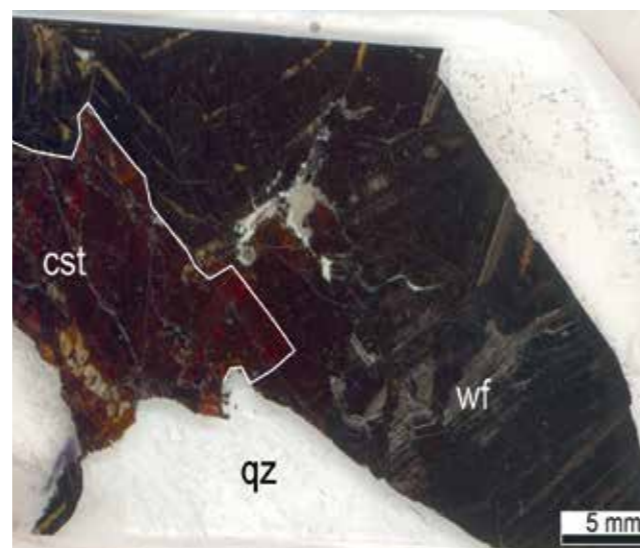


Abb. 1: Gemeinsame Ausfällung von Kassiterit (cst, Zinnstein), Wolframit (wf) und Quarz (qz) in der Sn-W-Li-Lagerstätte Zinnwald, Erzgebirge, Foto: Maximilian Korges, GFZ Potsdam



Abb. 2: Quarz-Wolframit-Sulfidzader in Panasqueira, Portugal, Foto: Robert Trumbull, GFZ Potsdam

der Chemie der Turmalinkristalle aus den Alterationssäumen im Nebengestein um die Erz führenden Adern ablesen lassen (Abb. 2).

Numerische Modellierung der Lagerstättenbildung

Das Verständnis des Wechselspiels zwischen hydrothermalen Zirkulation mineralreicher Lösungen und Gesteinsmechanik steckt wissenschaftlich noch in den Anfängen und ist von großem Interesse in der aktuellen Forschung. Mit der Entwicklung numerischer Modelle, welche die geologischen und hydrologischen Prozesse wiedergeben können, steigt das Interesse, diese neuen Methoden auch für die Lagerstättenexploration zu nutzen.

Das Fließverhalten hydrothermalen Lösungen wird maßgeblich von der Durchlässigkeit (Permeabilität) des Gesteins bestimmt. Die Vielzahl an Adern und Gängen in hydrothermalen Lagerstätten zeigt, dass heiße Fluide entlang von Brüchen, Spalten und Störungen strömen und diese durch Mineralausfällungen verheilen. Mit Hilfe numerischer Simulationen werden die dabei ablaufenden physikalischen Prozesse quantifiziert.

Ausblick

Mit dem interdisziplinären, multi-methodischen Ansatz des Projekts soll der Nutzen für die Rohstoffexploration herausgearbeitet werden – einerseits durch neue wissenschaftliche Erkenntnisse zu den kontrollierenden Faktoren der Lagerstättenbildung, andererseits durch die Entwicklung integrierter Konzepte, welche numerische Modelle für die Bewertung potenzieller Erzvorkommen mit einbeziehen.

Kontakt

Helmholtz Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum
Telegrafenberg
14473 Potsdam
PD Dr. Philipp Weis | Tel. +49 331-288-28967
E-Mail: philipp.weis@gfz-potsdam.de
Projektlaufzeit: 01.03.2015 – 29.02.2020
Weitere Kontaktdaten und Partner: Seite 109



Kontaktdaten der Verbundpartner



AddResources

Projektkoordinator
 Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV
 Giggenhauser Str. 35
 85354 Freising
 Dr. Martin Schlummer
 Tel. +49 8161 / 491-750
 martin.schlummer@ivv.fraunhofer.de

Verbundpartner
 ARGUS Additive Plastics GmbH
 Oberer Westring 3-7
 33142 Büren
 Dr. Roland Schlüter
 Tel. +49 2951 9909-133
 roland.schlueter@argus-additive.de

AFK

Projektkoordinator
 Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie
 Chemnitzer Str. 40
 09599 Freiberg
 Prof. K. Gerald van den Boogaart
 Tel. +49 351 260 4409
 boogaart@hzdr.de

Verbundpartner
 Beak Consultants GmbH
 Am St. Niclas Schacht 13
 09599 Freiberg
 Dr. Andreas Barth
 Tel. +49 3731 7813-50
 andreas.barth@beak.de

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
 Templergraben 55
 52062 Aachen
 Prof. Dr. Hermann Wotruba
 Tel. +49 241 80-97246
 wotruba@amr.rwth-aachen.de

Technische Universität Bergakademie Freiberg
 Akademiestr. 6
 09599 Freiberg
 Prof. Dr. Urs Alexander Peuker
 Tel. +49 3731 39-2916
 urs.peuker@mvtat.tu-freiberg.de

UVR-FIA GmbH
 Chemnitzer Str. 40
 09599 Freiberg
 Dr. Henning Morgenroth
 Tel. +49 3731 16212-21
 morgenroth@uvr-fia.de

AgREE

Projektkoordinator
 Bayer MaterialScience Aktiengesellschaft - Industrial Operations - Basic Chemicals
 51365 Leverkusen
 Dr. Konstantinos Douzinas
 Tel. +49 214 6009 5680
 konstantinos.douzinas@covestro.com

Verbundpartner
 Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
 Templergraben 55
 52062 Aachen
 Sarah Postels
 Tel. +49 241 80-95390
 sarah.postels@ltt.rwth-aachen.de

Technische Universität Bergakademie Freiberg
 Akademiestr. 6
 09599 Freiberg
 Prof. Dr. Michael Stelter
 Tel. +49 3731 39-2015
 michael.stelter@inemet.tu-freiberg.de

Siegfried Jacob Metallwerke GmbH & Co. KG
 Jacobstr. 41-45
 58256 Ennepetal
 Dr. Hans Dieter Dörner
 Tel. +49 2333 985-1260
 h.doerner@jacob-metall.de

ARGOS

Projektkoordinator
 IWARU Institut für Wasser•Ressourcen•Umwelt an der FH Münster
 Corrensstraße 25
 48149 Münster
 Prof. Dr. Sabine Flamme
 Tel. +49 251 8365-253
 flamme@fh-muenster.de

Verbundpartner
 Technische Universität Berlin
 Straße des 17. Juni 135
 10623 Berlin
 Prof. Dr. Vera Susanne Rotter
 Tel. +49 30 314-22619
 vera.rotter@tu-berlin.de

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
 Intzestraße 3
 52056 Aachen
 Prof. Dr. Bernd Friedrich
 Tel. +49 241 80-95850
 bfriedrich@ime-aachen.de

LLA Instruments GmbH
 Justus-von-Liebig-Str. 9
 12489 Berlin
 Dr. Günter Buzanich
 Tel. +49 30 6290790-31
 g.buzanich@lla.de

Steinert Elektromagnetbau GmbH
 Widdersdorfer Str. 329-331
 50933 Köln
 Dr. Nico Schmalbein
 Tel. +49 221 4984-117
 schmalbein@steinert.de

TSR Recycling GmbH & Co. KG
 Hafenstr. 98
 46242 Bottrop
 Herbert Zahm
 Tel. +49 203 45007-59
 h.zahn@tsr.eu

BakSolEx

Projektkoordinator
 Technische Universität Bergakademie Freiberg
 Institut für Biowissenschaften
 Leipziger Str. 29
 09599 Freiberg
 Dr. Dirk Tischler
 Tel. +49 3731 39 2103
 dirk-tischler@email.de

BiRec

Projektkoordinator
 Berzelius Stolberg GmbH
 Binsfeldhammer 14
 52224 Stolberg (Rheinland)
 Dipl.-Ing. Knut Esser
 Tel. +49 2402 1206-500
 Kesser.bbh@berzelius.de

Verbundpartner
 GTT Technologies GmbH
 Kaiserstr. 103
 52134 Herzogenrath
 Prof. Dr. Klaus Hack
 Tel. +49 2407 59533
 kh@gtt-technologies.de

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
 Intzestraße 3
 52056 Aachen
 Tel. +49 241 80-95850
 Prof. Dr. Bernd Friedrich
 bfriedrich@ime-aachen.de

Aurubis AG
 Hovestr. 50
 20539 Hamburg
 Dipl.-Ing. Volker Minne
 Tel. +49 40 7883-3239
 j.zervos@aurubis.com

DESMEX

Projektkoordinator

Westfälische Wilhelms-Universität
Münster
Institut für Geophysik
Corrensstraße 24
48149 Münster
Prof. Dr. Michael Becken
Tel. +49 251 83-36137
michael.becken@uni-muenster.de

Verbundpartner

Bundesanstalt für Geowissenschaften
und Rohstoffe (BGR)
Stilleweg 2
30655 Hannover
Dr. Uwe Meyer
Tel. +49 511 643-3212
uwe.meyer@bgr.de

Universität zu Köln
Albertus-Magnus-Platz
50931 Köln
Prof. Tezkan Bülent
Tel. +49 221 470-3386
tezkan@geo.uni-koeln.de

Leibniz-Institut für Angewandte
Geophysik (LIAG)
Stilleweg 2
30655 Hannover
Dr. Thomas Günther
Tel. +49 511 643-3494
thomas.guenther@liag-hannover.de

Leibniz-Institut für Photonische
Technologien e.V.
Albert-Einstein-Str. 9
07745 Jena
Dr. Ronny Stolz
Tel. +49 3641 206-119
ronny.stolz@ipht-jena.de

supracon Aktiengesellschaft
An der Lehmgrube 11
07751 Jena
Dr. Vyacheslav Zakosarenko
Tel. +49 3641 2328-167
zakosarenko@supracon.com

Metronix Meßgeräte
und Elektronik GmbH
Kocherstr. 3
38120 Braunschweig
Dr. Bernhard Friedrichs
Tel. +49 531 8668-270
bernhard.friedrichs@metronix.de

Technische Universität Bergakademie
Freiberg
Akademiestr. 6
09599 Freiberg
Prof. Dr. Thomas Seifert
Tel. +49 3731 39-3527
thomas.seifert@mineral.tu-freiberg.de

DIBRAS

Projektkoordinator

Universität Duisburg-Essen
Institut für Technologien der Metalle
Friedrich-Ebert-Str.12
47119 Duisburg
Prof. Dr. Rüdiger Deike
Tel. +49 203 3793455
ruediger.deike@uni-due.de

Verbundpartner

Dörrenberg Edelstahl GmbH
Hammerweg 7
51766 Engelskirchen
Martin Kühnemund
Tel. +49 2263 79-336
martin.kuehnemund@doerrenberg.de

CUTEC Clausthaler Umwelttechnik
Forschungszentrum
Leibnizstr. 23
38678 Clausthal-Zellerfeld
Dipl.-Ing. Sven Schulze
Tel. +49 5323 933-271
sven.schulze@cutec.de

RHM Rohstoff-
Handelsgesellschaft mbH
Rheinstr. 141
45478 Mülheim an der Ruhr
Holger Biedermann
Tel. +49 7275 61966-33
h.biedermann@rhm-rohstoffe.de

Friedr. Lohmann Gesellschaft mit
beschränkter Haftung Werk für
Spezial- & Edelstähle
Ruhrtal 2
58456 Witten
Roland Müller
Tel. +49 2302 7014-245
rmueller@lohmann-stahl.de

EcoGaIN

Projektkoordinator

G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH
Schwarze Kiefern 2
09633 Halsbrücke
Dr. Eberhard Janneck
Tel. +49 3731 369-129
e.janneck@geosfreiberg.de

Verbundpartner

Freiberger Compound Materials
Gesellschaft mit beschränkter Haftung
Am Junger Löwe Schacht 5
09599 Freiberg
Thomas Reinhold
Tel. +49 3731 280-215
thomas.reinhold@fcm-germany.com

Geokompetenzzentrum Freiberg e.V.
Burgstr. 19
09599 Freiberg
Dr. Wolfgang Reimer
Tel. +49 3731 7737-15
wolfgang.reimer@gkz-ev.de

Helmholtz-Zentrum Dresden -
Rossendorf e. V.
Bautzner Landstr. 400
01328 Dresden
Dr. Katrin Pollmann
Tel. +49 351 260-2946
k.pollmann@hzdr.de

Technische Universität Bergakademie
Freiberg
Akademiestr. 6
09599 Freiberg
Prof. Dr. Michael Stelter
Tel. +49 3731 39-2015
stelter@inemet.tu-freiberg.de

Losser Chemie GmbH
Bahnhofstr. 10
08134 Langenweißbach
Dr. Wolfram Palitzsch
Tel. +49 37603 532-0
wolfram.palitzsch@loserchemie.de

PPM Pure Metals GmbH
Hoppenstedter Str. 6
38835 Osterwieck
Dr. Ulrich Kammer
Tel. +49 5326 507-350
ulrich.kammer@recylex.de

ELEXSA

Projektkoordinator

Fraunhofer Institut für Bauphysik
Fraunhoferstr. 10
83626 Valley
Dr. Sebastian Dittrich
Tel. +49 8024 643-209
sebastian.dittrich@ibp.fraunhofer.de

Verbundpartner

Stadtreinigung Hamburg AöR
Bullerdeich 19
20537 Hamburg
Dr. Stefan Lübben
Tel. +49 40 2576-1071
s.luebben@srhh.de

Ludwig-Maximilians-Universität
München
Geschwister-Scholl-Platz 1
80333 München
Tel. +49 89 2180-4292
Dr. Thomas Kunzmann
kunzmann@min.uni-muenchen.de

SIMET GmbH
Meisterstr. 22
46325 Borken
Dr. Matthias Sittard
Tel. +49 2861-2263
msittard@aol.com

CUTEC Clausthaler Umwelttechnik
Forschungszentrum
Leibnizstr. 23
38678 Clausthal-Zellerfeld
Dipl.-Ing. Anne Dittmar
Tel. +49 5323 933-274
anne.dittmar@cutec.de

ThyssenKrupp MillServices &
Systems GmbH
Emschertalstr. 12
46149 Oberhausen
Dr. Michael Dohlen
Tel. +49 208 65605-166
michael.dohlen@thyssenkrupp.com

ELIZE

Projektkoordinator

TU Bergakademie Freiberg,
Institut für Aufbereitungsmaschinen
Lampadiusstraße 4
09599 Freiberg
Prof. Dr. Holger Lieberwirth
Tel. +49 3731 39-2558
Holger.Lieberwirth@iam.tu-freiberg.de

Verbundpartner

Technische Universität Dresden
Helmholtzstr. 10
01069 Dresden
Prof. Dr. Jürgen Weber
Tel. +49 351 463-37602
mailbox@ifd.mw.tu-dresden.de

Thomas Werner Industrielle
Elektronik e.Kfm.
Alte Str. 2
01731 Kreischa
Dipl.-Ing. André Lienert
Tel. +49 35206 397346
lienert@werner-electronic.de

Haver Engineering GmbH
Halsbrücker Str. 34
09599 Freiberg
Sandra Weyrauch
Tel. +49 3731 419294
s.weyrauch@haverengineering.de

G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH
Schwarze Kiefern 2
09633 Halsbrücke
Dr. Frank Haubrich
Tel. +49 3731 369-132
f.haubrich@geosfreiberg.de

gagendta+

Projektkoordinator

Fraunhofer-Institut für Umwelt-,
Sicherheits- und Energietechnik
UMSICHT,
Institutsteil Sulzbach-Rosenberg
An der Maxhütte 1
92237 Sulzbach-Rosenberg
Peter Hense, M.Sc.
Tel. +49 9661 908-435
peter.hense@umsicht.fraunhofer.de

Verbundpartner

Technische Hochschule Nürnberg
Georg Simon Ohm
Keßlerplatz 12
90489 Nürnberg
Prof. Dr. Ulrich Teipel
Tel. +49 911 5880-1471
ulrich.teipel@th-nuernberg.de

ALBA Electronics Recycling GmbH
Heilbronner Str. 13
75031 Eppingen
Manfred Fahrner
Tel. +49 7262 612-21
manfred.fahrner@alba.info

Kautz Technologies GmbH
Reithallenstr. 5
77731 Willstätt
Dipl. Ing. Frank Fuhrer
Tel. +49 7854 186-34
f.fuhrer@kautz-gmbh.de

Hubert Tippkötter GmbH
Velsen 49
48231 Warendorf
Hubert Tippkötter
Tel. +49 2584 9302-12
info@tippkoetter.de

GEM

Projektkoordinator

Deutsches GeoForschungsZentrum
Telegrafenberg
14473 Potsdam
Prof. Dr. Rolf L. Romer
Tel. +49 331 288-1405
romer@gfz-potsdam.de

Verbundpartner

Technische Universität Bergakademie
Freiberg
Akademiestr. 6
09599 Freiberg
Dr. Uwe Kroner
Tel. +49 3731 39-2434
kroner@geo.tu-freiberg.de

Beak Consultants GmbH
Am St. Niclas Schacht 13
09599 Freiberg
Dr. Andreas Barth
Tel. +49 3731 7813-52
andreas.barth@beak.de

G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH
Schwarze Kiefern 2
09633 Halsbrücke
Dr. René Kahnt
Tel. +49 3731 369-407
r.kahnt@geosfreiberg.de

GERRI

Projektkoordinator

Helmholtz-Institut Freiberg
für Ressourcentechnologie
Chemnitzer Str. 40
09599 Freiberg
Helene E. Köpf
Tel. +49 351 260-4425
h.koepf@hzdr.de
und
Prof. Dr. Jens Gutzmer
Tel. +49 351 260-4400
j.gutzmer@hzdr.de

Verbundpartner

Technische Universität Clausthal
Adolph-Roemer-Str. 2 a
38678 Clausthal-Zellerfeld
Prof. Dr. Daniel Goldmann
Tel. +49 5323 72-2735
daniel.goldmann@tu-clausthal.de

Rheinisch-Westfälische Technische
Hochschule Aachen
Intzestraße 3
52056 Aachen
Prof. Dr. Bernd Friedrich
Tel. +49 241 80-95850
bfriedrich@ime-aachen.de

Technische Universität Bergakademie
Freiberg
Akademiestr. 6
09599 Freiberg
Prof. Dr. Michael Stelter
Tel. +49 3731 39-2015
michael.stelter@inemet.tu-freiberg.de

GORmin

Projektkoordinator

Helmholtz-Zentrum für
Umweltforschung – UFZ
Permoserstr. 15
04318 Leipzig
Dr. Alena Bleicher
Tel. +49 341 235 1745
alena.bleicher@ufz.de

GRAMM

Projektkoordinator

Helmholtz Zentrum Potsdam
– Deutsches GeoForschungsZentrum
Telegrafenberg
14473 Potsdam
PD Dr. Philipp Weis
Tel. +49 331-288-28967
philipp.weis@gfz-potsdam.de

GRAPHIT 2.0

Projektkoordinator

Technische Hochschule Nürnberg
Georg Simon Ohm
Wassertorstr. 10
90489 Nürnberg
Prof. Dr. Ulrich Teipel
Tel. +49 911 5880-1471
ulrich.teipel@th-nuernberg.de

Verbundpartner

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung
der angewandten Forschung e.V.
Hansastr. 27 c
80686 München
Dipl.-Ing. Elisa Seiler
Tel. +49 721 4640-354
elisa.seiler@ict.fraunhofer.de

Eisenhuth GmbH & Co. KG
Friedrich-Ebert-Str. 203
37520 Osterode
Dr. Thorsten Hickmann
Tel. +49 5522 9067-14
t.hickmann@eisenhuth.de

Dieffenbacher GmbH Maschinen-
und Anlagenbau
Heilbronner Str. 20
75031 Eppingen
Dipl.-Ing. Jochen Kamm
Tel. +49 7262 65-5264
jochen.kamm@dieffenbacher.de

HADEG Recycling GmbH, Stade
(assoziiert)

r⁴-INTRA

Projektkoordinator

CUTEC Clausthaler Umwelttechnik
Forschungszentrum
Leibnizstraße 23
38678 Clausthal-Zellerfeld
Prof. Dr. Daniel Goldmann
Tel. +49 5323 72-2725
goldmann@aufbereitung.tu-clausthal.de

Verbundpartner

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung
der angewandten Forschung e.V.
Hansastr. 27 c
80686 München
Dr. Katrin Ostertag
Tel. +49 721 6809-116
katrin.ostertag@isi.fraunhofer.de

Bundesanstalt für Geowissenschaften
und Rohstoffe (BGR)
Stilleweg 2
30655 Hannover
Dr. Hildegard Wilken
Tel. +49 511 643-2362
hildegard.wilken@bgr.de

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Kaiserstr. 12
76131 Karlsruhe
Hochschule Pforzheim - Gestaltung,
Technik, Wirtschaft und Recht
Tiefenbronner Str. 65
75175 Pforzheim
Prof. Dr. Jörg Woidasky
Tel. +49 7231 28-6489
joerg.woidasky@hs-pforzheim.de

HITEM

Projektkoordinator

Supracon AG
An der Lehmgrube 11
07751 Jena
Jens Kobow
Tel. +49 3641 2328-100
jens.kobow@supracon.com

Verbundpartner

Leibniz-Institut für Photonische
Technologien e.V.
Albert-Einstein-Str. 9
07745 Jena
Dr. Ronny Stolz
Tel. +49 3641 206-119
ronny.stolz@iph-t-jena.de

GRM-services Oy, Suomi – Finland
Kelatie 1,
SF-01450 Vantaa, Suomi - Finland
Mr. Antti Kivinen
Tel. +35 840 5394224
antti.kivinen@grm-services.fi

HTMET

Projektkoordinator

Bundesanstalt für Geowissenschaften
und Rohstoffe (BGR)
Stilleweg 2
30655 Hannover
Priv.-Doz. Dr. Torsten Graupner
Tel. +49 511 643 2569
torsten.graupner@bgr.de

Verbundpartner

CUTEC Clausthaler Umwelttechnik
Forschungszentrum
Leibnizstr. 23
38678 Clausthal-Zellerfeld
Dr. Torsten Zeller
Tel. +49 5323 933-206
torsten.zeller@cutec.de

Technische Universität Clausthal
Adolph-Roemer-Str. 2 a
38678 Clausthal-Zellerfeld
Prof. Dr. Daniel Goldmann
Tel. +49 5323 72-2735
daniel.goldmann@tu-clausthal.de

Recylex GmbH
Vahrenwalder Str. 269A
30179 Hannover
Dr. Andreas Sieverdingbeck
Tel. +49 5321 684-102
andreas.sieverdingbeck@recylex.de

Lan-Tex

Projektkoordinator

Deutsches Textilforschungszentrum
Nord-West gGmbH (DTNW)
Adlerstr. 1
47798 Krefeld
Dr. Klaus Opwis
Tel. +49 2151- 8432014
opwis@dtnw.de

Verbundpartner

Gebr. Rödgers Aktiengesellschaft
Böhmheide 18
29614 Soltau
Dr. Peter Gronwald
Tel. +49 5191 604-129
gronwald@gr-ag.de

Textilaustrüstung Roessing GmbH
Tünter Heide 8
46414 Rhede
Thomas Siegfried
Tel. +49 2872 936-176
t.siegfried@roessing.com

Decker Verfahrenstechnik GmbH
Am Röthenbühl 7
92348 Berg
Dipl.-Jur. Frank Naujoks
Tel. +49 9189 4410-21
frank.naujoks@decker-vt.de

MetalSens

Projektkoordinator

Fraunhofer-Institut für Produktionstech-
nologie IPT
Steinbachstraße 17
52074 Aachen
Florian Lindner, M.Sc.
Tel. +49 241 8904-160
florian.lindner@ipt.fraunhofer.de

Verbundpartner

IME Metallurgische Prozesstechnik und
Metallrecycling
RWTH Aachen
Prof. Bernd Friedrich
Intzestraße 3
D-52056 Aachen
0241 80 95194
LPeters@metallurgie.rwth-aachen.de

SICON GmbH
Florian Haug
Vordere Insbach 26
D-57271 Hilchenbach
02563 904700
f.haug@sicon.eu

LLA Instruments GmbH
Dr. Günter Buzanich
Justus-von-Liebig-Straße 9/11
12489 Berlin
030 62907900
g.buzanich@lla.de

MExEM

Projektkoordinator

Fraunhofer-Institut für Keramische
Technologien und
Systeme (IKTS)
Winterbergstraße 28
01277 Dresden
Dr. Burkhardt Faßauer
Tel. +49 351 2553-7667
burkhardt.fassauer@ikts.fraunhofer.de

Verbundpartner

Andreas Junghans Anlagenbau und
Edelstahlbearbeitung GmbH & Co. KG
Chemnitzer Str. 63
09669 Frankenberg/Sa.
Dipl.- Ing. Andreas Stobbe
Tel. +49 37206 862-54
a.stobbe@ajunghans.de

Westfälische Hochschule Zwickau (FH)
Dr. Friedrichs-Ring 2 a
08056 Zwickau
Prof. Dr. Bernhard Gemende
Tel. +49 375 536-1787
bernhard.gemende@fh-zwickau.de

G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH
Schwarze Kiefern 2
09633 Halsbrücke
Dipl.-Chem. Mirko Martin
Tel. +49 3731 369-296
m.martin@geosfreiberg.de

Nickelhütte Aue GmbH
Rudolf-Breitscheid-Str.
08280 Aue
Dr. Nils Günther
Tel. +49 3771 505-208
guenther@nickelhuetten-aue.de

SAXONIA Standortentwicklungs- und
-verwaltungsgesellschaft mbH
Halsbrücker Str. 34
09599 Freiberg
Dr. Christin Jahns
Tel. +49 3731 3950-26
christin.jahns@saxonia-freiberg.de

MinNoBeck

Projektkoordinator

Department for Physics and Earth
Sciences
Jacobs University Bremen gGmbH
Campus Ring 1
28759 Bremen
Prof. Dr. Michael Bau
Tel. +49 421 200-3564
m.bau@jacobs-university.de

Verbundpartner

Helmholtz-Zentrum Potsdam
Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ
Telegrafenberg
14473 Potsdam
Dr. Volker Lüders
Tel. +49 331 288-1434
volue@gfz-potsdam.de

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg
Schlossplatz 4
91054 Erlangen
Prof. Dr. Reiner Klemd
Tel. +49 9131 85-22699
klemd@geol.uni-erlangen.de

Georg-August-Universität Göttingen
Goßlerstr. 5-7
37073 Göttingen
Prof. Dr. Jonas Kley
Tel. +49 551 39-9700
jkley@gwdg.de

MinSEM

Projektkoordinator

Fraunhofer ISC Projektgruppe IWKS
Brentanostrasse 2
63755 Alzenau
Dr. Karolina Kazmierczak
Tel. +49 6023 32039-845
karolina.kazmierczak@isc.fraunhofer.de

Verbundpartner

Duesmann & Hensel Recycling GmbH
Mühlweg 10
63743 Aschaffenburg
Dr. Friedhelm Schöne
Tel. +49 6028 1209-538
f.schoene@duerrec.com

ratiochem GmbH
Hammermühlweg 1
96317 Kronach
Dr. Lothar Fröhlich
Tel. +49 9261 501 849-10
l.froehlich@ratiochem.org

Maleki GmbH
Carl-Stolcke Str. 1
49090 Osnabrück
Mina Basiri
Tel. +49 541 2024799-2
mbasiri@maleki.net

ThyssenKrupp MillServices &
Systems GmbH
Emschertalstr. 12
46149 Oberhausen
Dr. Michael Dohlen
Tel. +49 208 65605-166
michael.dohlen@thyssenkrupp.com

Barberini GmbH
Hüttenstr. 1
31073 Grünenplan
Dr. Katja Engel
Tel. +49 151 26467754
k.engel@barberiniglass.de

Technische Universität Dresden
Helmholtzstr. 10
01069 Dresden
Prof. Dr. Thomas Strassner
Tel. +49 351 463-38571
thomas.strassner@chemie.tu-dresden.de

NeW-Bat

Projektkoordinator

Geschäftsfeldleiter Energiematerialien
Fraunhofer-Projektgruppe IWKS
Rodenbacher Chaussee 4
63457 Hanau
Daniel Horn, M.Sc.
Tel. +49 6023 32039-854
daniel.horn@isc.fraunhofer.de

Verbundpartner

Lars Walch GmbH & Co. KG
Raiffeisenstr. 24
91460 Baudenbach
Matthias Walch
Tel. +49 9164 9981-18
matthias.walch@walch-recycling.de

Gemeinsames Rücknahmesystem
Servicegesellschaft mbH
Heidenkampsweg 44
20097 Hamburg
Dipl.-Ing. Sebastian Kross
Tel. +49 40 2377-8957
kross@grs-batterien.de

Leclanché GmbH
Industriestr. 1
77731 Willstätt
Dr. Günther Jutz
Tel. +49 7852 818-31
guenther.jutz@leclanche.com

ImpulsTec GmbH
Industriestr. 65
01129 Dresden
Dipl.-Ing. Stefan Eisert
Tel. +49 351 811296-1016
stefan.eisert@adensis.com

OptiWiM

Projektkoordinator

CBM Gesellschaft für Consulting,
Business und
Management mbH
Niederbexbacher Straße 67
66450 Bexbach
Prof. Dr. Mathias J. Bauer
Tel. +49 6826 510910
bauer@cbm-ac.de

Verbundpartner

Rheinisch-Westfälische Technische
Hochschule Aachen
Templergraben 55
52062 Aachen
Prof. Dr. Hermann Wotruba
Tel. +49 241 80-97246
wotruba@amr.rwth-aachen.de

REEMAP

Projektkoordinator

Helmholtz Zentrum Potsdam
Deutsches Geoforschungszentrum GFZ
Telegrafenberg
14473 Potsdam
Dr. Christian Rogass
Tel. +49 331 288 1820
christian.rogass@gfz-potsdam.de

Verbundpartner

Bundesanstalt für Geowissenschaften
und Rohstoffe (BGR)
Stilleweg 2
30655 Hannover
Dr. Martin Schodlok
Tel. +49 511 643-3007
martin.schodlok@bgr.de

Universität Potsdam
Am Neuen Palais 10
14469 Potsdam
apl. Prof. Dr. Uwe Altenberger
Tel. +49 331 977-5806
uwe@geo.uni-potsdam.de

ResErVar

Projektkoordinator

Helmholtz-Institut Freiberg
für Ressourcentechnologie (HIF)
Chemnitzer Str. 40
09599 Freiberg
Prof. Dr. Jens Gutzmer
Tel. +49 351 260 4400
j.gutzmer@hzdr.de

Verbundpartner

Technische Universität Clausthal
Adolph-Roemer-Str. 2 a
38678 Clausthal-Zellerfeld
Prof. Dr. Bernd Lehmann
Tel. +49 5323 72-2511
bernd.lehmann@tu-clausthal.de

Rheinisch-Westfälische Technische
Hochschule Aachen
Templergraben 55
52062 Aachen
Prof. Dr. Franz Michael Meyer
Tel. +49 241 8095774
m.meyer@rwth-aachen.de

Technische Universität Bergakademie
Freiberg
Akademiestr. 6
09599 Freiberg
Prof. Dr. Thomas Seifert
Tel. +49 3731 39-3527
thomas.seifert@mineral.tu-freiberg.de

Eberhard Karls Universität Tübingen
Geschwister-Scholl-Platz
72074 Tübingen
Prof. Dr. Gregor Markl
Tel. +49 7071 293060
markl@uni-tuebingen.de

REWITA

Projektkoordinator

CUTEC Clausthaler Umwelttechnik
Forschungszentrum
Leibnizstraße 23
38678 Clausthal-Zellerfeld
Dr. Torsten Zeller
Tel. +49 05323 933-206
torsten.zeller@cutec.de

Verbundpartner

pdv-software GmbH
Stapelner Str. 1
38644 Goslar
Tristan Niewisch
Tel. +49 5321 5732-22
tn@pdv-software.de

PPM Pure Metals GmbH
Hoppenstedter Str. 6
38835 Osterwieck
Dr. Ulrich Kammer
Tel. +49 5326 507-350
ulrich.kammer@recylex.de

Harz-Metall GmbH
Hüttenstr. 6
38642 Goslar
Florian Schmidt
Tel. +49 5321 688-207
florian.schmidt@recylex.de

Stöbich Holding GmbH & Co. KG
Pracherstieg 6
38644 Goslar
Dr. Jochen Stöbich
Tel. +49 5321 5708-25
j.stoebich@stoebich.de

Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH
Steinweg 4
30989 Gehrden
Dipl.-Ing. Christian Poggendorf
Tel. +49 5108 92172-0
c.poggendorf@burmeier-ingenieure.de

Technische Universität Clausthal
Adolph-Roemer-Str. 2 a
38678 Clausthal-Zellerfeld
Prof. Dr. Daniel Goldmann
Tel. +49 5323 72-2735
daniel.goldmann@tu-clausthal.de

SEEsand

Projektkoordinator

G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH
Schwarze Kiefern 2
09633 Halsbrücke
Dipl.-Chem. Mirko Martin
Tel. +49 3731 369-296
m.martin@geosfreiberg.de

Verbundpartner

Bundesanstalt für Geowissenschaften
und Rohstoffe (BGR)
Stilleweg 2
30655 Hannover
Prof. Dr. Axel Schippers
Tel. +49 511 643-3103
axel.schippers@bgr.de

Technische Universität Clausthal
Adolph-Roemer-Str. 2 a
38678 Clausthal-Zellerfeld
Prof. Tobias Elwert
Tel. +49 5323-72-2119
tobias.elwert@tu-clausthal.de

Landesamt für Umwelt, Naturschutz
und Geologie Mecklenburg-Vor-
pommern
Goldberger Str. 12
18273 Güstrow
Dr. Andreas Börner
Tel. +49 3843 777401
andreas.boerner@lung.mv-regierung.de

André Voß Erdbau und Transport
GmbH
Elmenhorster Weg 20
18109 Rostock
Ludger Grüßing
Tel. +49 381 87718-112
gruessing@andrevoss.de

Imerys Fused Minerals Laufenburg
GmbH
Ferroweg 1
79725 Laufenburg
Dr. Angelika Priese
Tel. +49 7763 933-515
angelika.priese@imerys.com

Geokompetenzzentrum Freiberg e.V.
Burgstr. 19
09599 Freiberg
Dr. Wolfgang Reimer
Tel. +49 3731 7737-15
wolfgang.reimer@gkz-ev.de

SEM²

Projektkoordinator

G.U.B. Ingenieur AG
Gutenbergplatz 1c
04103 Leipzig
Dr. Wilfried Hüls
Tel. +49 341 23102-15,
wilfried.huels@gub-ing.de

Verbundpartner

Gesellschaft zur Förderung von
Medizin-, Bio- und Umwelt-
Technologien e.V.
Erich-Neuß-Weg 5
06120 Halle (Saale)
Dipl. Chem. Meinolf Stützer
Tel. +49 345 77796-43
stuetzer@gmbu.de

Helmholtz-Zentrum Dresden -
Rossendorf e. V.
Bautzner Landstr. 400
01328 Dresden
Dr. Vinzens Brendler
Tel. +49 351 260-2430
v.brendler@fzd.de

Leibniz-Institut für Pflanzengenetik
und Kulturpflanzenforschung (IPK)
Corrensstr. 3
06466 Gatersleben
Prof. Dr. Gotthard Kunze
Tel. +49 39482 5-247
kunzeg@ipk-gatersleben.de

SE-FLECX

Projektkoordinator

Helmholtz-Zentrum Dresden-
Rossendorf
Helmholtz-Institut Freiberg
für Ressourcentechnologie
Abteilung Metallurgie und Recycling
Chemnitzer Straße 40
09599 Freiberg
Prof. Dr. Christiane Scharf
Tel. +49 351 260 4429
c.scharf@hzdr.de

Verbundpartner

BASF SE
Carl-Bosch-Str. 38
67063 Ludwigshafen am Rhein
Dr. Martin Merger
Tel. +49 621 60-44685
martin.merger@basf.com

CMI UVK GmbH
Robert-Bosch-Str. 12
56410 Montabaur
Dipl.-Ing. Egon Sehner
Tel. +49 151 551449-84
egon.sehner@cmigroupe.com

Technische Universität Bergakademie
Freiberg
Akademiestr. 6
09599 Freiberg
Dr. Peter Fröhlich
Tel. +49 3731 39-3663
peter.froehlich@chemie.tu-freiberg.de

Universität Leipzig
Ritterstr. 26
04109 Leipzig
Prof. Dr. Berthold Kersting
Tel. +49 341 9736143
b.kersting@uni-leipzig.de

SEMAREC

Projektkoordinator

Technische Universität Clausthal
Institut für Aufbereitung, Deponie-
technik und Geomechanik
Walther-Nernst-Str. 9
38678 ClausthalZellerfeld
Tobias Elwert
Tel. +49 5323 722119
tobias.elwert@tuclausthal.de

Verbundpartner

Electrocycling GmbH
Landstraße 91
38644 Goslar
Guido Sellin
Tel. +49 5321 336744
guido.sellin@electrocycling.de

Innova Recycling GmbH
Wolfenbüttler Straße 42
38642 Goslar
Thomas Borchers
Tel. +49 5321 31880-10
borchers@innova-recycling.de

PPM Pure Metals GmbH
Hoppenstedter Str. 6
38835 Osterwieck
Dr. Ulrich Kammer
Tel. +49 5326 507-350
ulrich.kammer@recylex.de

SESAM

Projektkoordinator

Technische Universität München
Department Chemie – Fachgebiet
Analytische Chemie
Lichtenbergstraße 4
85748 Garching bei München
Prof. Dr. Michael Schuster
Tel. Prof. Dr. Michael Schuster
michael.schuster@tum.de

Verbundpartner

Bundesanstalt für Gewässerkunde
(BfG)
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
Dr. Lars Düster
Tel. +49 261 1306-5275
duester@bafg.de

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung
der angewandten Forschung e.V.
Hansastr. 27 c
80686 München
Dipl.-Ing. Stefan Albrecht
Tel. +49 711 970-3170
stefan.albrecht@lbp.uni-stuttgart.de

Theisenschlamm

Projektkoordinator

Helmholtz-Zentrum für Umwelt-
forschung GmbH - UFZ
Department Analytik
Permoserstrasse 15
04318 Leipzig
Dr. Birgit Daus
Tel. +49 341 235 1769
birgit.daus@ufz.de

Verbundpartner

G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH
Schwarze Kiefern 2
09633 Halsbrücke
Dipl.-Chem. Mirko Martin
Tel. +49 3731 369-296
m.martin@geosfreiberg.de

B.R.A.I.N. Biotechnology Research
and Information Network AG
Darmstädter Str. 34-36
64673 Zwingenberg
Dr. Guido Meurer
Tel. +49 6251 9331-29
gm@brain-biotech.de

Technische Universität Bergakademie
Freiberg
Akademiestr. 6
09599 Freiberg
Prof. Dr. Michael Schlömann
Tel. +49 3731 39-3739
michael.schloemann@ioez.tu-
freiberg.de

Helmholtz-Zentrum Dresden -
Rossendorf e. V.
Bautzner Landstr. 400
Prof. Christiane Scharf
Tel. +49 351 260-4429
c.scharf@hzdr.de

Nickelhütte Aue GmbH
Rudolf-Breitscheid-Str.
08280 Aue
Dr. Nils Günther
Tel. +49 3771 505-351
guenther@nickelhueette-aue.de

TransTech

Projektkoordinator

Rheinisch-Westfälische Technische
Hochschule Aachen
Intzestraße 3
52056 Aachen
Prof. Dr. Bernd Friedrich
Tel. +49 241 80-95850
bfriedrich@ime-aachen.de

Verbundpartner

MEAB Chemie Technik GmbH
Dennewartstr. 25
52068 Aachen
Dr. Milena Stopic
Tel. +49 241 96311-80
milena.stopic@meab-mx.com

MIMI Tech GmbH

Preusweg 98
52074 Aachen
Dr. Semiramis Friedrich
Tel. +49 241 1684374
info@mimi-tech.com

UPNS4D+

Projektkoordinator

indurad GmbH
Belvedereallee 5
52070 Aachen
Dr. Matthias Rabel
Tel. +49 241 538070-0
matthias.rabel@indurad.com

Verbundpartner

M I L A N Geoservice GmbH
Zum Tower 4
01917 Kamenz
Dirk Hannusch
Tel. +49 355 28924-614
d.hannusch@milan-geoservice.de

Fachhochschule Aachen

Bayernallee 11
52066 Aachen
Prof. Ingrid Scholl
Tel. +49 241 6009-52177
scholl@fh-aachen.de

Rheinisch-Westfälische Technische

Hochschule Aachen
Templergraben 55
52062 Aachen
Prof. Dr. Karl Nienhaus
Tel. +49 241 80-95680
knienhaus@imr.rwth-aachen.de

XGraphic Ingenieurgesellschaft mbH

Aretzstr. 9
52070 Aachen
Dr. David Buttgerit
Tel. +49 241 89410-15
buttgerit@xgraphic.de

Technische Universität Bergakademie

Freiberg
Akademiestr. 6
09599 Freiberg
Ralf Donner
Tel. +49 3731 39-3555
ralf.donner@tu-freiberg.de

Fritz Rensmann, Maschinenfabrik,

Diesellokomotiven, Getriebe
GmbH & Co. KG
Bünnerhelfstr. 33
44379 Dortmund
Dr. Fritz Rensmann
Tel. +49 231 5655951-7
f.rensmann@rensmann.com

GHH Fahrzeuge GmbH

Emscherstr. 53
45891 Gelsenkirchen
Dr. Felix Straßburger
Tel. +49 209 38907-340
Felix.strassburger@ghh-fahrzeuge.de

VAFLOW

Projektkoordinator

Fraunhofer-Institut für Umwelt-,
Sicherheits- und Energietechnik
UMSICHT
Osterfelder Str. 3
46047 Oberhausen
Jochen Nühlen
Tel. +49 208 8598-1370
jochen.nuehlen@umsicht.fraunhofer.de

Verbundpartner

Technische Universität Bergakademie
Freiberg
Akademiestr. 6
09599 Freiberg
Prof. Dr. Michael Stelter
Tel. +49 3731 39-2015
stelter@inemet.tu-freiberg.de

Nickelhütte Aue GmbH

Rudolf-Breitscheid-Str. 65-75
08280 Aue
Dr. Nils Günther
Tel. +49 3771 505-208
guenther@nickelhueette-aue.de

CMS Green Energy GmbH

Ravensstr. 48
41334 Nettetal
Dipl.-Ing. Michael Reich
Tel. +49 2157 870999-0
m.reich@cmsgreenenergy.com

WISTAMERZ

Projektkoordinator

Beak Consultants GmbH
Am St. Niclas Schacht 13
09599 Freiberg
Dr. Andreas Barth
Tel. +49 3731-781350
andreas.barth@beak.de

Verbundpartner

Technische Universität Bergakademie
Freiberg
Akademiestr. 6
09599 Freiberg
Prof. Dr. Klaus Stanek
Tel. +49 3731 39-3599
stanek@geo.tu-freiberg.de

Helmholtz-Zentrum Dresden -

Rosendorf e. V.
Bautzner Landstr. 400
01328 Dresden
Prof. Dr. Jens Gutzmer
Tel. +49 351 260-44400
jens.gutzmer@mineral.tu-freiberg.de



Impressum

Herausgeber

CUTEC Clausthaler Umwelttechnik Forschungszentrum der TU Clausthal
Leibnizstraße 23 · 38678 Clausthal-Zellerfeld
Tel. +49 5323 933-0 · Fax +49 5323 933-100
cutec@cutec.de · www.cutec.de

Redaktion

Dipl.-Ing. Andre Bertram, CUTEC Clausthaler Umwelttechnik Forschungszentrum der TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld

Gestaltung

Gabriela Wessels, CUTEC Clausthaler Umwelttechnik Forschungszentrum der TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld

Bildnachweis

Titel: Andre Bertram, CUTEC Clausthaler Umwelttechnik Forschungszentrum der TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld
Innen: S. 4: Andre Bertram, CUTEC; S. 10 oben: Andreas Kahrl, Universität Duisburg-Essen;
S. 10 unten: Fraunhofer IKTS, S. 11: Thinkstock; S. 16 oben: Marika Mehnert, Technische Universität Bergakademie Freiberg; S. 16 unten: Pressestelle Hochschule Pforzheim; S. 17: Andre Bertram, CUTEC;
S. 24: Micheal Becken, Westfälischen Wilhelms-Universität Münster; S. 25: Carl-Dietrich Sattler, TU Clausthal; S. 42 oben: Andre Bertram, CUTEC; S. 42 unten: Andre Bertram, CUTEC;
S. 43: Klaus Stedingk, LABG; S. 58: Björn Holm, TU Clausthal; S. 59: Andre Bertram, CUTEC;
S. 86 oben und unten: Andre Bertram, CUTEC; S. 87: Andre Bertram, CUTEC; S. 102 oben und unten: Andre Bertram, CUTEC; S. 103: Andre Bertram, CUTEC

Bezug über

CUTEC Clausthaler Umwelttechnik Forschungszentrum der TU Clausthal
Leibnizstraße 23 · 38678 Clausthal-Zellerfeld
Tel. 05323 933-0 · E-Mail: r4@cutec.de

Druck

Oberharzer Druckerei
Fischer & Thielbar GmbH
Alte Fuhrherrenstraße 5
38678 Clausthal-Zellerfeld
OT Buntenbock

Stand

1. Auflage, Januar 2018

Ansprechpartner beim BMBF:

Dr. Helmut Löwe, Bundesministerium für Bildung und
Forschung (BMBF)
Referat 724 - Ressourcen und Nachhaltigkeit
53170 Bonn
Tel. 022899572110 · E-Mail: helmut.loewe@bmbf.bund.de

Ansprechpartnerin beim Projektträger:

Dr. Hannelore Katzke, Projektträgerschaft Ressourcen und
Nachhaltigkeit
Projektträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH
Zimmerstraße 26-27
10969 Berlin
Tel. 030 20199 3303 · E-Mail: h.katzke@fz-juelich.de