



Ökologisch vertretbare Haldenpotenziale nutzen

Deutschland ist in der Versorgung mit metallischen Rohstoffen zu nahezu 100 % von Importen abhängig. Mit dem Ziel einer verbesserten Rohstoffeffizienz, aber auch einer nachhaltigen Rohstoffversorgung mit diversifizierten Lieferketten für die deutsche Industrie bearbeitet die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) seit vielen Jahren „Haldenprojekte“ im In- und Ausland. Bei der Gewinnung von Metallen oder Industriemineralen aus Primärerzen, besonders aus dem Kupfer-, Gold-, und Eisenerzbergbau, bleibt prozessbedingt ein Anteil der Wertstoffe in den Aufbereitungsrückständen zurück. Bei wachsendem Rohstoffbedarf der Weltwirtschaft, aber auch wegen generell sinkender Gehalte an Wertmetallen in den Primärlagerstätten, nimmt die Menge der Halden kontinuierlich zu. Viele Milliarden Tonnen an Reststoffen aus der Rohstoffgewinnung lagern in den großen Bergbauländern. Seit einigen Jahren werden Konzepte und Technologien entwickelt, um die Halden nachhaltig, umweltgerecht und sicher zu gestalten. In den Tailings sind die Gehalte an Wertstoffen sehr variabel, dennoch ist man an einigen Standorten in der Lage, die Wertmetalle durch neue und optimierte Aufbereitungsverfahren zumindest teilweise sekundär zu extrahieren und wirtschaftlich nutzbar zu machen.

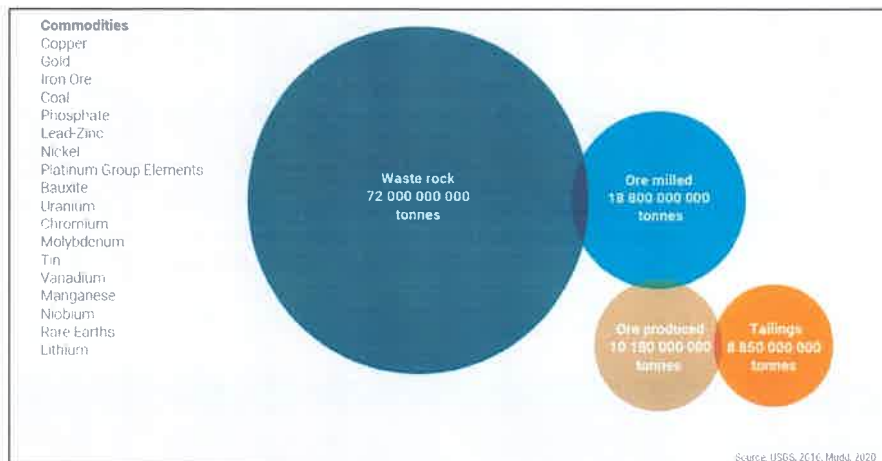


Bild 1: Schätzung der produzierten Menge an Aufbereitungsrückständen und Abraumhalden im Verhältnis zur Erzproduktion

Nach Schätzungen des USGS (United States Geological Survey) werden weltweit ca. 8 Mrd. t Aufbereitungsrückstände produziert, wovon nahezu die Hälfte (46 %) aus der Kupferaufbereitung stammen und weitere 21 % aus der Goldproduktion. Insgesamt fallen dabei rund 72 Mrd. t Abraum an (Bild 1).

Angesichts dieser Menge ist es durchaus vorstellbar, dass sich weltweit das wirtschaftliche, wissenschaftliche aber auch das politische Interesse zunehmend den Bergbaurückständen widmet. Viele Tailings bereiten allerdings Probleme im Hinblick auf ihre ökologischen Risiken für Boden und Grundwasser, aber auch wegen ihrer Standsicherheit. Für die Sicherheit und auch für die Sanierung von Bergbauhalden sind in den meisten Bergbauländern deshalb inzwischen gesetzliche Regelungen eingeführt. Die Einhaltung dieser Gesetze liegt in der Verantwortung der Bergbauunternehmen, für deren Kontrollen sind die jeweiligen Regierungen und lokalen Behörden zuständig. Die langfristige Sicherung von Halden spielt dabei eine herausragende Rolle. Der katastrophale Dammbbruch im Januar 2019 beim brasilianischen Bergbaukonzern

Vale in einem Rückhaltebecken für eingespülte Tailings aus der Eisenerzproduktion, im Bergwerk Corrego do Feijão in Brumadinho mit vielen Toten, führte die Risiken, die von solchen Aufbereitungsrückständen ausgehen können, erschreckend vor Augen. Unmittelbar nach diesem verheerenden Unfall veröffentlichte das International Council on Mining and Metals (ICMM) die Global Tailings Review, einen neuen Standard für ein sicheres Management von Tailings Facilities, um das Vertrauen der Zivilgesellschaft und der Öffentlichkeit wiederzuerlangen.

Ökonomische Kriterien zur Haldenaufbereitung

Neben den ökologischen Herausforderungen bieten Bergbaurückstände jedoch auch ein ökonomisches Potential, insbesondere in Zeiten steigender Rohstoffpreise. Hinsichtlich wirtschaftlicher Kriterien und nach dem Stand der heutigen Aufbereitungstechnologien ist allerdings nur ein kleiner Teil der existierenden Halden für eine Wiederaufbereitung geeignet. Wirtschaftlich vielversprechende Wertstoffe

finden sich vor allem in Reststoffen aus älteren, teils mehrere Jahrzehnte zurückliegenden Bergbau- und Aufbereitungsaktivitäten. Mit neuen Aufbereitungstechnologien werden heute vorwiegend Edelmetalle wie Gold, aber auch Platinmetalle aus den Aufbereitungsrückständen wirtschaftlich gewonnen. Dennoch fehlen vielerorts ökonomisch effiziente und umweltverträgliche Methoden, um die Reststoffe wiederaufzubereiten. Zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die Wiederaufbereitung von Bergbau- und Aufbereitungsrückständen wird von den Bergwerksbetreibern in der Regel im ersten Schritt eine Machbarkeitsstudie (Pre-Feasibility-Studie) angefertigt. Diese kann in Form eines „Competent Persons’ Report“ von einem Beratungsunternehmen durchgeführt werden und beinhaltet eine Projektbeschreibung mit Rechtsrahmen und geologischer Situation, mineralogisch-geochemischen Daten von Proben und Bohrkernen, ein geologisches Modell des Haldenkörpers, eine Klassifikation der Erzressourcen und -Reserven, Ergebnisse von Testarbeiten zur Aufbereitung und zur Metallurgie und eine generelle Projektbewertung. Je nach Größe der Halde, wird fallweise von den örtlichen Behörden auch eine Umweltverträglichkeitsprüfung gefordert. Hinsichtlich einer verbesserten Rohstoffeffizienz existieren weltweit eine Reihe von interessanten „Haldenprojekten“ (Beispiele aus Chile, Brasilien und Südafrika). Diese beschäftigen sich mit der ökonomischen Bewertung, mit ökologischen Fragestellungen und mit der Entwicklung von innovativen, umweltfreundlichen und wirtschaftlichen Aufbereitungstechnologien für Bergbaureststoffe.

Bewertung und Aufbereitung von Kupferhalden in Chile

Chile ist mit einer Jahresproduktion von etwa 5,7 Millionen t Kupfer mit Abstand der weltweit größte Kupferproduzent. Aufgrund der geringen Kupfergehalte in den chilenischen Erzen von durchschnittlich nur 0,5 bis 1 %, betragen die Reststoffe aus der Kupfergewinnung ca. 99 % des geförderten Erzes. Nach vielen



Jahrzehnten des Kupferbergbaus wird das Gesamtvolumen der chilenischen Kupferhalden auf ca. 11 Mrd. t geschätzt. Landesweit werden große Anstrengungen unternommen, die Halden hinsichtlich der Restgehalte an Kupfer und teilweise auch Gold, Molybdän, Kobalt etc. neu zu bewerten und wiederaufzubereiten. Im Rahmen einer deutsch-chilenischen Rohstoffpartnerschaft betreibt die BGR seit 2016, gemeinsam mit dem chilenischen Geologischen Dienst SERNAGEOMIN, ein Projekt zur wirtschaftlichen Bewertung von kleinen bis mittelgroßen Kupferhalden (bis ca. 10 Mio. t) an unterschiedlichen Betriebsstandorten in Nord-Chile. Insgesamt wurden zwölf solcher Kupferhalden systematisch untersucht. Drei Haldenkörper sind für detaillierte Beprobungen, zu weiteren Analysen und für anschließende Aufbereitungstests in Deutschland ausgewählt worden. Bei einer Halde wurden anschließend umfangreichere Laborexperimente, von der Laugung bis zur Extraktion von gelöstem Kupfer aus den Laugungslösungen, durchgeführt und eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung vorgenommen. Insgesamt etwa 500 kg Haldenproben wurden für geochemische Untersuchungen und Aufbereitungstests nach Deutschland geschickt. Verschiedene geochemische Analysen und Aufbereitungsversuche mittels Dichtesortierung, Magnetscheidung, Flotation und Laugung zeigten, dass durch Einsatz von Ionenaustauscher-Harzen ein nahezu hundertprozentiges Ausbringen an Kupfer erreicht werden kann. Aufgrund der Versuche mit den Ionenaustauscher-Harzen und den angepassten Kostenmodellen aus der Aufbereitung von Primärerzen konnten Kostenstrukturen abgeleitet werden, die eine wirtschaftliche Machbarkeit anzeigen. Zusätzliches Potenzial bieten die zum Teil hohen Eisengehalte (>25%) und Gehalte an Pyrit (5-20%).

Gewinnung von Kobalt und Nickel aus Nickel-Lateriten in Brasilien

Aufgrund der hohen und stetig steigenden Nachfrage an Batterierohstoffen wie Nickel und Kobalt, besonders für die Elektromobilität, werden weltweit neue Produktionsmöglichkeiten gesucht. Insbesondere Kobalt wird zum großen Teil (derzeit zu rund 70 %) in politisch instabilen Ländern wie der Demokratischen Republik Kongo (DRC) oder in Sambia produziert. Brasilien ist einer der weltweit wichtigsten Nickel-Produzenten und verfügt über beträchtliche Reserven, zum größten Teil in Form von Nickel-Lateriten, welche auch signifikante Bestandteile an Kobalt aufweisen. Derzeit wird in Brasilien jedoch kein Kobalt industriell gewonnen und die Kobalt-haltigen Formationen werden als Stockpiles in den Nickelbergwerken, d.h. in den Tagebaubetrieben zwischengelagert.

In einem Kooperationsprojekt der BGR mit dem brasilianischen Geologischen Dienst (CPRM), dem brasilianischen Zentrum für Aufbereitungstechnik (CETEM) sowie den Firmen



Bild 2: Vorratshalden (Stockpiles) von limonitischem Erz im Nickel-Tagebau Barro Alto von Anglo American Nickel in Goiás, Brasilien
Foto: DERA

Brazilian Nickel (BRN) und Anglo American Nickel werden biologische Laugungsverfahren entwickelt, die speziell für die Extraktion von Kobalt und Nickel, sowie von weiteren Metallen wie Scandium, Kupfer und Vanadium geeignet sind. Für die Experimente wird Probenmaterial aus den Tagebauen Barro Alto (Anglo American) und Piauí (BRN) sowie aus dem Explorationsprojekt Jacaré (Anglo American) verwendet. Die Bio-Hydrometallurgie oder Biolaugung gilt als besonders umweltverträglich, da im Gegensatz zu konventionellen Laugungsverfahren der Säure- und der Wasserverbrauch, wie auch der Energieeinsatz sehr gering sind. Bei der Biolaugung lösen Mikroorganismen chemische Reaktionen (Redoxreaktionen) auf der Oberfläche der Erzminerale aus und gewinnen damit Energie. Ziel dieses mikrobiellen Lösungsverfahrens ist die selektive Extraktion der Wertmetalle (95%) Co und Ni (sowie Sc, Cu, V) bei möglichst geringer Dissoziation von Eisenoxiden, da hohe Eisengehalte die weiteren Prozessschritte erschweren und Fe wieder aus der Lösung entfernt werden muss. Für diese selektive Laugung werden unterschiedliche Mikroorganismen (aerob, anaerob) unter variablen Bedingungen (pH, Temperatur) getestet (Bild 2).

Aufbereitung von Platinerzen und -halden in Südafrika

In Südafrika arbeiten einige der lokal ansässigen Unternehmen bereits seit mehreren Jahren erfolgreich an der Wiederaufbereitung von Platin-Halden sowie von Halden aus der Chromitaufbereitung für die sekundäre Produktion von Platingruppenmetallen (PGM bzw. PGE). Südafrika besitzt ein beträchtliches sekundäres Ressourcenpotenzial an PGM, welches die derzeitige jährliche südafrikanische Bergwerksproduktion der PGM erheblich übersteigt. Überdies lagern in einigen südafrikanischen PGM-Bergwerken mehreren Millionen Tonnen oberflächennaher oxidierten Erze, welche bis zu einer Tiefe von 50 m durch meteorische Wasser verwittert und somit mineralogisch verändert sind. Die Wertstoffinhalte dieser oxidierten PGM-Erze sind mit den frischen Erzen vergleichbar und liegen bei ca. 3-4 ppm PGE, allerdings sind oxidierte PGM-Minerale wesentlich schlechter ausbringbar als Sulfid-



Bild 3: der Mogalakwena-PGM-Tagebau von Anglo American Platinum mit Stockpiles und Dumps (im Hintergrund, oben) in der Limpopo-Provinz, Südafrika
Foto: DERA

minerale. Allein im Bergwerk Mogalakwena von Anglo American Platinum, dem größten PGM-Tagebau der Welt, im nördlichen Bushveld-Komplex, wurden bereits ca. 8 Millionen Tonnen solcher oxidierten Erze angehäuft. Darüber hinaus sind dort auch niedriggradige sulfidische („frische“) PGM-Erze bevorratet, welche aber nur eingeschränkt wirtschaftlich aufbereitet werden können. Aufgrund der derzeitigen erhöhten Nachfrage an PGM, beispielsweise für neuartige Technologien wie dem Katalysieren von Wasserstoff, forscht die BGR seit einigen Jahren an einer effizienten Aufbereitungsmethode für dieser Erztypen.

Die Oxidminerale, wie sie in diesen Erzen in besonders hohen Gehalten vorkommen, können nicht mit herkömmlichen Methoden aufbereitet werden (z.B. durch Flotation), sondern die Wertmetalle müssen hydrometallurgisch, also mit Laugungsverfahren gelöst werden. Dazu werden derzeit an der BGR sowie an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg (TUBAF) mikrobielle Experimente zur Aufbereitung der PGM-Erze durchgeführt (Bild 3).

Fazit

Bergbaureststoffe sind unvermeidlich und wachsen mit steigender Rohstoffproduktion stetig an. Genaue Daten zu den Volumina der weltweit produzierten Bergbauhalden sind kaum verfügbar. Halden sind äußerst komplexe Systeme, die einer verantwortungsvollen Planung, Konstruktion, Betrieb, Management und Aufsicht bedürfen, um diese über Generationen sicher zu lagern. Zur Erarbeitung entsprechender Nachhaltigkeitskonzepte und deren Anwendung sind die Unternehmen, aber auch die Regierungen aufgerufen. Dazu wurden bereits internationale Standards definiert. Eine sekundäre Wiederaufbereitung der Haldenmaterialien und somit eine Nutzbarmachung der enthaltenen Rohstoffe ist in einigen Fällen wirtschaftlich sinnvoll. Dies ist jedoch mit einigem Aufwand verbunden und letztendlich sind dafür systematische ökonomische Bewertungen der wiederaufzubereitenden Halden unerlässlich. So können Bergbaureststoffe durchaus einen nennenswerten Beitrag zur Ressourceneffizienz und zu einer nachhaltigen Rohstoffversorgung zukünftig leisten.