

Landfill Mining als Quelle für wirtschaftsstrategische Rohstoffe – Das Modellprojekt REWITA –

Madita Flamm und Torsten Zeller

1.	Deponierückbau.....	190
2.	Nutzung produktionsspezifischer Abfälle.....	191
3.	Rückbau bergbaulicher Abfälle	193
4.	Rückbau von Tailings: Modellprojekt REWITA	194
5.	Zusammenfassung/Ausblick.....	200
6.	Literatur	200

Die Weltwirtschaft hat eine steigende Nachfrage nach Rohstoffen, vor allem an High-tech-Metallen wie Indium, Germanium oder Seltenerdelemente. Doch gerade diese als wirtschaftsstrategisch eingestuften Rohstoffe weisen hinsichtlich der Verfügbarkeit aus primären Lagerstätten ein Versorgungsrisiko auf [5]. Um auch in Zukunft den Bedarf an diesen Stoffen zu decken bzw. die Versorgungssicherheit zu stärken, wird der Ab- bzw. Rückbau von sekundären Rohstoffpotentialen, wie z.B. entsprechende Altablagerungen, immer interessanter. Das sogenannte **Urban Mining** umfasst dabei nach Fricke et al. [7] im weitesten Sinne den Rückbau anthropogen geschaffener Lagerstätten materieller Ressourcen. Dabei kann zwischen dem Rückbau von Komponenten aus dem Bauwesen, wie z.B. Gebäuden, Infrastrukturbauwerken, Leitungen und Installationen einerseits und den Deponien (*Landfills*) andererseits unterschieden werden. Letztere sind geordnete und ungeordnete Deponien als Komponenten der Abfallwirtschaft, die entsprechend ihrer Entstehungsgeschichte regelmäßig unterschiedliche Ausprägungen hinsichtlich Standort, technischen Systemen sowie Deponatqualität und -quantität aufweisen. Der Rückbau dieser Deponien wird als **Landfill Mining** bezeichnet. Aufgrund der historischen Entwicklung der Abfallwirtschaft bzw. ihrer Abfallentsorgung durch Ablagerung sind die Grenzen besonders zwischen (Alt-)Ablagerungen und Deponien fließend. Unter Zugrundelegung der Tätigkeit bzw. der Charakteristik eines Deponierückbaus ist es naheliegend, den Begriff des Landfill Minings auch auf andere Ablagerungen, z.B. aus Bergbau, Aufbereitung und Verhüttung anzuwenden. Nach Krook et al. [10] ist Landfill Mining die rohstoffliche Nutzung von Reststoffen, welche zuvor durch Ablagern oder Vergraben entsorgt wurden. Das Bild 1 zeigt die Stellung des Landfill Minings im Kontext des Urban Minings.

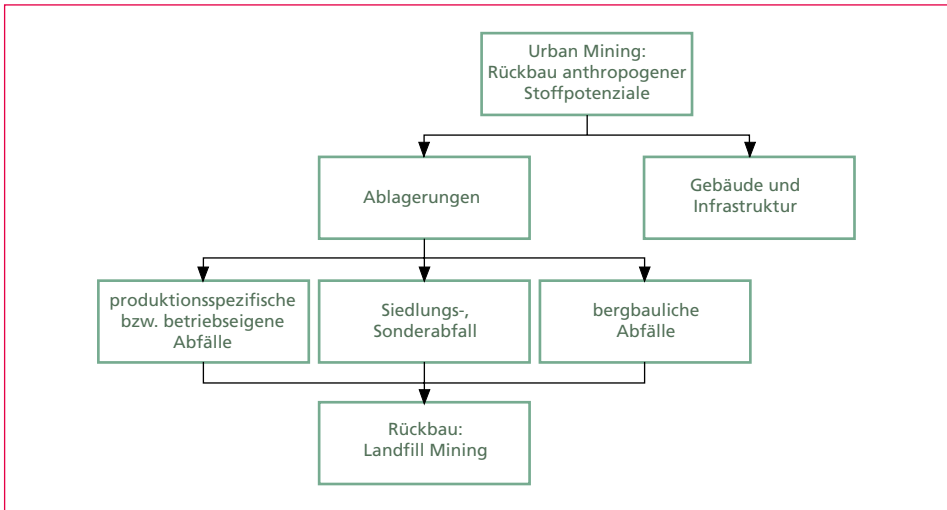


Bild 1: Stellung des Landfill Minings im Kontext des weitgefassten Begriffs des Urban Minings als Rückbau anthropogen geschaffener Lagerstätten

Quelle: Zeller, T.; Bachmann, A.; Sauter, A.; Faulstich, M.: Landfill Mining: Harzer Halden als Beitrag zur Rohstoffeffizienz. In: Wasser und Abfall 12/2013, 2013, S. 40-44

Steht die Rohstoffgewinnung beim Landfill Mining im Vordergrund, wird dies auch als Enhanced Landfill Mining bezeichnet. Dabei wird die Deponie bzw. hier Deponate als Zwischenlager für Stoffe betrachtet, deren Nutzung oder Recycling in der Vergangenheit nicht bekannt bzw. zu kostenintensiv waren, aber eine Rohstoffgewinnung nach dem Stand der Wissenschaft und Technik möglich und beabsichtigt ist [9].

1. Deponierückbau

Die Hausmülldeponien in Deutschland unterscheiden sich in Aufbau und Zusammensetzung. Bis zum Abfallbeseitigungsgesetz 1972 gab es kaum einheitliche Regelungen. Die Abfälle wurden meist auf kleinen Ablagerungsplätzen bzw. Müllkippen vor Ort abgelagert. Bezüglich Menge und Beschaffenheit der abgelagerten Stoffe fand regelmäßig keine Dokumentation statt. Eine Verwertung wurde erst mit Inkrafttreten des Abfallgesetzes im Jahr 1986 eingeführt. Seit 2005 dürfen keine unvorbehandelten Abfälle mehr deponiert werden. Schätzungen zu Folge wurden zwischen 1975 und 2005 etwa 2,5 Milliarden Tonnen an Siedlungsabfällen, Bauschutt und gewerbliche Abfällen abgelagert [7]. Daraus ergibt sich ein geschätztes Potential von:

- 250 Millionen Tonnen heizwertreiche Komponenten (Papier, Kunststoffe, Textilien, Holz),
- 26 Millionen Tonnen Eisenschrott,
- 1,2 Millionen Tonnen Kupferschrott,
- 0,5 Millionen Tonnen Aluminiumschrott und
- 0,7 Millionen Tonnen Phosphor.

Die Nutzung des Rohstoffpotentials kann ein Grund für Landfill Mining sein. Nach einer Analyse der seit 1953 weltweit durchgeführten Rückbauprojekte spielte die Rohstoffgewinnung eher eine untergeordnete Rolle. Die Motivation dabei lag vorwiegend, mit abnehmender Bedeutung der Nennungen,

- im Bodenschutz, Grundwasser- und Gewässerschutz (Sickerwasser) und Klimaschutz (Treibhauseffekt von Deponiegasen),
- im Flächenrecycling für z.B. Siedlungszwecke,
- in der Minderung der Nachsorgekosten durch Stilllegung oder Sanierung,
- in der Rückgewinnung von Deponievolumen und
- in einer landschaftsbaulichen Verbesserung.

Die stoffliche Nutzung bezog sich dabei lediglich auf heizwertreiche Komponenten sowie Eisen- und Nichteisenmetallen [4].

Die Vorgehensweise eines Landfill Minings an alten Siedlungsabfalldeponien bzw. ein Rückbau ist grundsätzlich untersucht. So wurde beispielsweise im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme r³ das Projekt *TönsLM* gefördert, das sich mit der Rückgewinnung von ausgewählten Rohstoffen aus Siedlungsabfalldeponien befasste [11]. Aus den gewonnenen Erkenntnissen wurde im Jahr 2016 ein *Leitfaden zum Enhanced Landfill Mining* verfasst, der auf Behandlungsmöglichkeiten der einzelnen Fraktionen, aber auch auf ökonomische und ökologische Aspekte eines Deponierückbaus eingeht [12, 13]. Untersuchungen belegen, dass sich die Kosten zwischen 30 und 40 EUR/m³ rückgebauten Materials belaufen. In den meisten Fällen kann durch den reinen Materialerlös bei diesen Deponiearten keine Kostendeckung gewährleistet werden. So besitzt beispielsweise die Deponie Reiskirchen ein wirtschaftliches Potential aus der Metallfraktion von 66 bis 92 Millionen Euro. Der Rückbau hingegen verursacht Kosten von 99 bis 164 Millionen Euro, wie in Rahmen von Untersuchungen von Alternativen zur Nachsorge ermittelt wurde. Die Differenz muss durch Erlöse aus dem Verkauf der heizwertreichen Fraktion sowie durch eine Vermarktung der gewonnenen Fläche gedeckt werden. Dabei können dort, wo Grundstücke begehrt sind, wie z.B. in Randlage von Ballungsgebieten, hohe Grundstückspreise erzielt werden [1]. Besonders bei diesen Fällen sind zur Minimierung des wirtschaftlichen Risikos einer Rückbaumaßnahme Untersuchungen des Deponieauflagers bzw. des geologischen Untergrundes und des Grundwassers angeraten, um die Erfordernis kostenintensiver Sanierungsmaßnahmen im Vorfeld einer hochwertigen Flächennutzung, wie zu Siedlungszwecken, abschätzen zu können. Eine Reduzierung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung auf den Ablagerungskörper und die gewinnbaren Flächen ohne Berücksichtigung der Folgekosten von gegebenenfalls erforderlichen Sanierungsmaßnahmen des Standortuntergrundes wäre damit allgemein unvollständig und so wirtschaftlich riskant.

2. Nutzung produktionsspezifischer Abfälle

Bei der Herstellung von Eisen und Stahl sowie in der stahlverarbeitenden Industrie fallen große Mengen an Schlacken, Aschen und Schlämmen an. Teilströme können als Recyclingbaustoff z.B. im Straßenbau eingesetzt werden. Ein Großteil wird jedoch

auf Deponien abgelagert. Der Hauptgrund dafür ist das Fehlen von wirtschaftlichen Recyclingansätzen. Aus diesem Grund laufen aktuell verschiedene Forschungsvorhaben, die an einer Nutzbarmachung dieser Rohstoffe arbeiten. Mit der Rohstoffstrategie und der Hightech-Strategie 2020 widmet sich die Bundesregierung dem Vorantreiben von Innovationen für den nachhaltigen Umgang mit Rohstoffen. Innerhalb des Rahmenprogramms *FONA – Forschung für eine nachhaltige Entwicklung* wurden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) verschiedene Fördermaßnahmen initiiert. In den Jahren 2005 und 2006 wurde eine Vorstudie zur *Rohstoffnahen Produktion* durchgeführt. Im Jahr 2008 folgte r² mit der Betrachtung von *Industrien mit hohem Materialeinsatz*. Der Förderschwerpunkt r³ *Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Strategische Metalle und Mineralien* konzentrierte sich auf die Themenfelder Recycling, Substitution und Materialeinsparung, Urban Mining sowie Methoden zur Bewertung der Ressourceneffizienz. Aktuell läuft die Fördermaßnahme r⁴. Dabei stehen *wirtschaftsstrategische Rohstoffe für Zukunftstechnologien* im Fokus der Forschungsaktivitäten.

Abgelagerte produktionsspezifische Abfallströme wurden im Rahmen der Fördermaßnahme r³ ab Mitte 2012 z.B. im Rahmen des Projektes *Rotschlamm* gefördert. Dieses Vorhaben befasste sich mit der Verwertung von speziellen Aufbereitungsrückständen aus der Aluminiumindustrie. Der entwickelte, ganzheitliche Verwertungsprozess umfasste drei aufeinanderfolgende Prozessstufen. Im ersten Prozessabschnitt konnte mit Hilfe einer optimierten Drucklaugung ein sehr feines Aluminiumhydroxid gewonnen werden. Im anschließenden pyrometallurgischen Schritt wurde eine Eisenphase für die Stahlindustrie und eine hochwertige Schlacke für die Glasherstellung erzeugt. Im dritten Prozessabschnitt wurde Gallium extrahiert. Durch dieses entwickelte Verfahren ist es möglich, die bereits abgelagerten Reststoffe aber auch neu anfallende Schlämme optimal zu verwerten, sodass nur ein Bruchteil der ursprünglichen Masse einer Deponierung zugeführt werden muss [8].

Ein Beispiel aus der Fördermaßnahme r⁴ ist das Projekt *Theisenschlamm*, welches Rückstände der Kupferschieferverschüttung im Mansfelder Raum behandelt, die hohe Gehalte an Zink, Zinn, Blei und Kupfer enthalten, aber auch wirtschaftsstrategische Rohstoffe wie Molybdän, Rhenium, Kobalt, Germanium und Antimon führen. Zur Gewinnung dieser Wertstoffe wird u.a. ein biotechnologisches Verfahren, bei dem Mikroorganismen die Metalle aus dem Schlamm herauslösen, entwickelt bzw. getestet. Im Anschluss werden verschiedene, auf die jeweiligen Elemente abgestimmte Anreicherungsverfahren wie Membrantechnik, Solventextraktion oder Anionenaustauscher genutzt. Die Schlämme besitzen einen hohen Anteil an organischen Stoffen, die vor der Behandlung abgetrennt werden müssen, um eine effektive Gewinnung der Wertstoffe zu gewährleisten [2].

Ein weiteres beispielhaftes Forschungsprojekt der Fördermaßnahme r⁴ ist das Verbundprojekt *ELEXSA*. Untersuchungsgegenstände sind die wirtschaftsstrategischen Rohstoffe wie Antimon, Zinn, Molybdän, Wolfram, Kobalt und Seltenerdelementen in Aschen aus Abfallverbrennungsanlagen, Schlacken aus der Eisen- und Stahlherstellung sowie den Stäuben aus der metallerzeugenden Industrie und der Zementproduktion. Für den

Feinanteil, der die Wertstoffe enthalten kann, gibt es gegenwärtig keine ganzheitlichen Recyclingverfahren, sodass die Stoffströme auf Deponien abgelagert werden. Es wird eine Aufbereitungsrouten entwickelt, die im ersten Schritt eine selektive Auftrennung der Materialien mittels elektrodynamischer Fragmentierung vornimmt. Anschließend werden die teils schwerlöslichen Metalle, die sich im Feinanteil befinden, hydrothermal aufgeschlossen. Danach werden die gelösten Metalle mit verschiedenen Elektrolyttextilien und angepassten Polymeren selektiv zurückgewonnen [2].

3. Rückbau bergbaulicher Abfälle

Im Laufe der Jahrhunderte andauernden Abbauaktivitäten in den klassischen Bergbauregionen, wie dem Erzgebirge, Harz, Schwarzwald und Siegerland, sind eine große Anzahl an Ablagerungen entstanden. Dabei kann zwischen Bergehalden, Aufbereitungshalden sowie Verhüttungshalden unterschieden werden.

- **Bergehalden** bestehen aus zum Zeitpunkt der Gewinnung als taub angesehenen Gestein, das z.B. durch das Abteufen von Schächten und dem Auffahren von Stollen zu Tage gefördert und verworfen wird.
- **Aufbereitungshalden** entstehen als Abreicherungsprodukt bei der Aufbereitung des Erzes und bestehen aus Rohstoffkomponenten, deren Gewinnung z.B. durch Verhüttung nicht beabsichtigt war.
- **Verhüttungshalden** sind Abfälle der pyrometallurgischen Metallgewinnung und setzen sich aus Rückständen wie Schlacken, Schlämmen, Aschen und Stäuben zusammen.

In den abgelagerten Reststoffen befinden sich teilweise noch große Mengen an werthaltigen Metallen. Ihre Gewinnung war zur damaligen Zeit entweder aufgrund der Aufbereitungstechnik nicht möglich oder es bestand kein Interesse an diesen Stoffen.

Im Rahmen der Fördermaßnahme r³ wurden drei Projekte gefördert, die sich mit der Ermittlung des Wertstoffpotentials von Halden befassen. Diese bildeten das sogenannte *Haldencluster*. Das Projekt *REStrateGIS* hatte zum Ziel, die Wertstoffaufkommen in Deutschland aufzuzeigen und ein multiskalares Ressourcenkataster für Hüttenhalden zu erstellen. Dabei wurden sächsische Bergbauhalden hinsichtlich der Bestandteile, der geographischen Lage, der Herkunft des Materials sowie den Aufbau und Wertstoffgehalt im Rahmen des Projektes *SMSB* untersucht und die Ergebnisse der zwanzig größten Bergbauhalden Sachsens in das Haldenkataster eingetragen [3]. Gut 250 Harzer Halden wurden im Rahmen des Projektes *ROBEHA* auf ihr Rohstoffpotential betrachtet. Wird davon ausgegangen, dass theoretisch neben jeder Tageöffnung eine Halde zu finden ist, existieren zwischen 2.000 und 3.000 Halden im Harz, die zumeist kleiner als 5.000 m³ sind. Während des Projektes wurden die untersuchten Halden im Hinblick auf ihren Stoffbestand, Umwelteinfluss, Volumen, Aufbereikbaarheit und weiteren Charakteristika in einem Haldenkataster katalogisiert. Für die Analyse, den Abbau und die Aufbereitung wurde ein Methodenhandbuch ausgearbeitet, mit dessen Hilfe das erarbeitete Knowhow auf weitere Landfill Mining Projekte übertragen werden kann.

Daneben wurde ein multikriterieller Bewertungsansatz entwickelt, der eine Rückbaumentscheidung unterstützen soll. Ein Ergebnis des Verbundvorhabens war, dass die Flotationsrückstände, wie z.B. die der Rammelsbergerze, ein bedeutendes Rohstoffpotential an wirtschaftsstrategischen Metallen aufweisen [16]. Das im Laufe der Projektbearbeitung entstandenen Ressourcenkataster kann online eingesehen werden.

4. Rückbau von Tailings: Modellprojekt REWITA

Eine Sonderform der bergbaulichen Rückstände stellen die sogenannten Tailings dar. Darunter versteht man feinkörnige Rückstände aus der Flotation, die in Form von Schlämmen vorliegen und in großen Absetzbecken abgelagert werden.

Mit solchen Absetzbecken befasst sich das Forschungsprojekt *REWITA - Recycling bergbaulicher Aufbereitungsrückstände zur Gewinnung wirtschaftsstrategischer Metalle am Beispiel der Tailings am Bollrich in Goslar*, das im Rahmen von r⁴ gefördert wird.

Diese beinhalten feinkörnige Aufbereitungsrückstände der Flotation des Goslarer Erzbergwerks Rammelsberg. Mit dem Ziel, weiterhin verkaufsfähige Konzentrate aus dem Rammelsberger Erzen zu erzeugen, wurde in den Dreißigerjahren des 20. Jahrhunderts das Flotationsverfahren eingeführt, bei dem die unterschiedliche Benetzbarkeit mit Wasser von Erzmineralien und Gangart zur Trennung genutzt wird. Das Material wird dazu sehr fein aufgemahlen und zusammen mit Wasser als Trübe auf die Flotationszelle gegeben. Die Zugabe eines Sammlers, der sich z.B. an der Bleiglanzoberfläche anlagert, sorgt für eine Hydrophobierung des Materials. Das Rührwerk saugt Luft an, die als Bläschen durch die Trübe aufsteigen. Die wasserabstoßenden Bleiglanzpartikel lagern sich an den Bläschen an und steigen an die Oberfläche. Schäumer erzeugen einen kurzzeitig stabilen Schaum mit Erzmineralen, der abgeschöpft, eingedickt und entwässert wird. Ein so erzeugtes Bleikonzentrat beinhaltet neben etwa 86 Prozent Bleiglanz fast alle Silberträger und einen Großteil des im Erz enthaltenen Kupferkieses. In einer zweiten Flotationsstufe wird die Zinkblende gewonnen. Durch Zugabe eines Belebbers wird die Oberfläche für die Anlage des Sammlers aktiviert. Der Einsatz eines Drückers verhindert das Mitflotieren von störenden Stoffen wie Pyrit oder der Gangart. Das so erzeugte Zinkkonzentrat besitzt einen Zinkgehalt von gut 60 Prozent. Das nicht genutzte Material, das nach der Abtrennung von Blei, Zink, Silber und Kupfer übrigblieb, wurde in Absetzbecken geleitet [14].

Genau diese Tailings bzw. die darin befindlichen Reststoffe sind Untersuchungsgegenstand des Verbundprojektes *REWITA*. Untersuchungsergebnisse aus den 1980er Jahren deuteten auf ein sehr interessantes Wertstoffpotential hin [15]. Nach Schätzungen konnten in den gut 7 Millionen Tonnen Aufbereitungsrückständen, bezogen auf Trockenmasse, etwa 100 Tonnen Indium, 180 Tonnen Gallium und 1.000 Tonnen Kobalt lagern. Aber auch etwa 1,5 Millionen Tonnen Schwerspat, 10.000 Tonnen Kupfer, Blei und Zink (sulfidisch gebunden). Relevante Mengen an Gold und Silber stellen weitere Wertträger dar. Bild 2 zeigt eine Luftaufnahme der beiden Absetzbecken des Bollrichs in Goslar.



Bild 2:

Satellitenaufnahme des Bolrichs in Goslar

Quelle: Google Earth: 51°54'14"N, 10°27'45"E

Mit dieser Ausgangssituation startete das dreijährige Projekt Mitte 2015 mit dem Ziel, die wissenschaftlichen Grundlagen für eine Gewinnung der Wertstoffe aus den Tailings zu schaffen. Die Verbundpartner sind die

- Technische Universität Clausthal mit den Instituten
 - * für Bergbau (IBB),
 - * für Endlagerforschung (IELF),
 - * für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik (IFAD),
 - * für Geotechnik und Markscheidewesen (IGMC) sowie
 - * dem Clausthaler Umwelttechnik Forschungszentrum (CUTEC),
- PPM Pure Metals GmbH, Langelsheim (PPM),
- Harz-Metall GmbH, Goslar (HMG),
- Stöbich Holding GmbH & Co. KG, Goslar (STÖBICH),
- pdv software GmbH, Goslar (PDV),
- Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH, Gehrden (BIG) und
- als assoziierter Partner die Bergbau Goslar GmbH, Goslar (BBG).

Eine Aufbereitung der Schlämme erwies sich aufgrund der sehr feinen Verwachsungen sowie der sehr geringen Korngröße als anspruchsvoll. Aber auch die Art der Lagerstätte sowie die benötigte Fördertechnik erfordern neue Methoden. Zur Entwicklung eines ganzheitlichen Abbau- und Aufbereitungskonzepts werden im Verbund folgende Arbeitspakete interdisziplinär bearbeitet:

- Erfassung der Lagerstättendaten und umwelt- sowie genehmigungsrechtlich relevanter Rahmenbedingungen,
- Ermittlung des Stoffbestandes der Lagerstätte und des mineralogischen Aufbaus, der Verwachsungen und Umwandlungsprozesse,
- Aufbereitung des Bergeteichmaterials,
- Entwicklung metallurgischer Verfahren zur Darstellung marktfähiger Produkte,
- Entwicklung eines Konzeptes für den Abbau der Lagerstätte und der Standsicherheit,
- Prozessmodellierung und Datenmanagement,
- Ökologie und Ökonomie und
- wirtschaftliche Anschlussfähigkeit und Transfer.

Bei einer erfolgreichen Entwicklung eines technisch und auch wirtschaftlich umsetzbaren Gesamtkonzeptes von der Materialaufnahme über die Aufbereitung und Metallherzeugung bis hin zu geotechnischen Maßnahmen bezüglich der Standsicherheit wird ein Modellprojekt für andere, vergleichbare Tailings geschaffen. Weltweit existieren eine große Anzahl von Tailings wie z.B. bei Mount Isa und Broken Hill in Australien, aber auch in Südamerika oder in Meggen/Sauerland, für die die Ergebnisse dieses Vorhabens bei einem Rückbau von Interesse sein könnten.

Zwischenergebnisse

Im Vorfeld musste das Teichsediment geophysikalisch auf Kampfmittel untersucht werden. Die Probenahme erfolgte im Rahmen einer aufwändigen Bohrkampagne. Auf den Bergeteichen wurde eine Schwimminsel mit Bohreinrichtung installiert und das abgelagerte Material repräsentativ beprobt. Das Bild 3 wurde im Zuge der Probenahme im November 2016 aufgenommen.

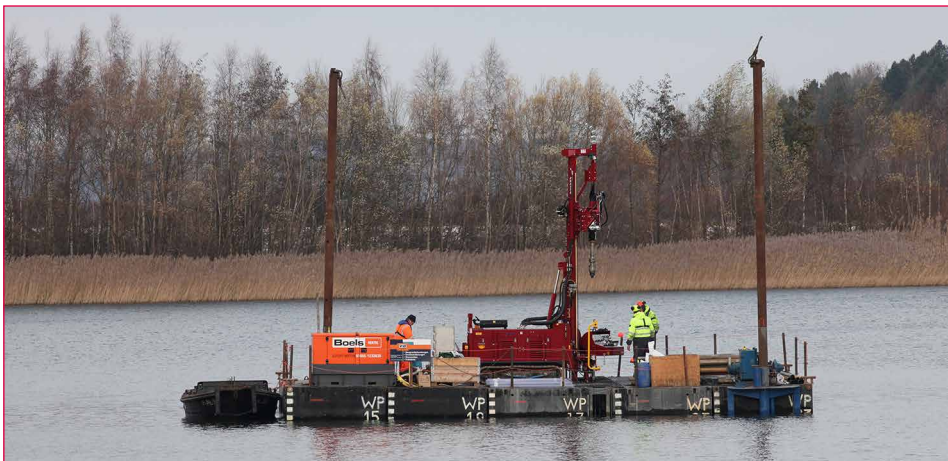


Bild 3: Beprobung des Bergeteichmaterials am Bollrich in Goslar

Quelle: Andre Bertram, CUTEC

Die mineralogische und geomechanische Charakterisierung des gewonnenen Materials, welches in Bild 4 beispielhaft zu sehen ist, ist abgeschlossen. Die Rückstände sind hinsichtlich der vorhandenen Minerale homogen und Schwankungen hinsichtlich der Wertstoffkonzentrationen (BaSO₄, Cu, Zn, Pb, Co, Ga, In) sind relativ gering. Der Baryt-Anteil steigt mit zunehmender Tiefe an, die der anderen Komponenten nimmt leicht ab. Es konnte kein ausgeprägter stratiformer Aufbau der Lagerstätte mit Bereichen deutlich erhöhter oder verringerter Wertstoffkonzentration ermittelt werden. Die wirtschaftsstrategischen Metalle Indium und Kobalt konzentrieren sich in der Zinkblende, dem Kupferkies sowie dem Pyrit. Gallium hingegen ist hauptsächlich in der silikatischen Matrix anzutreffen.

Auf Basis der erhobenen Daten konnte mit Hilfe eines Computermodells der Lagerstätte eine Grundlage für die Quantifizierung ausgearbeitet werden. Auf Basis der Elementkonzentrationen zeigt die Gesamtmassenabschätzung ein Potential von etwa 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.

Versuche zur Standsicherheit sowie zu weiteren bodenmechanischen Parametern des Materials sind ebenfalls abgeschlossen. Die Ergebnisse zeigen, dass ein toniger Schluff bis schluffiger Sand mit Reibungswinkel zwischen gut 20° und knapp 40° vorliegt. Das Material ist nach mechanischer Lockerung weich bis breiig und durch den Wassergehalt teilweise über der Fließgrenze.



Bild 4:

Probe des gehobenen Materials

Quelle: Andre Bertram, CUTEC

Die genaue Untersuchung des Teichsystems ergab, dass der Zwischendamm und der Hauptdamm zum Teil auf dem Deponat selbst stehen. Im Fall eines Abbaus könnte es gegebenenfalls zu geotechnischen Schwierigkeiten kommen. Der ursprünglich angedachte, abschnittsweise und vertikale Abbau würde aufgrund der nötigen geotechnischen Sicherungen sehr kostenintensiv werden. Aber auch ein schichtenweiser Abbau müsste unter Umständen durch Sicherungsmaßnahmen begleitet werden. Die neu entstandenen Aufbereitungsrückstände könnten somit nicht direkt wieder eingeleitet werden, sondern müssten zwischengelagert werden. Weitere Maßnahmen zur

Aufrechterhaltung der Wasserhaltungsfunktion, die bei einem Abbau berücksichtigt werden müssen, sind die Schaffung eines Basisabdichtungssystems sowie Untersuchungen zur geotechnischen Stabilität des Untergrundes und der Dämme.



Bild 5: Rührwerk-Laborzelle Denver 3L, Sulfidkonzentrat für Laugeversuche, IFAD, Januar 2017

Quelle: Felix Römer, IFAD, TU Clausthal

Während der aufbereitungstechnischen Untersuchungen wurde festgestellt, dass das Bergeteichmaterial wesentlich feiner ist, als im Vorfeld erwartet. Etwa 50 Prozent der Partikel weisen eine Größe $< 10 \mu\text{m}$ auf. Es konnte keine größenabhängige Anreicherung einzelner Elemente festgestellt werden. Die sehr kleinen Partikel besitzen zum Teil Verwachsungen, sodass mit mechanischen Sortierverfahren keine zufriedenstellenden Konzentratqualitäten erzeugt werden konnte. Zur Trennung des Materials in verschiedene werthaltige Vorkonzentrate (Barytkonzentrat, Sulfidkonzentrat, Bergematerial) wurde eine Feinkornflotation eingesetzt. Die Flotation eines Sulfidkonzentrates zeigt Bild 5.

Im Anschluss an die Flotation erfolgt eine hydrometallurgische Aufbereitung, um die Vorkonzentrate weiter an Wertstoffen anzureichern. Dazu wurden verschiedene Technologien und Reagenzien ausgetestet. Mit Hilfe von Schwefelsäure können die Metalle Kupfer, Zink, Indium und Kobalt aufgeschlossen werden. Eine Trennung

dieser Elemente und die Abtrennung von vorhandenem Eisen mittels Solventextraktion und Ionenaustausch werden gegenwertig untersucht. Ebenfalls werden Methoden zur Anreicherung von Blei, Silber und Gold entwickelt.

Das Bild 6 zeigt den bisherigen Verfahrensansatz, weitere Ansätze werden aber ebenfalls verfolgt.

Die erzeugten Erzkonzentrate werden mit Hilfe geeigneter metallurgischer Verfahren zu verkaufsfähigen Produkten umgesetzt. Dazu erfolgt durch Industriepartner die Prüfung bekannter Verfahren wie die der Pyrometallurgie und die entsprechende Adaption derselben. Die Anforderungen der Verhüttung an die Erzkonzentrate fließen begleitend zur Entwicklung der Aufbereitungsverfahren ein.

Das Untersuchungsprogramm wird durch Szenarienentwicklungen für eine Abbauplanung einschließlich Materiallogistik sowie mit Untersuchungen zur Wasserführung während des Abbaus, zur Entwässerung der aufgenommenen Rückstände, der erzeugten Fraktionen und einer zukunftsfähigen Datenerfassung und Prozesssteuerung komplettiert.

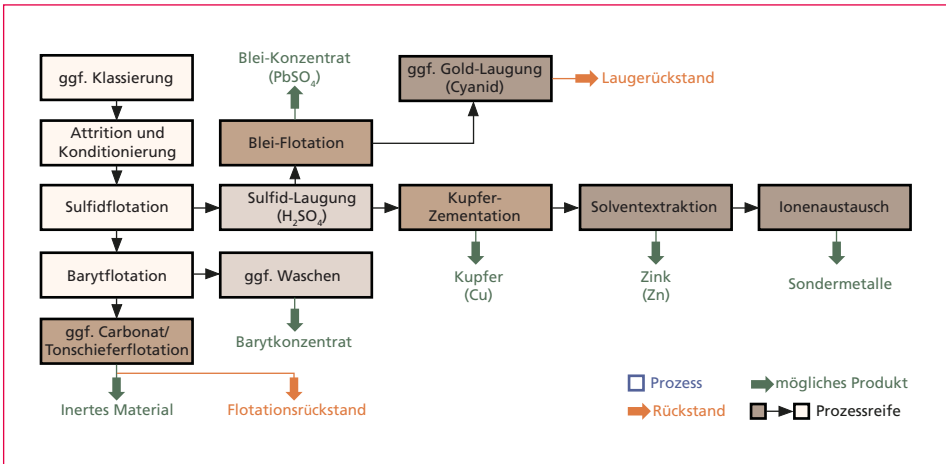


Bild 6: Verfahrensansatz im Projekt REWITA sowie mögliche Produkte und Rückstände mit einer Einschätzung zum derzeitigen Entwicklungsstand

Verändert nach: Felix Römer, IFAD, TU Clausthal

Eine ökologische und ökonomische Betrachtung der entwickelten Prozessketten sowie des erarbeiteten Abbaukonzepts erfolgt sowohl prozessbegleitend als auch nach Abschluss der Entwicklungen. Dabei wird die wirtschaftliche Anschlussfähigkeit am Standort selbst sowie mögliche Transferpotentiale auf andere Standorte geprüft und bewertet.

Dieses Projekt belegt beispielhaft, dass es sich beim Landfill Mining von Tailings um sehr komplexe Vorhaben handelt. Ein Abbau muss daher multikriteriell im Spannungsfeld der Rohstoffgewinnung, des Umweltschutzes und der Landnutzung bewertet werden [2, 17].

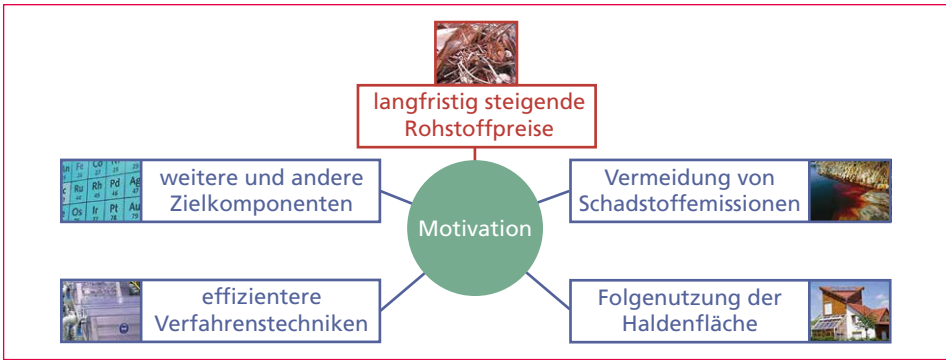


Bild 7: Multikriterieller Ansatz des Landfill Minings

Verändert nach: Zeller, T.; Bachmann, A.; Sauter, A.: Landfill Mining as Demonstrated by the Example of Mining and Metallurgical Tips in the Harz Mountains, Lower Saxony, Germany. Montreal, Kanada: Proceedings of the 23rd World Mining Congress, 2013

5. Zusammenfassung/Ausblick

Der Rückbau anthropogener Lagerstätten zur Gewinnung von Sekundärrohstoffen durch Landfill Mining bzw. Enhanced Landfill Mining erfährt aufgrund der Begrenztheit natürlicher Ressourcen ein zunehmendes Interesse. Das Forschungsprojekt *REWITA* zeigt modellhaft am Beispiel der Tailings am Bollrich/Rammelsberg, Goslar, dass Ablagerungen aus der Erzaufbereitung ein sehr interessantes anthropogenes Rohstoffpotential an wirtschaftsstrategischen Elementen beinhalten können. Das Vorgehen von der Erkundung bis hin zu einem Abbau dieser Ablagerungen ist komplex und wird modellhaft vorgestellt. Dabei können neben der Herausforderung einer Wertschöpfung aus der Rohstoffgewinnung durch entsprechend entwickelte Verfahren und Handlungsweisen auch Aspekte des Umweltschutzes Kriterien für eine Rückbauentscheidung darstellen. Ein Transfer der Projektergebnisse auf vergleichbare Tailings und damit zur Nutzung von Sekundärrohstoffen kann erwartet werden.

6. Literatur

- [1] Bernhard, A.; Domenig, M.; Reisinger, H.; Walter, B.; Weißenbach, T.: Deponierückbau – Wirtschaftlichkeit, Ressourcenpotenzial und Klimarelevanz, Report, Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2011
- [2] Bertram, A.; Daus, B.; Dittrich, S.; Goldmann, D.; Reemtsma, T.; Römer, F.; Zeller, T.: Die BMBF-Fördermaßnahme r^4 – Ressourceneffiziente Bereitstellung wirtschaftsstrategischer Rohstoffe. In: Müll und Abfall 01/18, 2018, S. 4-11
- [3] Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF): r^3 – Strategische Metalle und Mineralien, Innovative Technologien für Ressourceneffizienz, BMBF, 2013
- [4] Dhar, A.: Landfill Mining – A Comprehensive Literature Review, 2015, veröffentlicht auf: https://www.researchgate.net/profile/Arindam_Dhar2/publication/317555059_Landfill_Mining_-_A_Comprehensive_Literature_Review/links/593f42c4458515a6216b93fb/Landfill-Mining-A-Comprehensive-Literature-Review.pdf, abgerufen am 25.01.2018
- [5] European Commission: Critical raw materials for the EU. Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials und Annex V to the Report. Hg. v. European Commission, Brüssel, 2010
- [6] Eichhorn, P.: Erzaufbereitung Rammelsberg – Entstehung, Betrieb, Vergleich. In: Jahressgabe des Fördervereins Rammelsberger Bergbaumuseum Goslar/Harz e.V., Eigenverlag des Fördervereins, Goslar, 2012
- [7] Fricke, K.; Münnich, K.; Heußner, C.; Schulte, B.; Wanka, S.: Landfill Mining – ein Beitrag der Abfallwirtschaft für die Ressourcensicherung. In: Thomé-Kozmiensky, K.J., Goldmann, D. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2012 S. 933-944
- [8] Jaspert, B.; Mehringskötter, M.; Friedrich, B.; Kaufen, F.: Rotschlamm – Rückbau und Vermeidung von Rotschlammdeponien. In: Dürkoop, A.; Brandstetter, C. P.; Gräbe, G.; Rentsch, L. (Hrsg.): Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Strategische Metalle und Mineralien, Ergebnisse der Fördermaßnahme r^3 . Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2016
- [9] Jones, P.T.; Geysen, D.; Tielemans, Y.; van Passel, S.; Pontikes, Y.; Blanpain, B.; Quaghebeur, M.; Hoekstra, N.: Enhanced Landfill Mining in view of multiple resource recovery: a critical review. Journal of Cleaner Production 55, 2013, S. 44-55
- [10] Krook, J.; Svensson, N.; Eklund, M.: Landfill Mining: A critical review of two decades of research. Waste Management 32. Linköping, Sweden: 2012, S. 513-520

- [11] Krüger, M.; Becker, B.; Münnich, K.; Sprengler, T.; Knappe, F.; Dehoust, G.: TönsLM – Entwicklung innovativer Verfahren zur Rückgewinnung ausgewählter Ressourcen aus Siedlungsabfalldeponien. In: Dürkoop, A.; Brandstetter, C. P.; Gräbe, G.; Rentsch, L. (Hrsg.): Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Strategische Metalle und Mineralien, Ergebnisse der Fördermaßnahme r³. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2016
- [12] Krüger, M.; Becker, B.; Fricke, K.; Münnich, K.; Wanka, S.; Zeiner, A.; Spengler, T.S.; Kieckhäfer, K.; Breitenstein, A.; Dichtl, N.; Fülling, K.; Pretz, T.; Maul, A.; Quicker, P.; Rotheut, M.; Goldmann, D.; Breitenstein, B.; Knappe, F.; Reinhardt, J.; Markwardt, S.; Theis, S.; Dittrich, M.; Dehoust, G.: Leitfaden zum Enhanced Landfill Mining. Porta Westfalica: Karl Tönsmeier Entsorgungswirtschaft GmbH & Co. KG, 2016. erreichbar unter: <https://doi.org/10.2314/GBV:873234979>, abgerufen am 25.01.2018
- [13] Krüger, M.; Fricke, K.; Münnich, K.; Wanka, S.: Deponierückbau. In: Kurth, P.; Oexle, A.; Faulstich, M. (Hrsg.): Praxishandbuch der Kreislauf- und Rohstoffwirtschaft. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2018, S. 733-751
- [14] Ließmann, W.: Historischer Bergbau im Harz – Ein Kurzführer, Schriften des Mineralogischen Museums der Universität Hamburg, Band 1. Köln: Verlag Sven von Loga, 1992, S. 99f.
- [15] Woltemate, I.: Beurteilung der geochemischen und sedimentpetrographischen Aussagefähigkeit von Bohrproben aus Flotationsabgängen in zwei Absitzbecken des Erzbergwerks Rammelsberg, Clausthal-Zellerfeld, 1988
- [16] Zeller, T.; Bachmann, A.; Sauter, A.; Faulstich, M.: Landfill Mining: Harzer Halden als Beitrag zur Rohstoffeffizienz. In: Wasser und Abfall 12/2013, 2013, S. 40-44
- [17] Zeller, T.; Bachmann, A.; Sauter, A.: Landfill Mining as Demonstrated by the Example of Mining and Metallurgical Tips in the Harz Mountains, Lower Saxony, Germany. Montreal, Kanada: Proceedings of the 23rd World Mining Congress, 2013

Aschen • Schlacken • Stäube Mineralische Nebenprodukte und Abfälle



Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky • Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Aschen • Schlacken • Stäube
– aus Abfallverbrennung und Metallurgie –
2013 (ISBN: 978-3-935317-99-3)
Preis: 50,00 EUR

Mineralische Nebenprodukte und Abfälle 3
– Aschen, Schlacken, Stäube und Baurestmassen –
2016 (ISBN: 978-3-944310-28-2)
Preis: 100,00 EUR

Mineralische Nebenprodukte und Abfälle
– Aschen, Schlacken, Stäube und Baurestmassen –
2014 (ISBN: 978-3-944310-11-4)
Preis: 50,00 EUR

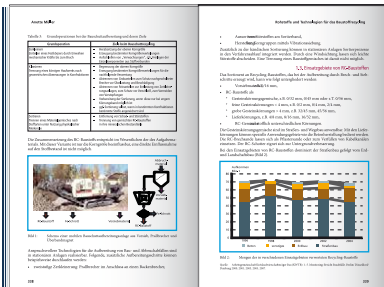
Mineralische Nebenprodukte und Abfälle 4
– Aschen, Schlacken, Stäube und Baurestmassen –
2017 (ISBN: 978-3-944310-35-0)
Preis: 100,00 EUR

Mineralische Nebenprodukte und Abfälle 2
– Aschen, Schlacken, Stäube und Baurestmassen –
2015 (ISBN: 978-3-944310-21-3)
Preis: 50,00 EUR

Paketpreis

Aschen • Schlacken • Stäube
+
Mineralische Nebenprodukte
und Abfälle, Band 1 bis 4

260,00 EUR
statt 350,00 EUR



Bestellen Sie direkt beim TK Verlag oder unter www.vivis.de

Dorfstraße 51
D-16816 Nietzwerder-Neuruppin
Tel. +49.3391-45.45-0 • Fax +49.3391-45.45-10
E-Mail: tkverlag@vivis.de

