

# Re-Mining – Gewinnung strategischer Metalle und anderer Mineralien aus sächsischen Bergbauhalden

Philipp Büttner und Jens Gutzmer

1.	Warum Haldenrückbau? .....	385
2.	Halde ≠ Halde.....	386
2.1.	Bergehalden .....	386
2.2.	Aufbereitungshalden.....	386
2.3.	Hüttenhalden.....	387
3.	Haldenauswahl, Probenahme und Präparation .....	387
4.	Messverfahren .....	390
4.1.	Röntgendiffraktometrie (XRD).....	390
4.2.	Mineral Liberation Analyzer (MLA).....	390
4.3.	Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA).....	390
4.4.	Lasergranulometrie.....	391
5.	Fernerkundung und dreidimensionale Modellierung .....	391
6.	Zusammenfassung .....	392
7.	Quellen .....	393

Die hier präsentierten Ergebnisse wurden im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Forschungsprojektes *SMSB – Gewinnung strategischer Metalle und Minerale aus sächsischen Bergbauhalden*, erzielt. Einzelheiten zum Vorgehen, den durchgeführten Arbeiten und den daraus gewonnenen, spezifischen Erkenntnissen finden sich in detaillierter Form im öffentlichen Abschlussbericht des Projektes sowie in Veröffentlichungen der Begleitforschung INTRA r<sup>3+</sup> wieder und sind zum Teil in enger Anlehnung an diese gefasst.

Die Idee des Re-Mining, der effizienten und umfänglichen Nutzung von Reststoffen aus der Nutzung primärer Rohstoffe, ist nicht neu. Sie wurde mit höchstwahrscheinlich

schon von bei der ersten Nutzung mineralischer Rohstoffe durch den frühen Menschen berücksichtigt und umgesetzt. Allerdings wurde das Konzept im Zuge der industriellen Revolution und der nachfolgenden Globalisierung zunehmend vernachlässigt. Gerade in Sachsen hat der Bergbau eine lange Tradition, die bis in das 12. Jahrhundert zurückreicht. Aus dieser Zeit stammen die ersten urkundlichen Erwähnungen bergbaulicher Tätigkeiten aus der Region Freiberg. Der Bergbau in Sachsen durchlief Höhen und Tiefen, wobei Blütezeiten immer wieder durch technologische Neuentwicklungen und der damit verbundenen, verbesserten Abbau- und Aufbereitungseffizienz ermöglicht wurden. Während dieser Blütezeiten entstand eine Vielzahl von kleinen und später auch großen Bergbau- und Aufbereitungsrückstandshalden. Diese konnten teilweise in der nächsten Blütezeit bereits wieder aufgearbeitet wurden, da neuentwickelte Technologien eine wirtschaftliche Gewinnung von Rohstoffen aus den Resten der zurückliegenden Bergbauepoche ermöglichten.

Auch wurden Rückstände aus dem Bergbau zum Bau von Straßen, Häusern und anderen Bauwerken eingesetzt. Beispielsweise wurden die Schlackenhalde der Hütte Freiberg in den 60er Jahren des letzten Jahrhunderts zum Hausbau in der Region verwendet, da es an geeignetem Baumaterial mangelte. In dieser Tradition hat sich das Projekt SMSB – *Gewinnung strategischer Metalle und Minerale aus sächsischen Bergbauhalde* in der Fördermaßnahme *r<sup>3</sup> - Innovative Technologien für Ressourceneffizienz: Strategische Metalle und Mineralien* des Bundesministerium für Bildung und Forschung mit dem Rohstoffpotential der zwanzig größten Bergbauhalde in Sachsen beschäftigt. Der Unterschied zu den früheren Bergbauepochen ist jedoch, dass die untersuchten Halde hier nicht nur in Hinblick auf die aktuell bedeutsamen strategischen Metalle und Minerale untersucht wurden, sondern eine Bestandsaufnahme des kompletten Rohstoffinventars der ausgewählten Halde durchgeführt wurde. Die Daten liefern so eine Grundlage für so für jedwede zukünftige Nutzung der untersuchten Haldekörper.

Ein wichtiges Ziel des SMSB Projektes war es Technologien für eine möglichst effiziente und wirtschaftliche Aufbereitung strategischer Metalle und Mineralien aus Bergbauhalde mit besonders hohem Rohstoffpotential zu entwickeln. Dafür wurden verschiedene Ansätze gewählt. Es Zunächst wurde das beinhaltet Rohstoffpotential ausgewählter Haldekörper durch Bohrungen und umfassende mineralogische und chemische Analytik konkretisiert. Dann wurden Versuche zur chemischen und biologischen Laugung an Halde material durchgeführt, aber auch moderne mechanische Aufbereitungsverfahren auf ihre Anwendbarkeit getestet. Mithilfe der nachgeschalteten Metallurgie wurden die gewonnenen Konzentrate weiter untersucht und Metalle aus diesen extrahiert. Auf die Versuche und Ergebnisse zur Aufbereitung sowie der Metallurgie wird in diesem Beitrag nicht näher eingegangen. Die Ergebnisse sind im SMSB Abschlussbericht zu finden.

Aus den Resultaten von SMSB wurde ein Kataster der zwanzig bedeutendsten sächsischen Bergbauhalde erstellt. Diese Informationen wurden gemeinsam mit den Ergebnissen von zwei weiteren *r<sup>3</sup>*-Projekten, den Projekten ROBEHA mit Fokus Harz und ReStrateGIS mit Fokus Saarland, Ruhrgebiet und Thüringen zusammengeführt. Dabei wurde ein gemeinsames Haldekataster erzeugt. Weiterhin wurden die Methoden zur Charakterisierung, Erkundung und Aufbereitung der Halde zusammengetragen und in einem gemeinsamen Methodenhandbuch zusammengestellt. Nach Beendigung des

SMSB Projektes im März, 2016, Projektende wurden die Daten an die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe übergeben und werden dort weiter geführt und durch Daten anderer Haldenprojekte ergänzt, um ein zentrales deutschlandweites Haldenkataster aufzubauen.

## 1. Warum Haldenrückbau?

Bergbauprojekte bedürfen einer langen Planung und Vorbereitung und sind mit hohen finanziellen Risiken verbunden. Bei der Primärrohstoffgewinnung ist viel Geld und Zeit für die Suche und Detailerkundung notwendig, gefolgt hohen Investitionen, um eine gefundene Lagerstätte zu erschließen und geeignete Infrastruktur aufzubauen. Dagegen ist der Vorteil des Haldenmaterials, dass es bereits an der Oberfläche liegt und schon zerkleinert ist. Weiterhin kann man bei den meisten Halden davon ausgehen, dass sie nach wie vor signifikante Gehalte an Wertstoffen beinhalten, da es sich um Reste der früheren Erzaufbereitung handelt und das Ausbringen in früheren Bergbauepochen meist zwischen fünfzig Prozent und neunzig Prozent war.

Neben den wirtschaftlichen Vorteilen und dem verminderten Risiko, das Vorhaben abbrechen zu müssen, stellt der Haldenrückbau auch eine Sanierungsalternative für Schwermetall emittierende Altlasten dar. Eine klassische Abdeckung und Versiegelung der Haldenoberfläche erfordert meist Mittel im einstelligen Millionenbereich und bedarf der weiteren (im Prinzip ewigen) Nachsorge. Eine Aufarbeitung des Materials ermöglicht die Ausschleusung der Schadstoffe, Inertisierung des Restmaterials, welches dann keiner besonderen Nachsorge mehr bedarf und einer Gewinnung von Wertstoffen.

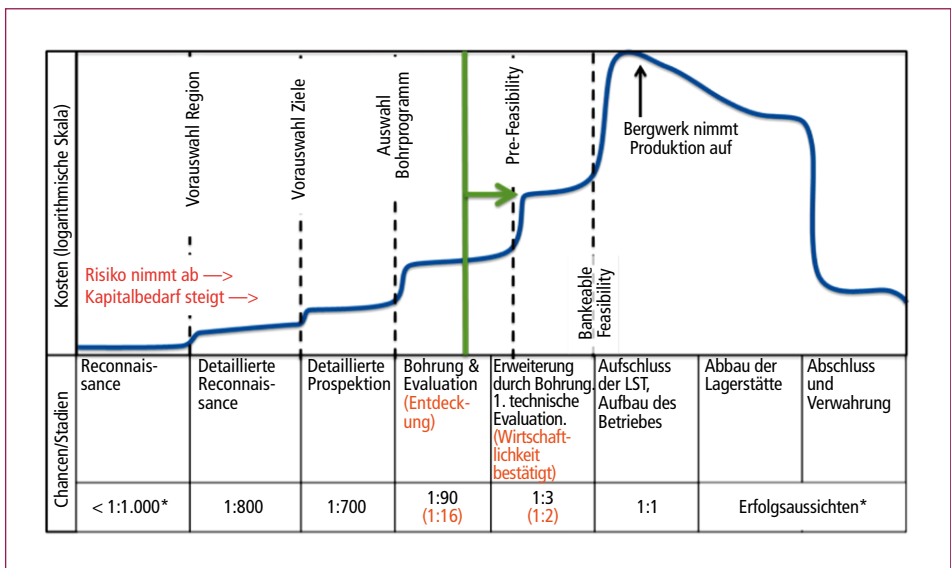


Bild 1: Kosten und Risiken bei Bergbauvorhaben; eine Haldenaufbereitung beginnt ab der grün markierten Linie

Quellen: Gutzmer, J. modifiziert nach Moon et al.: Introduction to Mineral Exploration, Blackwell Publishing, 2008 und Sames, W.; Wellmer, F.W.: Exploration. Part 1: Nothing ventured, nothing gained. Risks, strategies, costs and achievements. Glückauf + Translation, 1981

Metallurgische Nebenprodukte

## 2. Halde ≠ Halde

Der Begriff der Halde ist in unterschiedlicher Literatur unterschiedlich geprägt. So werden beispielsweise Halden die aus den Abgängen einer Aufbereitung entstanden sind je nach der Art des vorgeschalteten Prozesses bzw. nach Art ihrer Entstehung bezeichnet. Die Abgänge eines Flotationsprozesses werden in Deutschland beispielsweise als Spülhalden oder Spülteiche – im Englischen als Tailings Storage Facilities – bezeichnet, da sie als Suspension durch Rohrleitungen direkt aus dem Flotationsprozess auf die Halde gespült wurden. In Bild 2 wird die Entstehungsgeschichte der Spülhalde Davidschacht ersichtlich. Dabei wurde 1950 zunächst der erste Damm als Barriere an einem Hang errichtet. Dahinter wurde dann der Flotationsrückstand eingespült. Nachdem die Kapazitäten erschöpft waren, musste der Damm verbreitert und erhöht werden, um weitere Prozessrückstände aufnehmen zu können bzw. die Stabilität zu gewährleisten [3].

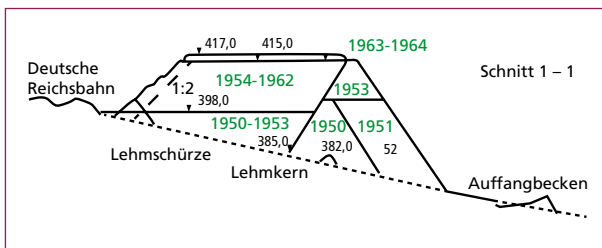


Bild 2:

Zeitliche Entstehung der Spülhalde Davidschacht Freiberg

Quelle: IBUR GmbH: Historische Erkundung – Spülhalde Davidschacht, Freiberg, 1995

Im Rahmen des Haldenclusters wurden die Begrifflichkeiten zu Halden und die Definition dieser Begriffe für dessen Arbeiten eindeutig festgelegt. So unterscheidet das Haldencluster drei verschiedene Haldentypen.

### 2.1. Bergehalden

Bergehalden stellen das sogenannte taube Gestein dar, das durch bergbauliche Tätigkeiten entfernt werden muss, um den abbauwürdigen Erzkörper zu erreichen bzw. zum Abbau vorzurichten. Es handelt sich dabei um Material welches zum Schachtbau bzw. Errichten der bergbaulichen Infrastruktur unter Tage entfernt werden musste. Dieses Material zeichnet sich durch sehr geringe oder keine Gehalte an damals adressierten Wertstoffen aus. Die Halden enthalten z.T. mehrere Millionen Tonnen Material, bestehen vorwiegend aus grobem Gestein und stellen in Sachsen die größten Haldenkörper dar. Aufgrund Ihrer geringen Gehalte an Wertstoffen bzw. strategischen Metallen und Mineralien wurden diese im Rahmen von SMSB nicht weiter berücksichtigt.

### 2.2. Aufbereitungshalden

Aufbereitungshalden stellen aus der Sicht des Haldenclusters die Abgänge aus Resten von verschiedenartigen Aufbereitungsprozessen dar. Es kann sich dabei bspw. um Reste der Flotation oder anderer mechanischer Aufbereitungsschritte wie der Magnetscheidung oder aus sogenannten Pochwerken mit nachgeschalteter Dichttrennung handeln.

Das Material dieser Halden ist feinkörniger als das der Grobbergehalden und bewegt sich vorwiegend im Bereich von Sand bis Feinsand. Ein weiteres Merkmal sind die im Vergleich zum Grobbergematerial erhöhten Wertstoffkonzentrationen, da es sich um Reste von Primärerzen handelt, die um einen gewissen Teil, je nach damaligem Ausbringen im Aufbereitungsprozess, abgereichert wurden. Gerade in der Nähe von Standorten ehemaliger Aufbereitungsanlagen der DDR findet man in Sachsen große Haldenkörper, die ähnliche Größen wie die Bergehalden erreichen. Durch ihr hohes Potential zur Wertstoffgewinnung, wurde der Hauptfokus des Projektes SMSB auf diesen Haldentyp gelegt.

### 2.3. Hüttenhalden

Hüttenhalden oder auch Schlackenhalden beinhalten die Reste aus dem Verhüttungsprozess von Metall- bzw. Erzkonzentraten. Schlacken, die als Reste der Metallverhüttung entstanden sind, wurden meist in der Nähe des Hüttenstandortes aufgehaldet. Sie zeichnen sich durch einen sehr hohen Metall- bzw. Wertstoffgehalt aus und stellen eine potentielle Sekundärrohstoffquelle dar. In Sachsen, vorwiegend im Raum Freiberg, wurden die Schlacken der Hütten aufgrund mangelnden Baumaterials zu Straßen- und Hausbauarbeiten verwendet. Daher finden sich nur kleine unbedeutende Hüttenhalden in Sachsen, wodurch sie im Projekt SMSB nicht weiter als Forschungsgegenstand berücksichtigt wurden.



Bild 3:

Luftbild der Spülhalde Davidsschacht

Quelle: SAXONIA Standortentwicklungs- und Verwaltungsgesellschaft mbH, 2011

## 3. Haldenauswahl, Probenahme und Präparation

Nach projektinternen Diskussionen, Gesprächen mit externen Fachleuten und umfassender Literaturrecherche wurden insgesamt vier Spülhalden für eine die Untersuchung in SMSB ausgewählt. Hierbei mussten neben den wissenschaftlichen Argumenten für eine Auswahl auch logistische Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Als Beispiel sind hier die Eigentumsverhältnisse zu nennen, da ohne Einwilligung des heutigen Eigentümers des Haldenkörpers eine Beprobung nicht möglich wäre. Die Gegebenheiten vor Ort stellen ein weiteres Kriterium dar, die eine Bohrung auf der Halde unmöglich machen können. Je nach Nachnutzung der Halde können hier bspw.

Solaranlagen, abgeschlossene Sanierungsarbeiten oder Bauschuttablagerungen eine Probenahme verhindern. Diese Hinderungsgründe wurden in der Auswahl der Untersuchungsobjekte berücksichtigt.

In einer ersten Bohrkampagne im Frühjahr 2013 wurde zunächst jede der vier ausgewählten Halden mit einer Bohrung beprobt. Dazu wurde nach öffentlicher Ausschreibung ein Bohrunternehmen beauftragt, die Halden im Liner Bohrverfahren jeweils zentral mit einer Bohrung zu durchbohren. Anschließend wurde der Bohrkern auf seiner gesamten Länge beprobt. Dabei wurde der Bohrkern bestehend aus ein Meter langen Teilstücken, den sogenannten Linern, gewonnen, der eine vertikale Aufnahme der Halde in einem zentralen Punkt darstellt. Durch die meterweise Entnahme von Mischproben aus den Linern und einer nachgeschalteten Analytik, mittels der alle relevanten chemischen, physikalischen und mineralogischen Kenngrößen ermittelt wurden.



Bild 4:

Erste Bohrkampagne im Rahmen des SMSB Projektes (Spülhalde Münzbachtal, 2013)

Quelle: Büttner, P.; Helmholtz-Institut Freiberg, 2013

Die Ergebnisse der ersten Bohr- und anschließenden Messkampagne ergaben, dass sich die Spülhalde Davidschacht in Freiberg als Vertreter der sulfidischen Aufbereitungshalden und die Tiefenbachhalde in Altenberg als Vertreter der oxydischen Aufbereitungshalden besonders für weiterführende Untersuchungen eignen. Diese Auswahl wurde insbesondere durch die in der ersten Bohrung aufgefundenen Wertstoffgehalte begründet. Während die Spülhalde Davidschacht über hohe Restbestände an Zink und Blei zwischen 0,5 und 1 Gew.-% aufweist und auch über technisch auszubringende Indiumgehalte im zweistelligen ppm Bereich verfügt, zeichnet sich die Tiefenbachhalde über verhältnismäßig hohe Zinngehalte von etwa 0,15 bis 0,2 Gew.-% Zinn aus.

Die oben genannten zwei Halden wurden für eine zweite Bohrkampagne ausgewählt, welche die Daten für eine dreidimensionale Modellierung des Wertstoffinventars und auch Material für Aufbereitungstests im Pilotmaßstab ermöglichen sollte. Dafür wurde eine zweite Bohrkampagne in Abstimmung mit dem sächsischen Oberbergamt (SOBA) aufgesetzt und öffentlich ausgeschrieben. Dabei musste im Rahmen der Gesetzgebung ein Betriebsplan zur Aufsuchung von Rohstoffen in alten Bergbauhalden aufgestellt und



mit dem SOBA und dem zuständigen Landratsamt abgestimmt werden. Darüber hinaus mussten u.a. Begehungen mit den zuständigen Umweltbehörden auf den Halden durchgeführt werden, um die Bohrarbeiten so zu planen, dass sensible Bereiche im Ökosystem Halde durch die geplanten Arbeiten nur minimal gestört werden. Die Grundlage dafür legt das Bundesberggesetz in Form von Paragraph § 128 Alte Halden: *Für das Aufsuchen und Gewinnen mineralischer Rohstoffe in Halden gelten die §§ 39, 40, 42, 48, 50 bis 74 und 77 bis 104 und 106 entsprechend, wenn die mineralischen Rohstoffe als Bodenschätze unter § 3 Abs. 3 und 4 fallen würden und aus einer früheren Aufsuchung, Gewinnung oder Aufbereitung von Bodenschätzen stammen.* [2]. Dieser Paragraph zeigt die weiteren Pflichten auf, die bei der Beprobung beachtet werden müssen und verdeutlicht, dass die Aufsuchung von Rohstoffen in alten Bergbauhalden auch bergrechtlichen Belangen unterliegt.

Nach Erfüllung der rechtlichen Pflichten und Beendigung der Ausschreibung konnten die Bohrarbeiten in der zweiten Kampagne durchgeführt werden. Dazu wurden auf den zwei ausgewählten Halden je neun weitere Bohrpunkte zusätzlich zu dem ersten Bohrpunkt definiert. Die Positionierung der Bohrungen berücksichtigt die Gegebenheiten vor Ort, die eine für die sich anschließende Vorratsberechnung optimale Verteilung der Bohrpunkte auf der Halde teils unmöglich machen, da bspw. große Aufhaldungen von Bauschutt die Befahrbarkeit stark einschränken.

Im Anschluss daran wurde die zweite Bohrkampagne im Frühjahr 2014 durchgeführt. Dabei wurden die Halden an allen Bohrpunkten bis zum anstehenden Gestein durchbohrt, um die lokale Mächtigkeit des Haldenkörpers zu ermitteln und eine vollständige Probenahme zu gewährleisten.



Bild 5:

Aufgeschnittene Liner aus einem Bohrkern der Spülhalde David-schacht in Freiberg

Quelle: Osbahr, I.; Helmholtz-Institut Freiberg, 2014

Aus den gewonnenen Bohrkernen wurde Proben über Intervalle von jeweils zwei Metern genommen. Die Bohrkern wurde vollständig beprobt und im Anschluss in einem Bohrkernlager abgelegt. Das Material aus den Bohrungen wurde später für Aufbereitungsversuche verwendet.

Die Proben der Spülhalde Davidschacht wurden mittels Gefriertrocknung, die der Tiefenbachhalde an der Luft getrocknet. Danach wurden alle Proben homogenisiert und für die weiteren Messschritte geteilt. Für die mineralogische Analyse mittels Bildanalyse wurden nach der Deagglomeration polierte Körnerpräparate erstellt. Die Proben für die Röntgendiffraktometrie und die chemische Analyse wurden analysenfein aufgemahlen. Für die Partikelgrößenbestimmung verwendete Proben wurden lediglich deagglomert.

## 4. Messverfahren

Im Folgenden sollen kurz die Messverfahren vorgestellt werden, mit denen die Proben der zwei Meter Intervalle aus den Halden jeweils untersucht wurden. Die Daten aus dieser Messkampagne lieferten die Grundlage für die anschließende dreidimensionale Modellierung und Charakterisierung der Halden bzw. deren Eigenschaften bezüglich der Haldenaufbereitung.

### 4.1. Röntgendiffraktometrie (XRD)

Die Röntgendiffraktometrie dient der Untersuchung kristalliner Proben und macht sich das Prinzip der Beugung von kohärenter Röntgenstrahlung an der Probe zu nutze. Die Proben wurden mithilfe dieser Technologie auf ihre mineralogische Zusammensetzung untersucht. Diese Untersuchungen sind wichtig, um festzustellen aus welchen Hauptmineralen die Probe zusammengesetzt ist. Die Resultate sind komplementär zu denen, die mittels MLA ermittelt werden.

### 4.2. Mineral Liberation Analyzer (MLA)

Bei dem Mineral Liberation Analyzer handelt es sich um ein Rasterelektronenmikroskop welches mit Bildanalysesoftware gekoppelt ist und damit in der Lage weitgehend automatisierte Messungen an Gesteins- und Feststoffproben durchzuführen. Untersucht werden z.B. die modale Mineralogie, der Aufschlussgrad, sowie Korn bzw. Partikeleigenschaften wie Größe, Form, usw. Die Resultate zur quantitativen Mineralogie können mit denen der Röntgenpulverdiffraktometrie verglichen werden.

### 4.3. Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)

Die Röntgenfluoreszenzanalyse nutzt das Prinzip der Fluoreszenzspektroskopie. In diesem Fall wird diese an durch Röntgenstrahlung angeregten Proben angewendet. Mithilfe dieser Methode konnte die chemische Zusammensetzung der Haldenproben untersucht werden. Dabei lag das Hauptaugenmerk neben den Hauptelementen vor allem auf den Neben- und Spurenelementen in Hinsicht auf mögliche Wertstoffpotentiale, die auch zukünftig von Bedeutung sein könnten.



## 4.4. Lasergranulometrie

Die Lasergranulometrie nutzt die Beugung von Laserstrahlen an Partikeln, die in einer Flüssigkeit als Suspension vorliegen. Dabei wird die Größenverteilung des Partikelgemisches, in diesem Fall des Haldenmaterials, erfasst. Die Daten wurden für alle Haldenproben aufgenommen und charakterisieren diese hinsichtlich ihrer Aufbereitungseigenschaften und deren Verhalten in verschiedensten Aufbereitungsprozessen, wie bspw. in der Flotation oder der biologischen Laugung.

## 5. Fernerkundung und dreidimensionale Modellierung

Die gewonnenen Daten, wurden mit einem digitalen Geländemodell und historischen Rissen, Karten und anderen Geoinformationen mit Hilfe der Software *GoCAD* kombiniert und in ein dreidimensionales Bild der Spülhalde Davidschacht bzw. der Tiefenbachhalde Altenberg überführt. Dafür wurden die Halden mit Drohnen überflogen und vermessen. Aus historischen und aktuellen Berichten zur Tiefenbachhalde konnten Risse entnommenen werden, die den Aufbau der Halde entlang bestimmter Schnittlinien definieren.

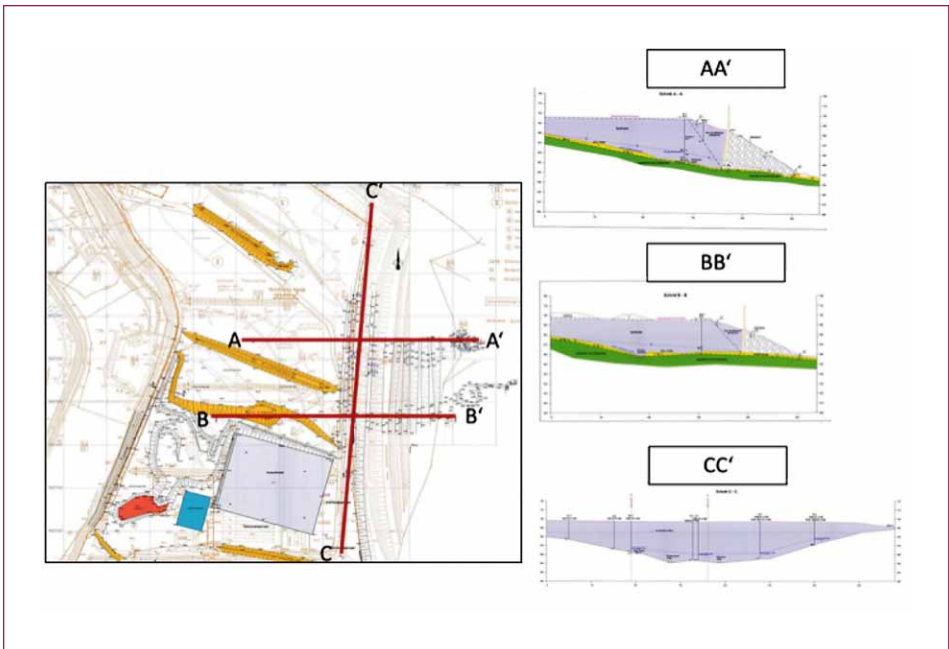


Bild 6: Kombination von Haldenprofilen und Kartendaten der Tiefenbachhalde, modifiziert nach Rissen und Karten

Quelle: Satge, L. modifiziert nach BIUG Beratende Ingenieure für Umweltgeotechnik und Grundbau GmbH, Freiberg, 2012

Bei beiden Modellen wurde versucht, möglichst alle vorhandenen Daten zu berücksichtigen. Ziel der Modellierung war die Visualisierung der Aufbereitungseigenschaften und Identifikation der Bereiche, die sich am besten aufbereiten lassen. Dabei wurden verschiedene Interpolationsansätze untersucht und verglichen. Mithilfe von Wichtungsfunktionen zu allen relevanten materialspezifischen Parametern ist es möglich darzustellen, welche Partikel je nach Ausgangsmaterial durch Flotation (Tiefenbachhalde) bzw. biologische Laugung (Spülhalde Davidschacht) gewinnbar wären. Zunächst wurden die Eigenschaften bzw. Parameter einzeln modelliert, interpoliert und gewichtet, um besonders geeignete Bereiche bezüglich einzelner Aufbereitungsparameter zu definieren. Danach wurden die Modelle der Einzelparameter zusammengeführt, um ein aussagekräftiges Modell inklusive aller wesentlichen Parameter zu erzeugen. Für die Tiefenbachhalde in Altenberg sind diese relevanten Parameter bspw. die Korngröße der Partikel, der Aufschlussgrad und die Zinnkonzentration. Optimale, das heißt für konventionelle Flotation verfügbare Partikel, bewegen sich in einem definierten Korngrößenbereich mit möglichst hoher Wertstoffkonzentration und Aufschlussgrad.

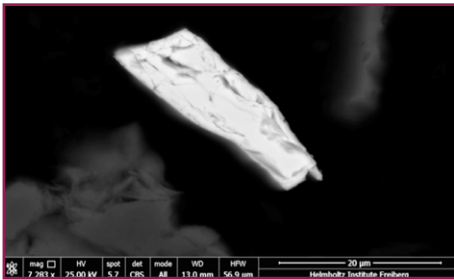


Bild 7: MLA Aufnahme eines Kassiterit Partikels, welches in der Schnittfläche vollständig aufgeschlossen erscheint, also ohne Verwachsungen vorliegt

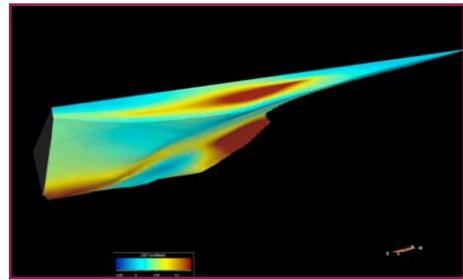


Bild 8: Modell der Tiefenbachhalde Altenberg aus den kombinierten und gewichteten Parametern Aufschlussgrad, Konzentration von Kassiterit und Korngrößenverteilung

Quelle: Osbahr, I.; Helmholtz-Institut Freiberg, 2014

Quelle: Satge, L.; Helmholtz-Institut Freiberg, 2015

In Bild 8 ist das Modell für die Tiefenbachhalde in Altenberg zu sehen. Das Modell repräsentiert nicht die gesamte Halde, da es aufgrund der örtlichen Gegebenheiten nicht möglich war, die gesamte Halde zu beproben. Zum Teil verhinderten Bauschuttablagerungen die Befahrung mit dem Bohrgerät. Die Farbskala des Modells reicht von Blau über Grün und Gelb bis hin zu Rot und veranschaulicht die mögliche Aufbereitbarkeit des Haldenmaterials mittels Flotation. Tief rote Bereiche sind sehr gut zu flotieren, während tief blaue Bereiche sehr schlecht bis gar nicht zu flotieren sind.

## 6. Zusammenfassung

Die dreidimensionale Modellierung von Halden kann nicht pauschal durchgeführt werden, sondern ist immer abhängig vom jeweiligen Einzelfall. Dazu sollten die historischen Daten erste wichtige Hinweise geben, welche Schritte zu wählen sind.

Aus Informationen zu den abgebauten Erzen, der Mineralogie, dem Abbau- und Aufbereitungsverfahren kann eine Probennahmestrategie aufgestellt werden. Ferner ist im Vorfeld schon darauf zu achten, welches Aufbereitungsverfahren für eine spätere Aufbereitung in Frage kommt und welche Parameter für eine Modellierung wichtig sein könnten. Daraufhin wählt man die Messmethoden, Probenahmepunkte und die Art und Weise der Probenahme aus. Nur wenn alle beteiligten Akteure und Disziplinen im Vorfeld aufeinander abgestimmt werden, kann ein zu erstellendes Ressourcenmodell die gewünschte Aussagekraft aufbringen und Auskunft über die Zusammensetzung der Halde hinsichtlich der Aufbereitbarkeit und Verwertung geben. Letztendlich kann ein solches Modell die Investitionsentscheidungen beeinflussen und damit Auswirkungen auf Erfolg oder Misserfolg des Haldenrückbaus und einer ggf. damit verbundenen Sanierung haben.

## 7. Quellen

- [1] BIUG Beratende Ingenieure für Umweltgeotechnik und Grundbau GmbH, Freiberg, 2012
- [2] Bundesberggesetz vom 13. August 1980 (BGBl. I S. 1310), das zuletzt durch Artikel 303 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474) geändert wurde
- [3] IBUR GmbH: Historische Erkundung – Spülhalde Davidschacht. Freiberg, 1995
- [4] Moon et al.: Introduction to Mineral Exploration, Blackwell Publishing, 2008
- [5] Sames, W.; Wellmer, F.W.: Exploration. Part 1: Nothing ventured, nothing gained. Risks, strategies, costs and achievements. Glückauf + Translation, 1981

# ▶ **Modulare TWS-Nassaufbereitung mit Wasseraufbereitung aus einer Hand**



## Was genau kann denn gewaschen werden?

- Sand & Kies
- Splitt & Geröll
- Boden
- Bauschutt
- Bahnschotter
- Schlacke



## Welche Bestandteile kann eine modulare Anlage haben?

- Warrior-Vorsieb
- 2 - 3D-Waschsieb
- Zyklon, Schöpfrad, Sandschnecke
- Schwertwäsche
- Trommelwäsche
- Abwasseraufbereitung

## ▶ **Bewährte, erprobte Technik**

Referenzen aus Serienfertigung.

## ▶ **Umzug möglich**

Transport in Containern und Tiefladern in „Plug in Play“-Bauweise.

## ▶ **Flexibilität durch Erweiterung**

Passende Komponenten auch später einzubinden.

## ▶ **Abwasseraufbereitung mit dabei**

Containermobile Klärtürme mit Filterpressen und Prozeßwassertank passend dazu.



**C. Christophel GmbH;**  
Taschenmacherstr. 31-33; 23556 Lübeck;  
Tel.: 0451-8 99 47-0; Fax: 0451-8 99 47-49;  
mail@christophel.com; www.christophel.com

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): **Mineralische Nebenprodukte und Abfälle 3**  
– Aschen, Schlacken, Stäube und Baurestmassen –  
ISBN 978-3-944310-28-2 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky  
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2016  
Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,  
Dr.-Ing. Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc.  
Erfassung und Layout: Sandra Peters, Ginette Teske, Janin Burbott-Seidel,  
Claudia Naumann-Deppe, Anne Kuhlo, Gabi Spiegel

Druck: Universal Medien GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.