Rohstoffe aus Halden des Altbergbaus in Sachsen – Projekt ReMiningPlus zur umweltschonenden Wertstoffgewinnung aus Spülhalde

Dr. Jana Pinka, G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH, Freiberg, Deutschland

Im Rahmen des durch das BMBF geförderten Projekts „r³ – Strategische Metalle und Mineralien – Innovative Techologien für Ressourceneffizienz“ wurde in Sachsen ein Haldenkataster angelegt. Ziel der Untersuchungen ist die Versorgung der Wirtschaft mit strategisch relevanten Metallen und Mineralen aus Altbergbaubeständen wie Halden und Tailings. Beschrieben werden anhand eines ausgesuchten Beispiels die Vorgehensweise und vorhandene Potenziale.

Bergbau • Altbergbau • Halden • Tailings • Rohstoffe • Kritische Rohstoffe • Rohstoffsicherung

1 Motivation

Das Ressourcenpotenzial von Bergbaurückständen war in den vergangenen Jahren auf der Agenda mehrerer Förderprogramme und basiert auf den Ressourcenstrategien Europas, des Bunds, aber auch des Freistaats Sachsen [1, 2, 3]. Der Schwerpunkt verlagerte sich zunehmend auf die Erschließung neuer Quellen zur Gewinnung kritischer Rohstoffe, für die eine große Importabhängigkeit und ein hohes Versorgungsrisiko bestehen.

Eines der Förderprogramme war „r³ – Strategische Metalle und Mineralien – Innovative Technologien für Ressourceneffizienz“, welches durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wurde. Es wurde 2012 gestartet und hatte zum Ziel, die Versorgung der deutschen Wirtschaft mit strategisch relevanten Metallen und Mineralen zu sichern. Innerhalb der thematischen Cluster Recycling, Substitution und Einsparung, Urban Mining sowie Bewertung und Transfer wurden zahlreiche Projekte gefördert, so auch das Projekt „SMSB – Gewinnung strategischer Metalle und Minerale aus sächsischen Bergbauhalden“ (**Bild 1**). Das Projekt hatte zum Ziel, die zwanzig größten Bergbauhalden in Sachsen zu erfassen und in einem Sächsischen Haldenkataster zusammenzufassen. Im Projekt ReMiningPlus soll eine Anlage zur Wertstoffgewinnung aus einer konkreten Spülhalde entwickelt werden.

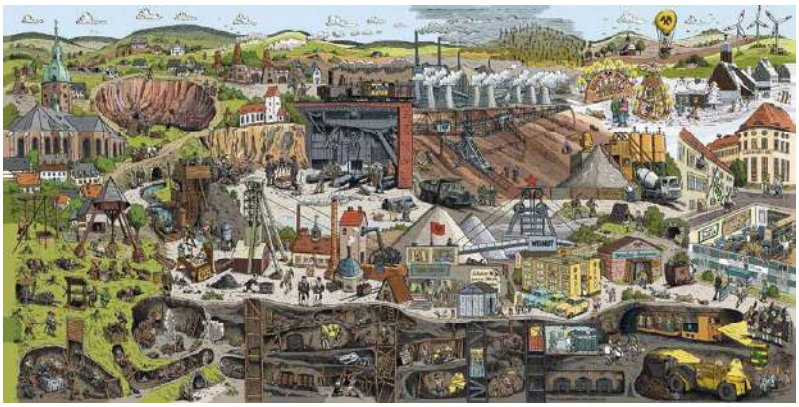

Bild 1: Bild aus Wanderausstellung „Sachsen hebt seine Schätze“
Quelle: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)

2 Haldentypen im Bergbau

Im Bergbau ist eine Halde als ein künstlich aufgeworfener Hügel definiert, der entweder aus dem gewonnenen Rohstoff oder dem wertlosen, tauben Gestein besteht. Eine Bergbauhalde entsteht daher immer infolge bergbaulicher Tätigkeit beim Abbau von Rohstoffen [4]. Da in der Literatur Halden jedoch unterschiedlich benannt werden, wurden im Rahmen des SMSB-Projekts innerhalb des r³-Haldenclusters die drei nachfolgend genannten Haldentypen definiert (**Bild 2**):

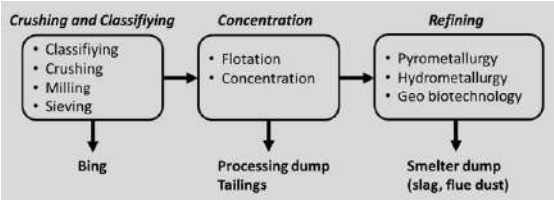

Bild 2: Schematische Darstellung der Prozessschritte zur Erzaufbereitung und resultierenden Halden [5]

- **Bergehalden/Bing:** Unter Bergehalden wird die Anhäufung tauben Gesteins verstanden, welches durch die bergbauliche Tätigkeit aus dem Erdboden entnommen werden muss, um den eigentlichen Erzkörper zu erreichen und abzubauen. Bergematerial enthält wenig bis keine relevanten Wertstoffe und ist daher aus rohstofflicher Sicht nicht relevant. Diese Halden bestehen meist aus grobem Gestein und enthalten mitunter mehrere Millionen Tonnen Material, weshalb sie volumenmäßig die größten Haldenkörper bilden.
- **Aufbereitungshalden/Processing dump tailings:** Aufbereitungshalden bestehen aus den Reststoffen von Aufbereitungsprozessen wie beispielsweise der Flotation oder auch aus der mechanischen Aufbereitung wie z. B. der Magnetscheidung. Halden, die aus Flotationsrückständen bestehen, werden als Spülhalden bezeichnet, da die Suspension aus dem Flotationsprozess direkt auf die Halde gespült wur-

de. Das Material der Aufbereitungshalden besteht vorwiegend aus Sanden und Feinsanden. Da es sich um Rückstände aus der Gewinnung von Primärerzen handelt, ist der Wertstoffgehalt höher als bei Material aus Bergehalden. Der Wertstoffgehalt des Materials ist abhängig von der Effektivität des Aufbereitungsprozesses. Je effektiver der Aufbereitungsprozess ist, umso geringer ist der Wertstoffgehalt des Reststoffs. Da die Wertstoffe mit früher verwendeten Technologien nicht vollständig aus den Erzen gewonnen werden konnten, ist das Wertstoffpotenzial hoch. In Sachsen gibt es an ehemaligen Aufbereitungsstandorten der DDR große Haldenkörper mit vergleichbarer Dimension wie Bergehalden. Diese Halden weisen das größte Potenzial der Wertstoffgewinnung in Sachsen auf.

- **Hüttenhalden/Smelter dump:** Hüttenhalden oder Schlackenhalden enthalten die Reste aus dem Verhüttungsprozess von Metall- bzw. Erzkonzentraten und befinden sich in der Nähe von ehemaligen Hüttenstandorten. Prozessbedingt weisen sie ebenfalls ein großes Wertstoffpotenzial auf, spielen jedoch für Sachsen eine untergeordnete Rolle. Insbesondere im Raum Freiberg wurde in früheren Zeiten das Schlackenmaterial als Baumaterial eingesetzt, weshalb es sachsenweit nur kleine Schlackenhalden gibt [6, 7].

3 Übersicht von Haldenstandorten und Analysen ihres Wertstoffpotenzials

3.1 Recherche für Übersicht von Halden mit großem Wertstoffpotenzial

Im Ergebnis einer intensiven Recherche (Literatur, historisches Wissen und Archive) wurde eine detaillierte Übersicht der Bergbauhalden erstellt, die hinsichtlich des Re-Minings das größte Potenzial aufweisen. Die Übersicht enthält folgende Informationen: Haldentyp, Lage, Fläche, Volumen, abgebauter Rohstoff, geologische Einordnung, Aufbereitungstechnologie, abgelagerte Materialien, Mineralienbestand.

3.2 Vorerkundung ausgewählter Halden

Für eine Vorerkundung wurden vier Halden anhand der folgenden relevanten Kriterien ausgewählt:

- Gute Zugänglichkeit
- Zustimmung durch den Besitzer
- Hohes zu erwartendes Wertstoffpotenzial
- Größe der Halde
- Geringe Radioaktivität

Die Vorerkundung bestand aus einer Bohrung mit anschließender Analyse von zwei Kernabschnitten hinsichtlich der chemischen und mineralogischen Zusammensetzung. Hieraus konnte geschlussfolgert werden, wie der Haldenkörper in Abhängigkeit von der Korngröße zusammengesetzt ist. Basierend auf den Analysenergebnissen wurde final das Ressourcenpotenzial der Halden vorläufig bewertet.

3.3 Exemplarische Detailuntersuchung mit innovativer Modellierung

Die zwei Halden mit dem größten Wertstoffpotenzial wurden anschließend für eine Detailuntersuchung ausgewählt. Dazu zählt die Davidschachthalde in Freiberg. Für die Detailuntersuchung wurden weitere neun Bohrungen bis zum Grund der Halde abgeteuft. Es wurden etwa hundert Proben (jeweils repräsentativ für 2 m Kernintervall) aus den insgesamt zehn Bohrkernen entnommen und hinsichtlich ihrer chemischen und mineralogischen Zusammensetzung detailliert analysiert. Nachfolgend wird das Untersuchungsprogramm kurz erläutert, um die Komplexität darzustellen.

Vor der Analyse musste das Material getrocknet werden. Da es sich bei der Davidschachthalde um sulfidisches Material handelt, war eine Gefriertrocknung notwendig, um die Oxidation der Sulfide zu Sulfat zu unterbinden. Das Analysenprogramm umfasste zahlreiche Methoden, wie:

- Mineralogische Analytik (Röntgenpulverdiffraktometrie / x-ray powder diffractometry; Mineral Liberation Analysis, MLA)
- Chemische Analytik (WD-RFA/ WD-XRF spectroscopy (Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence spectroscopy) und Elementaranalyse (C, N, S) an Probenpulvern sowie ICP-MS nach Schmelzaufschluss)
- Korngrößenverteilung (Lasergranulometrie)
- Probenvorbereitung (Deagglomeration, Probenteilung)

Das umfangreiche Analysenprogramm diente dazu, das Rohstoffpotenzial der beiden ausgewählten Halden zu ermitteln. Zusätzlich sollten möglichst effiziente und wirtschaftliche Aufbereitungsmethoden für strategische Metalle entwickelt werden. Es wurden weitere Versuche zur chemischen und biologischen Laugung durchgeführt, um zu ermitteln, wie sich die Metallionen effizient in Lösung bringen lassen. Mithilfe der nachgeschalteten Metallurgie wurden die gewonnenen Konzentrate weiter untersucht. Die Analysenergebnisse wurden im Anschluss mit einem digitalen Geländemodell und historischen Karten kombiniert, sodass ein 3D-Modell des Haldenkörpers erstellt werden konnte. Hierfür wurde die Halde auch mit Drohnen überflogen und vermessen. Dem Modell liegen zusätzlich Daten zur Korngrößenverteilung, Mineralverteilung, Liberation und Konzentrationsverteilung zugrunde. **Bild 3** zeigt das 3D-Modell der Davidschachthalde für die Verteilung von Zinksulfid im Haldenkörper.

Das wesentliche Ziel der Modellierung des Haldenkörpers war, die Aufbereitbarkeit einzelner Zielminerale zu visualisieren und zu quantifizieren. Anhand der gemessenen Partikeleigenschaften und deren Inter-

polation über den gesamten Haldenkörper wurde eine realistische Abschätzung möglich, welche Mengen der verbliebenen Wertstoffe (und Schadstoffe) tatsächlich mit den derzeit zur Verfügung stehenden Technologien extrahiert werden können. Auch die Verteilung der gut zu extrahierenden Wertminerale in der Halde konnte dadurch visualisiert und in Rückbaukonzepten berücksichtigt werden. Die Methode basiert auf charakteristischen physikalischen und chemischen Eigenschaften, die hinsichtlich der Aufbereitungsmöglichkeiten relevant sind. Sie liefert ein realistischeres Bild über die tatsächliche Gewinnbarkeit als bisherige Methoden. Diese berücksichtigen meist nur Volumen und Wertstoffgehalte von Halden und errechnen daraus ein theoretisches, auf eine homogene Zusammensetzung ausgelegtes Wertstoffpotenzial, welches sich aber in der Realität aufgrund technischer Limitierungen nicht erschließen lässt. In das neuartige interpolierte Modell flossen die prozessrelevanten Eigenschaften gleichzeitig und gewichtet ein. Damit wurde deutlich, inwieweit die wertstoffreichen Partikel für eine Aufbereitungstechnologie greifbar sind. Die Potenziale der Halden wurden mit dem neuartigen Modell realistisch einschätzbar und ließen Rückschlüsse auf eine ökonomische und technologische Realisierbarkeit zu.

3.4 Erstellung eines Katasters relevanter Bergbauhalden in Sachsen

Aus den Ergebnissen des Projekts SMSB wurde ein Kataster der zwanzig relevantesten sächsischen Bergbauhalden erstellt. Diese Informationen wurden mit denen zweier anderer r^3-Projekte kombiniert. Hieraus wurde ein gemeinsames (r^3-)Ressourcenkataster erstellt, welches 460 Haldenstandorte umfasst (Stand Januar 2018). Die Erkenntnisse, die während der Projektphase hinsichtlich der Methoden zur Charakterisierung, Erkundung und Aufbereitung der Halden gewonnen wurden, wurden in einem gemeinsamen Methodenhandbuch zusammengefasst und veröffentlicht [8].

3.5 Weitergabe für deutsches Haldenressourcenkataster

Die Daten des r^3-Ressourcenkatasters wurden nach Projektende an die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) übergeben, um auf dieser Basis ein zentrales deutschlandweites Haldenressourcenkataster aufzubauen. Das Haldenkataster wurde mit weiteren verfügbaren Daten zu metallhaltigen mineralischen Reststoffen aus ehemaligen Bergbauaktivitäten ergänzt, inklusive Uranhalden und unter Bergaufsicht stehender Halden. Für die deutschlandweite Datenerhebung wurde eine umfangreiche Recherche durchgeführt. Das Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik und das Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HZDR-HIF) haben im Auftrag des BGR am Ausbau des Haldenkatasters gearbeitet [9]. Hierzu wurden die zuständigen Behörden der

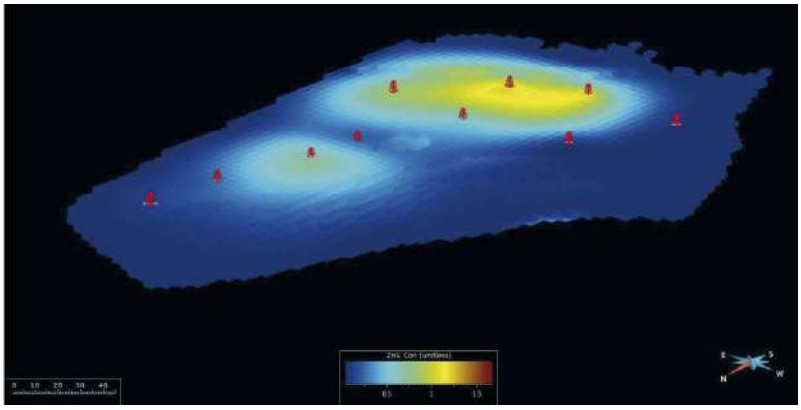

Bild 3: 3D-Modell der Davidschachthalde in Freiberg mit Verteilung von Zinksulfid im Haldenkörper [7]

Bundesländer und Kommunen befragt. Zur Ermittlung von Referenzdaten über Halden wurde verschiedenes Kartenmaterial ausgewertet (bundesweit, landesweit und kommunal). Die Recherche wurde durch Sichtung von Archivmaterial ergänzt. Das macht die Komplexität dieser Aufgabe und auch die damit verbundenen Herausforderungen deutlich, denn die ermittelten Daten sind von sehr unterschiedlicher Qualität und Quantität. Zusätzlich müssen die Geodaten einheitlich beschrieben werden, wofür ein einheitliches Datenformat zu wählen ist. Die erhobenen Daten wurden als GIS-Daten gespeichert, gemäß der INSPIRE-Richtlinie [10] aufbereitet und in einer Datenbank gespeichert. Nach der Datenrecherche und Datenaufbereitung wurden in Deutschland 2.377 Haldenstandorte identifiziert und mit weiteren Fachinformationen hinterlegt [8].

4 Projekt ReMiningPlus zur Hebung des Rohstoffpotenzials mit neuen Technologien

4.1 Hintergrund

Mit dem Verfahren der Biolaugung hat sich in den letzten Jahrzehnten eine Technologie etabliert, die auf der biologischen Umwandlung einer unlöslichen Metallverbindung in eine wasserlösliche Form beruht. Im Zusammenhang mit der Biolaugung von Metallsulfiden werden durch die Aktivität von aeroben, acidophilen Fe(II)-oxidierenden Bakterien die Metallsulfide zu Metallionen und Sulfat oxidiert. Auch Schwefeloxidierer können an dieser Reaktion beteiligt sein [11].

Bereits im Altertum und Mittelalter wurde erkannt, dass aus Halden durch die Einwirkung von Luft und Niederschlag Metalle freigesetzt werden. Ein Verfahren, das z. B. Georgius Agricola in seinem Werk „de re metallica“ beschreibt [12] (**Bild 4**). Dies ist ein erster Hinweis auf eine Technik, die heute zur Behandlung von Kupfererzen mit einem geringen Metallgehalt oder von Bergwerksabraum weltweit angewendet wird, die sogenannte Haufen-Laugung (heap leaching).

Die Erkenntnis, dass vor allem Mikroorganismen an den Freisetzungsmechanismen beteiligt sind, erfolgte

Bild 4: Erzlaugung - Der Bergmann bringt das Erz vom Stollen zum Sammelbehälter (Agricola, 1556)

erst im 20. Jahrhundert [13, 14, 15]. 1958 wurde nach einer Reihe von Nachweisen zur Bedeutung von Mikroorganismen bei der Kupfermobilisierung aus kupferhaltigen Erzen ein erstes Patent durch das Bergbauunternehmen Kennecott Copper Corporation angemeldet. Das führte dazu, dass Anfang der 1960er-Jahre die erste kommerzielle Haldenlaugung in Betrieb genommen wurde [16]. Haldenlaugungen sind heute Stand der Technik für Armerze mit einem primär geringen Metallgehalt.

Für Bergematerialien oder Tailings sind nur wenige im industriellen Maßstab umgesetzte Projekte bekannt. In Kasese in Uganda wurde beispielsweise im Jahr 2000 aufgehaldetes Pyritkonzentrat mit einer signifikanten Kobaltkonzentration von 1,7 % erneut geborgen und in belüfteten Rührreaktoren in Tanks gelaugt [17].

Das Förderprogramm „WIR! – Wandel durch Innovationen in der Region“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung fördert das Verbundprojekt „recomine – Ressourcenorientierte Umwelttechnologien für das 21. Jahrhundert“. Im Rahmen dieses Vorhabens soll das Erzgebirge zu einer Modellregion für den zukunftsorientierten Umgang mit Reststoffen aus dem Bergbau werden. Das Projekt ReMiningPlus wird seit 2021 über drei Jahre genau zu dieser Absicht gefördert. Als Standort wurde die im **Abschnitt 4.2** näher beschriebene Spülhalde Davidschacht im Freiberger Revier ausgewählt. Vorausgegangen waren bereits umfangreiche Arbeiten (z. B. Ecometals 2014-2018 [18], SMSB, 2013-2016, [19]; ReMining, 2017-2021, [20]) zum Rohstoffpotenzial des Inventars und die Entwicklung von Modulen zu dessen Aufarbeitung.

Tabelle 1: Mineralparagenesen der Mineralisationszyklen [24]

Zyklus	Formation	Abfolge	Erze	Gangart
Erster Mineralisationszyklus	kiesig-blendige Bleierzformation (kb-Formation)	kiesige (pyritische) Abfolge	Pyrit, Arsenopyrit, Markasit, Galenit, Spuren von gediegen Gold	Quarz
		Zn-Sn-Cu-Abfolge	Sphalerit, Chalkopyrit	Quarz
		Pb-Abfolge	Galenit (Ag-haltig)	Quarz
	edle Braunspatformation (eb-Formation)	Uran-Quarz-Abfolge	Hämatit, Uranpechblende	Quarz, Karbonspäte, Fluorit
		sulfidische Abfolge	Ag-haltiger Sphalerit, Galenit, Pyrit, Markasit	Braunspäte
		Ag-Abfolge	Silbererze und gediegen Silber	Karbonspäte
Zweiter Mineralisationszyklus	eba-Formation, nur untergeordnet	Eisen-Baryt-Abfolge		Quarz (Varietät Achat, Amethyst), Baryt
	Fluorbarytische Bleierzformation (fba-Formation)	Hartes Trum (Baryt-Quarz-Abfolge)	Chalkopyrit, Pyrit, gering Silbererze	
		Weiches Trum (Hauptfluorid- und Kalkbaryt- Abfolge		
	Bi-Co-Ni-Ag-Formation	Arsendisische Abfolge (selten)	gediegen Arsen, gediegen Wismut	Quarz, Fluorit, Baryt
	(„Edle Geschicke“, an Gangkreuzen)	Silber-Sulfid-Abfolge	Silbererze, ged. Silber	Karbonspäte, Quarz

4.2 Entwicklungsstandort Davidschachthalde

4.2.1 Freiberger Revier

Im Freiberger Revier wurde seit dem 12. Jahrhundert bis in das letzte Drittel des 20. Jahrhunderts Bergbau betrieben und eine polymetallische Ag-Pb-Zn-Ganglagerstätte bis zur Stilllegung im Jahr 1969 hauptsächlich auf Silber, Blei und Zink abgebaut [21, 22].

Der Freiberger Lagerstättenbezirk befindet sich im nordöstlichen Teil des Erzgebirges. Der Bereich um Freiberg besteht aus grauem Orthogneis, der so genannten Freiberger Gneiskuppel. Dabei handelt es sich um einen mittel- bis grobkristallinen Biotit-Zweifeldspat-Gneis. Edukte dieses Gneises waren im Jungproterozoikum intrudierte magmatische Gesteine mit granodioritischer Zusammensetzung. Metamorphose und damit tektonische Überprägung erfolgten im Zusammenhang mit der variszischen Orogenese im Unterkarbon sowie der alpidischen Orogenese in der Kreide [23].

Im gesamten Freiberger Lagerstättenbezirk sind ca. 1.100 Erzgänge nachgewiesen. Sie können zwei tektonisch und zeitlich unterschiedlich entstandenen Scherspaltensystemen zugeordnet werden, die ihre Entstehung dem tektonischen Inventar der variszischen Orogenese (1. Mineralisationszyklus, 1. Bruchsystem) bzw. der alpidischen Orogenese (2. Mineralisationszyklus, 2. Bruchsystem) verdanken [24]. Bedeutende Formationen, Erze und Mineralien sind in **Tabelle 1** dargestellt.

4.2.2 Halden im Davidschachtkomplex

Als Hinterlassenschaft des Erzbergbaus entstanden zahlreiche Abraumhalden, unter anderem am Erzaufbereitungsstandort Davidschachtkomplex. Der Davidschachtkomplex selbst stellt einen Haldenzug dar, der aus drei Teilbereichen besteht: die Grobbergehalde mit den Tagesanlagen des Davidschachts sowie zwei Spülhalden – im Norden die Spülhalde Davidschacht und im Süden die Spülhalde Hammerberg (**Bild 5**). Die Spülhalden sind das Ergebnis der letzten Bergbauperiode von 1937 bis 1969, als wertmetallärmere Erze durch Flotationsverfahren aufbereitet und die Aufbereitungsrückstände (Tailings) dort verwahrt wurden (**Tabelle 2**). Von 1951 bis 1964 wurden in das Spülbecken der Spülhalde Davidschacht im Regelbetrieb jährlich ca. 50.000 bis 70.000 m³ Flotationsrückstände eingespült. Nach Erreichen des maximalen Einspülvolumens im Jahre 1964 wurde zur Aufrechterhaltung des Spülbetriebs eine neue Spülhalde errichtet, die Spülhalde Hammerberg. Diese ging 1964 in Betrieb und wurde bis 1969 genutzt.

4.2.3 Spülhalde Davidschacht

Nachfolgend wird näher auf die Spülhalde Davidschacht eingegangen. Sie wurde von 1951 bis 1964 betrieben. Nach [23] wurde die Spülhalde „Am Davidschacht“ in der nördlichen Verlängerung der Grobbergehalde des Davidschachts angelegt (**Bild 6**). Der östliche Damm besteht dabei aus Grobbergematerial, wobei sich bei der Verkippung des Bergematerials ein natürlicher Böschungswinkel von 40° ausbildete, der sehr steil ist und daher als nur bedingt standsicher gilt. Die westliche Böschung besteht nur in ihrem basalen Teil aus einem Pionierdamm mit Grobbergematerial. Darüber wurde mit fortschreitender Einspülung alle 4 Höhenmeter eine Berme aus Spülsanden aufgebracht, sodass im Endzustand drei Bermen mit einer Breite von 3 bis 4 m entstanden sind. Ihre Böschungsneigungen betragen durchschnittlich 30 bis 35°. Vor der Ostböschung der Halde liegt im davor befindlichen Talbereich ein Nachklär- und Regenauffangbecken. Die ursprüngliche Höhe der Spülbeckensohle lag bei minimal 385 m NN, die genehmigte Höhe nach Spülende lag zunächst bei 415 m NN (1963 erreicht).

Hauptbestandteil sind feinkörnige Flotationsabgänge mit Quarz, Feldspat und Schichtsilikaten als Hauptbestandteilen und den Sulfiden Pyrit, Arsenopyrit, Sphalerit und Galenit als Nebenbestandteilen [27].

Da die Flotationsanlagen während des Betriebs der Absetzbecken lediglich Metallausbeuten aus dem Erz von 60 bis 80 % erreichten, enthalten die Spülsande etwa 0,5 bis 1,5 % Zink und 0,3 bis 1,0 % Blei sowie Arsen und Kadmium [28]. Aufgrund des Indiumgehalts von bis zu 3.800 ppm im Sphalerit der Freiberger Lagerstätte enthalten die Tailings etwa 5 bis 70 ppm Indium. Das Indium substituiert Zink, sodass man entsprechend **Tabelle 2** von etwa 31 t Indium in der Davidschachtspülhalde ausgeht [29].

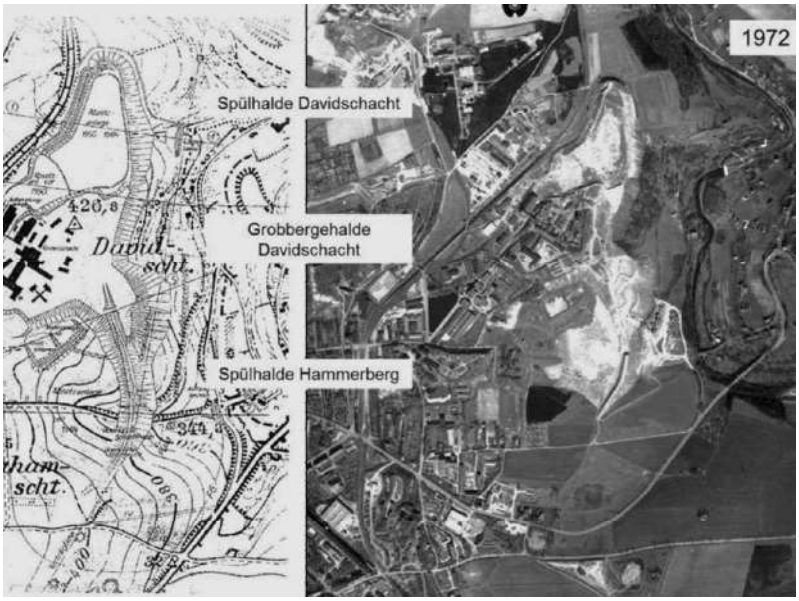

Bild 5: Risskarte (Bergschadenkundliche Analyse) und Luftbild
Bild: Archiv SAXONIA

Tabelle 2: Kenndaten der Flotationsabsetzbecken „Davidschacht“ und „Hammerberg“ im zentralen Freiberger Bergbaugebiet [25]

Absetzbecken	Fläche [m²]	Volumen [m³]	Elementgehalt [% w/w]
Davidschacht	63.000	760.000	0,2 – 0,5 Pb 0,6 – 1,2 Zn
Hammerberg	50.000	330.000	0,2 – 0,5 Pb 0,6 – 1,2 Zn

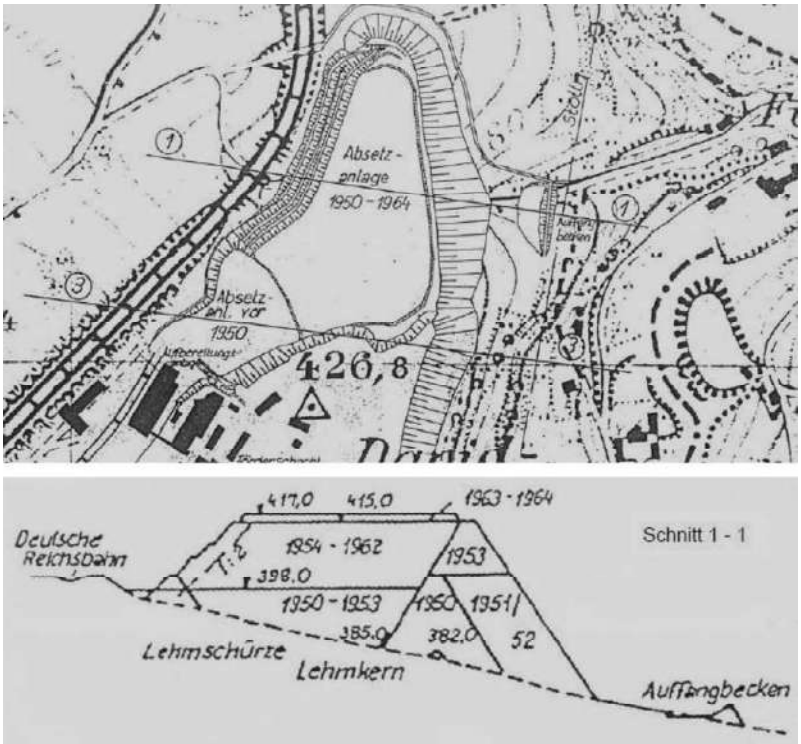

Bild 6: Lageplan und Schnitt der Spülhalde Davidschacht [26]

Nach der endgültigen Einstellung des Spülbetriebs erfolgte keine gezielte Oberflächenabdichtung der Spülhalde. Es wurden lediglich Maßnahmen der Geländeregulierung durchgeführt und Abdeckmaterial (Bauschutt, Erdaushub, Kohlereste) unterschiedlicher Herkunft aufgetragen. Rekultivierungsmaßnahmen, die nach Beendigung des Bergbaus durchgeführt worden sind, waren aufgrund der sehr niedrigen pH-Werte weniger erfolgreich. Dennoch ist das Plateau der Spülhalde durch das Fortschreiten der natürlichen Sukzession wieder bewachsen, sodass sich unter den extremen Standortbedingungen (hohen Schwermetallgehalten und niedrigen pH-Werten) einzigartige Biotope entwickelt und seltene Arten angesiedelt haben.

Bild 7: Projektidee (vereinfacht) ReMiningPlus

Bild 8: Prozesstechnik des Biolaugungsmoduls in Seecontainern zur Gewinnung von Wertmetallen aus Lösungen – links Außenansicht, rechts Biolaugungsreaktor

Bild 9: Prozesstechnik des Wertstoffmoduls in Seecontainern zur Gewinnung von Wertmetallen aus Lösungen – links Außenansicht, Mitte Solvent Extraktion, rechts Elektrolyse

Bild 10: Errichtung einer Containeranlage auf der Davidschachtspülhalde

4.2.4 Projektidee

Die Projektidee ist vereinfacht im **Bild 7** dargestellt. Die Davidschachtspülsande werden aufgenommen, mithilfe neuer Flotationsmittel aufkonzentriert und durch eisen- und schwefeloxidierende Mikroorganismen ausgelaugt. Die Auslaugungslösung wird vom Auslaugungsrückstand getrennt und beide werden weiterverarbeitet.

Dafür sollen die aus den Vorgängerprojekten existierenden Module zusammengefügt und ergänzt werden. Die Fotos zeigen das Biolaugungsmodul (**Bild 8**) sowie das Wertstoffmodul (**Bild 9**). In ReMiningPlus wird die bestehende Anlage durch ein Umweltmodul ergänzt und damit der Stoffkreislauf geschlossen. Innerhalb der Prozesskette ist das Umweltmodul dem Wertstoffmodul nachgeschaltet und dient der finalen Schadstoffeliminierung aus der Prozesslösung. Das Besondere an der Anlage ist die Anordnung in Seecontainern. Diese Pilotanlage ist damit semi-mobil und kann für vergleichbare Aufgabenstellungen an anderen Standorten verwendet werden (**Bild 10**).

Während des gesamten Prozesses fallen feste Rückstände und flüssige Stoffströme an. Im Sinne der Kreislaufführung und Ressourceneffizienz ist das primäre Ziel, so wenig wie möglich oder bestenfalls keine Abfälle zu generieren, sondern Verwertungswege sowohl für die festen als auch für die flüssigen Rückstände aufzuzeigen. So soll beispielsweise das Prozesswasser aus dem Umweltmodul wieder für die Biolaugung, also am Beginn der Prozesskette, verwendet werden. Weiterhin sollen die Rückstände aus der Biolaugung hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit in der Baustoffindustrie untersucht werden. Die Besonderheit von ReMiningPlus ist der ganzheitliche Ansatz der Wertmetallgewinnung, Schadstoffimmobilisierung und Umweltsanierung am Standort der Davidschachthalde, der dem internationalen Bestreben für ein kontrolliertes Tailingsmanagement entspricht.

Mithilfe einer Software wird die Technologie modellhaft nachgebildet und mit den Versuchsdaten evaluiert. Das Ziel ist es, mit vergleichbarem Material Modellrechnungen durchzuführen und abzuwägen, inwieweit die nochmalige Behandlung eines Bergbaurückstands durch geobiotechnologische Methoden wirtschaftlich ist.

Begleitet wird das Projekt durch eine Öffentlichkeitsarbeit zur Stärkung des Rohstoffbewusstseins der Bevölkerung. Rohstoffinformationen sollen zum Beispiel in Umweltbildungsveranstaltungen in verständlicher

Sprache für die breite Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden, im Sinne einer Bildung für nachhaltige Entwicklung. Ziel dabei ist, das Rohstoffbewusstsein der Bevölkerung zu stärken und auf das Potenzial von innovativer heimischer Rohstoffgewinnung aus alten Bergbauhalden aufmerksam zu machen. Der Konzeption von Umweltbildungsveranstaltungen zum Themenkomplex „Bergbau und Rohstoffe" folgt eine Erprobung der Angebote face-to-face durch Online-Befragungen und Interviews. Zudem sollen zwei Infotafeln am Projektstandort über die Projektergebnisse aufklären. Um das Verständnis für Prozesse der Rohstoffgewinnung zu fördern, kann die Verfahrensanlage als Demonstrationsanlage am Standort dienen. Ergänzend dazu sollen eine App oder eine Website zu bergbaurelevanten Themen informieren.

5 Ausblick

Das Thema Rohstoffe und deren Gewinnung birgt ein großes Konfliktpotenzial mit einer einhergehenden hohen Emotionalität, beispielsweise in Bezug auf die Folgen des Rohstoffabbaus [30]. In den letzten Jahren ist aber auch deutlich geworden, dass es eines Hinwirkens auf ein ideologiefreies auf Wissen und nicht auf Ängsten beruhenden gesellschaftlichen Rohstoffbewusstseins bedarf.

Der NIMBY-Effekt (engl. für: „not in my backyard") ist auch hier festzustellen. Bergbau als notwendiger Industriezweig für die Erhaltung des Wohlstands wird zwar akzeptiert, aber nicht in unmittelbarer Nähe der eigenen Wohnumgebung [31]. Die Importabhängigkeit Deutschlands von Rohstoffen oder die unheilvollen Arbeits- und Umweltbedingungen in Drittländern werden erst nach und nach allgemein bekannt. Gesetzlich wird der Nachweis von Lieferketten gefordert. Auch wenn Deutschland kein Land mit großen primären Ressourcen an strategischen Rohstoffen ist, kann es sich daher lohnen zu prüfen, ob die Bergbaurückstände aus früherem Bergbau Potenzial für die Gegenwart und Zukunft aufweisen.

6 Danksagung

Mein Dank geht an die Kolleginnen und Kollegen der beteiligten Projektpartner und meine Kollegen der G.E.O.S Ingenieurgesellschaft:

- Dr. Arite Werner und Philipp Büttner – Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie
- Sabine Meißner – SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungs mbH
- Ronja Puschmann und Eva Pretzsch – GEOPARK Sachsens Mitte e. V.
- Jörg Döring – Kaden & Döring OHG
- Dr. Frank Haubrich und Sebastian Braune - G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH

Das Projekt „Anlage zur Wertstoffgewinnung aus sulfidischen Spülhalden und deren umweltgerechte Sanierung (ReMiningPlus)" wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. WIR! – Wandel durch Innovation in der Region.

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung

7 Quellenverzeichnis

[1] European Commission (2020): Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the regions.
Online: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0474&from=EN

[2] Regierung BRD (2020): Rohstoffstrategie der Bundesregierung. Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nichtenergetischen mineralischen Rohstoffen. Erste Fassung 2010. Überarbeitete Fassung 2020. 40 S.

[3] Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr Rohstoffe schaffen (2022): Zukunft – Neue Sächsische Rohstoffstrategie. Dresden, 70 S.

[4] Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch den Bundesminister der Justiz (1980): Anordnung über Halden und Restlöcher (RlAnO).

[5] DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e. V. (2013): Geobiotechnologie: Stand und Perspektiven. Ein Statuspapier des Temporären Arbeitskreises Geobiotechnologie in der DECHEMA e. V., Frankfurt am Main.

[6] Büttner, P.; Gutzmer, J. (2016): Re-Mining – Gewinnung strategischer Metalle und anderer Mineralien aus sächsischen Bergbauhalden. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. – Mineralische Nebenprodukte und Abfälle, Band 3, Berlin: TK Verlag.

[7] Büttner, P.; Osbahr, I.; Gutzmer, J. (2016): SMSB – Gewinnung strategischer Metalle und Mineralien aus sächsischen Bergbauhalden. Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Strategische Metalle und Mineralien. In: Dürkopp, A., Brandstetter, C. P., Gräbe, G., Rentsch, L. (Hrsg.) Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Strategische Metalle und Mineralien. Ergebnisse der r^3-Fördermaßnahme. Fraunhofer Verlag.

[8] Nühlen, J.; Büttner, P. (2022): Erstellung eines deutschlandweiten Haldenressourcenkatasters, Berichte zur Lagerstätten- und Rohstoffforschung, Hannover, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.

[9] Büttner, P.; Nühlen, J.; Kuhn, K. (2022): Mining, Processing and Smelter dumps – Handbook for Exploration and Recovery of Secondary raw material deposits. HIF –UMSICHT - BGR: Freiberg, Oberhausen, Hannover, 76 p.
Online: https://doi.org/10.24406/umsicht-n-645892

[10] INSPIRE (2007): Richtlinie 2007/2/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. März 2007 zur Schaffung einer Geodateninfrastruktur in der Europäischen Gemeinschaft.

[11] Schippers, A. (2007): Microorganisms involved in bioleaching and nucleic acid-based molecular methods for their identification and quantification. In: Edgardo R. Donati; Wolfgang Sand (Hrsg.): Microbial Processing of Metal Sulfides: Springer, S. 3–34.

[12] Agricola, G. (1556); De re metallica libri XII (Vom Bergkwerck XII Bücher).

[13] Rudolfs, W.; Helbrunner, A. (1922): Oxidation of zinc sulfide by microorganisms. Soil Sci. 14, 459–464.

[14] Colmer, A. R.; Hinkle, M. E. (1947): The role of microorganisms in acid mine drainage – a preliminary report. Science 106, 253–256.

[15] Colmer, A. R.; Hinkle, M. E. (1950): An iron-oxidizing bacterium from the drainage of some bituminous coal mines. J. Bacteriol., 1950, 59, 317–328.

[16] Kennecott Copper Corporation (1958): Patent zu Haufenlaugungsverfahren für minderwertige sulfidische Erze und Erzabfälle – nach dem Beweis in den Gruben Bingham, Utah und El Chino, New Mexico, dass Thiobacilli Kupfer aus dem Erz freisetzen können.

[17] Morin, D. H. R.; d'Hugues, P. (2007): Bioleaching of a Cobalt-Containing Pyrite in Stirred Reactors: a Case Study from Laboratory Scale to Industrial Application. In: Biomining. Springer-Verlag. 2007. 324 Seiten, 72 Abbildungen, 37 Tabellen. Edt. Rawlings, D., Johnson, B.

[18] EcoMetals (2014-2018): Innovative umweltschonende Prozesse für die Gewinnung strategischer und seltener Metalle aus primären und sekundären Ressourcen, Projektkoordination: Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf.

[19] SMSB (2013-2016): Gewinnung strategischer Metalle und Mineralien aus sächsischen Bergbauhalden. r^3 -Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Strategische Metalle und Mineralien", Projektkoordination: Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf.

[20] ReMining (2017-2021): Anlage zur Wertstoffgewinnung aus sulfidischen Spülhalden und deren umweltgerechte Sanierung. r+-Impuls – Impulse für industrielle Ressourceneffizienz, Projektkoordination: G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH.

[21] Baumann, L. (1958): Tectonics and Genesis of the Ore Deposit of Freiberg. Akademie Verlag, Berlin (Germany).

[22] Seifert, T.; Sandmann, D. (2006): Mineralogy and geochemistry of indium-bearing polymetallic vein-typ deposits: implications for host minerals from the Freiberg district, Eastern Erzgebirge, Germany. Ore Geol. Rev., 1–31.

[23] Fritz, E.; Jahns, C. (2017): Die Spülhalde Davidschacht in Freiberg – Geschichte, Umweltproblematik und geplante Sanierung. Freiberg Ecology online 2 (2017): 4-17 [ISSN 2366-9551].

[24] Fritze, C. (2000): Entwicklungskonzept Gewerbegebiet „Am Davidschacht" Freiberg. Bericht an SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mbH, unveröffentlicht.

[25] Jobst, W.; Rentzsch, W.; Schubert, W.; Trachbrod, K. (1993): Mine Workings in the Freiberg District. Technical University of Freiberg, Freiberg (in German).

[26] IBUR (Ingenieurbüro für Baugrund, Umwelt, Rohstoffe GmbH) (1995): Historische Erkundung Davidschacht. Bericht an SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mbH, unveröffentlicht.

[27] Graupner, T.; Kassahun, A.; Rammlmair, D.; Meima, J. A.; Kock, D.; Furche, M. (2007): Formation of sequences of cemented layers and hardpans within sulfide-bearing mine tailings (mine district Freiberg, Germany). Appl. Geochem. 22(11), 2486–2508.

[28] G.E.O.S. Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH (1993): Gefährdungsabschätzung Spülhalde Davidschacht. Bericht an SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mbH, unveröffentlicht.

[29] Martin, M.; Janneck, E.; Kermer, R.; Patzig, A.; Reichel, S. (2014): Recovery of indium from sphalerite ore and flotation tailings by bioleaching and subsequent precipitation processes. Minerals Engineering 75 (2015), 94–99.

[30] Artukovic, A.; Aschenbrand, E.; Weber, F. (2017): Der Stein des Anstoßes – Konflikte um die Rohstoffgewinnung zwischen Wirtschaft, Gesellschaft und Planung: Zwischenergebnisse eines praxisbezogenen Forschungsvorhabens. In: Naturschutz und Landschaftsplanung 49 (11).

[31] Benighaus, C., et al. (2018); Broad overview reputation of mining and exploration. INFACT Deliverable D2.3.

Dr. Jana Pinka

studierte Mineralogie und Geochemie an der TU Freiberg, an der sie auch in Chemie promoviert wurde. Sie ist Projektkoordinatorin bei der G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH, Freiberg, Deutschland.

Kontakt: j.pinka@geosfreiberg.de