

The Hidden Potential of Contaminated Sites: Reprocessing Tailings for Use as a Secondary Source of Raw Materials

As part of the Eco Mining Concepts project, a German-Chilean network for more sustainable mining, the German-Chilean Chamber of Industry and Commerce (AHK Chile) organised a webinar on the topic of "The Hidden Potential of Contaminated Sites: Reprocessing Tailings for Use as a Secondary Source of Raw Materials". The event featured presentations on Chile's potential

in this field, current challenges and initiatives and projects already in progress. Furthermore, approaches developed in Germany, Finland and Ireland were presented and possible applications in Chile were discussed. The initiative was funded by the Federal Ministry of Economics and Energy (BMWi). This article is a summary of the four presentations given during the webinar.

Das verborgene Potential von Altlasten: Wiederaufbereitung von Bergbaurückständen zur Nutzung als sekundäre Rohstoffquelle

Im Rahmen des Projekts Eco Mining Concepts, einem deutsch-chilenischen Netzwerk für einen nachhaltigeren Bergbau, organisierte die Deutsch-Chilenische Industrie- und Handelskammer, AHK Chile, am 21. Oktober 2021 ein Webinar zum Thema „Das verborgene Potential von Altlasten: Wiederaufbereitung von Bergbaurückständen zur Nutzung als sekundäre Rohstoffquelle“. Die Veranstaltung bot Präsentationen über das Potential Chiles

in diesem Bereich, aktuelle Herausforderungen sowie bereits angestoßene Initiativen und Projekte. Darüber hinaus wurden in Deutschland, Finnland und Irland entwickelte Ansätze vorgestellt und mögliche Anwendungen in Chile diskutiert. Die Initiative wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert. Dieser Artikel ist eine Zusammenfassung der vier im Webinar gehaltenen Vorträge.

National plan for the disposal of tailings for sustainable mining

Eduardo Zúñiga Acosta, Head of Project Management at the Chilean Ministry of Mines, presented Chile's new national plan for the disposal of tailings for sustainable mining. There are currently 102 abandoned waste piles in Chile; the general public is often unaware of the potential hazards inherent in these piles. Investors, on the other hand, are well aware of what they represent. They know of the disasters involving such tailings piles that have occurred worldwide, but they are also aware of the economic potential of the tailings piles in view of the declining recoverable material content in ores, and they are familiar with the current challenges facing the mining industry ranging from the sustainability of raw material extraction to climate change. This is the setting for Chile's development of a plan based on the three pillars of community safety, environmental sustainability and circular economy and aimed at the ultimate goal of promoting secondary mining.

Nationaler Plan zur Ablagerung von Bergbaurückständen für einen nachhaltigen Bergbau

Eduardo Zúñiga Acosta, Abteilungsleiter Projektmanagement im chilenischen Bergbauministerium, stellte den neuen nationalen Plan Chiles zur Ablagerung von Bergbaurückständen für einen nachhaltigen Bergbau vor. In Chile gibt es derzeit 102 aufgegebene Halden, deren Gefahrenpotential der Öffentlichkeit häufig nicht bewusst ist. Investoren sind die Zusammenhänge dagegen sehr wohl bekannt. Sie kennen die Katastrophen, die sich in Zusammenhang mit solchen Halden weltweit ereignet haben, sie kennen auch das wirtschaftliche Potential der Halden vor dem Hintergrund sinkender Wertstoffgehalte im Erz und sie kennen die aktuellen Herausforderungen, denen sich die Bergbauindustrie zu stellen hat, beginnend bei der Nachhaltigkeit der Rohstoffgewinnung bis hin zum Klimawandel. Vor diesem Hintergrund hat Chile einen Plan entwickelt, der auf den drei Säulen Sicherheit der Bevölkerung, Umweltverträglichkeit und Kreislaufwirtschaft

Work on the new decree DS 248 began in July 2019 with the participation of 25 experts from the ministry and public administration as well as from the private sector: mining, environmental, consulting and other companies. The decree comprises six key areas: safety of the population and the environment, tailings management, sustainability of tailings, traceability, secondary mining and adaptability.

Implementation of the decree was accompanied by the classification of the existing tailings piles according to their risk potential. A working group ranked them in one of the four categories "Low", "Medium", "High" and "Very high". The creation of a basis of trust in the general public is especially important for successful implementation. With this in mind, an integral monitoring system was developed in which competencies are clearly regulated, traceability is assured and responsibility is unambiguously attributable.

Furthermore, the decree also deals with the question of what should ultimately happen to the tailings from the piles. The objectives are the recycling of the tailings and the establishment of a plan for a circular economy.

Economic potential of reprocessing tailings on a small to medium scale

In a presentation titled "Economic potential of reprocessing tailings on a small to medium scale", Malte Drobe from the Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR), Hanover/Germany, reported on two projects for the reprocessing of tailings from copper mining that the BGR carried out in Chile between 2013 and 2020 (Figure 1). For more of this see pages 570 to 573 in this issue.

The evaluation of the tailings required the evaluation of several processing options:

- flotation;
- gravimetric separation;
- magnetic separation;
- leaching; and
- copper recovery from leaching solutions.

aufbaut, mit dem Ziel, letzten Endes auch einen Sekundärbergbau zu fördern.

Die Arbeiten an dem neuen Dekret DS 248 begannen im Juli 2019. Beteiligt waren 25 Experten nicht nur aus dem Ministerium und der öffentlichen Verwaltung, sondern auch aus dem privaten Bereich, aus Bergbau-, Umwelt-, Consulting- und anderen Unternehmen. Herausgearbeitet wurden sechs Kernthemen des Dekrets: Sicherheit der Bevölkerung und der Umwelt, Haldenmanagement, Nachhaltigkeit der Halden, Rückverfolgbarkeit, Sekundärbergbau und Anpassungsfähigkeit.

Zur Umsetzung des Dekrets wurden die vorhandenen Halden von einer Arbeitsgruppe entsprechend ihres Risikopotentials klassifiziert und in die vier Kategorien „niedrig“, „mittel“, „hoch“ und „sehr hoch“ eingeteilt. Besonders wichtig für die Umsetzung ist es, eine Vertrauensbasis innerhalb der Bevölkerung zu schaffen. Dafür wurde ein integrales Monitoring-System entwickelt, in dem die Zuständigkeiten klar geregelt sind, das eine Rückverfolgbarkeit ermöglicht und somit die Verantwortlichkeit eindeutig zuordnet.

Darüber hinaus beschäftigt sich das Dekret auch mit der Frage, was mit den Tailings aus den Halden letztlich passieren soll. Ziel ist dabei die Wiederaufbereitung der Tailings und die Aufstellung eines Plans für eine Kreislaufwirtschaft.

Wirtschaftliches Potential der Wiederaufbereitung von Bergbaureststoffen in kleinem bis mittlerem Maßstab

Unter der Überschrift „Wirtschaftliches Potential der Wiederaufbereitung von Bergbaureststoffen in kleinem bis mittlerem Maßstab“ berichtete Malte Drobe von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, über zwei Projekte zur Wiederaufbereitung von Bergbaurückständen aus dem Kupferbergbau, welche die BGR zwischen 2013 und 2020 in Chile durchgeführt hat (Bild 1). Siehe dazu auch die Seiten 570 bis 573 in dieser Ausgabe.

Um Tailings zu bewerten, müssen demnach mehrere Verarbeitungsoptionen evaluiert werden:

- Flotation,
- Schwereretrennung,
- Magnetabscheidung,
- Laugung, und
- Kupferrückgewinnung aus Laugelösungen.

Im Rahmen der durchgeführten Projekte wurden von der BGR Tests im Labormaßstab durchgeführt, um Kostenmodelle für die Wiederaufbereitung von Tailings zu entwickeln und Abschätzungen der Investitions- und Betriebskosten sowie eine Bewertung der Machbarkeit zu ermöglichen. Dabei stellte sich heraus, dass neben Kupfer auch andere Rohstoffe, insbesondere Ei-

- **Project AHK 2013 – 2015**
 - 12 tailings sampled and analysed
 - Processing tests on 4 tailings

- **Project SERNAGEOMIN 2016 – 2020**
 - 10 tailings sampled and analysed
 - Processing tests on 2 tailings
 - Detailed processing on 1 tailing



Muestreo con sonda (Tranque Delirio, Punitaqui)



Acceso de relaves de SOTRAMIN (Taltal)



Saca de la sonda con barras (Tranque Delirio, Punitaqui)

Fig. 1. BGR projects in Chile. // Bild 1. BGR-Projekte in Chile. Source/Quelle: BGR

Over the course of the projects, BGR conducted laboratory-scale tests to develop cost models for tailings reprocessing and to obtain estimates of investment and operating costs and an assessment of feasibility. It was determined that other raw materials besides copper, especially iron, can be of economic interest. The copper grades, e.g., in the tailings processing test for the Taltal sample were as high as 1% (average 0.5%) while the iron grades reached as much as 36% (average 26%).

The following simplified cost models could be derived from the BGR tests:

1. Reprocessing using flotation (capacity 500 t/d) would result in process costs of 22.27 US\$/t and a capital expenditure of 17.7 M US\$. However, as the tailings are already crushed and milled, the cost of operation is reduced to 13.36 US\$/t and for capital expenditure to 9.4 M US\$. Amortising the total investment of 36 M US\$ would require the recovery of approximately

Flotation – mag. sep.	Mass [t]	grade Fe [%]	rec Fe [%]	grade Cu [%]	rec Cu [%]	Cu cont [t]	Metal* value [US\$]
Tailings total	2.000.000	26		0,56			
Pre-conc. Cu	430.000			1,5	59	6.580	36.200.000
Fe concentrate	570.000	60	64	0,08			37.000.000

- Good Fe recovery, poor Cu recovery.
- Investment and processing costs: 36 Mio. US\$
- Non marketable Cu-product

Flotation 500 t/d*					
	labour	supplies	administration	diverse articles	Total
Original processing costs	7,61	8,68	3,69	2,02	22,27
CAPEX					15.700.000
Without crushing and milling					
Processing costs	4,19	2,78	2,61	1,33	10,91
CAPEX					8.400.000
including contingency					
Adopted Processing costs					13,36
Adopted CAPEX					9.400.000
Total investment plus processing costs					36.120.000
t of Cu to be recovered					6.567
including NSR of 0.8					8.209
recoverable Cu grade					0,41

*costs from CostMine *Precios: Fe 65 US\$/t, Cu 5.500 US\$/t

Fig. 2. Simplified valuation (1). // Bild 2. Vereinfachte Wertermittlung (1). Source/Quelle: BGR

Leaching – mag. sep.	Mass [t]	grade Fe [%]	rec Fe [%]	grade Cu [%]	Cu-leach [%]	Cu Rec [%]	Cu-cont [t]	Metal* value [US\$]
Tailings total	2.000.000	27		0,5			11.200	
Leaching	2.000.000				0,4	80	8.000	44.000.000
Fe concentrate	600.000	60	74					39.000.000

- Much higher Cu recovery
- Marketable product

Agitated tank leaching 500 t/d				
	labour	supplies	Operation and equipment	Total
Original processing costs	22,23	13,55	4,26	40,04
CAPEX				19.460.700
Without crushing and milling				
Processing costs	12,16	10,39	2,83	25,38
CAPEX				16.714.180
Without crushing and milling AND adaption of Cu leaching				
Adopted Processing costs	8,15	5,865	2,155	16,17
Adopted CAPEX				9.400.000
Total investment plus processing costs				41.200.000
t of Cu to be recovered				7.490
including NSR of 0.8				7.409
recoverable Cu grade				0,37

*cost from CostMine *Precios: Fe 65 US\$/t, Cu 5.500 US\$/t

Fig. 3. Simplified valuation (2). // Bild 3. Vereinfachte Wertermittlung (2). Source/Quelle: BGR

sen, von wirtschaftlichem Interesse sein können. So betragen der Kupfergehalt im Aufbereitungstest der Tailings für das Beispiel Taltal bis zu 1% (Durchschnitt 0,5%), der Eisengehalt dagegen bis zu 36% (Durchschnitt 26%).

Aus den Tests der BGR ließen sich folgende vereinfachte Kostenmodelle ableiten:

1. Für eine Wiederaufbereitung mittels Flotation (Durchsatz 500 t/d) ergäben sich Prozesskosten von 22,27 US-\$/t und ein Investitionsaufwand von 17,7 Mio. US-\$. Da die Tailings aber schon gebrochen und gemahlen sind, verringern sich die Kosten für den Betrieb auf 13,36 US-\$/t und für die Investitionen auf 9,4 Mio. US-\$. Um die Gesamtinvestitionen von 36 Mio. US-\$ zu erwirtschaften, muss man ca. 8.200 t Kupfer aus insgesamt 2 Mio. t Tailings zurückgewinnen. Dabei ist ein Preis von lediglich 5.500 US-\$/t Kupfer unterstellt. Aktuell liegt der Preis deutlich höher, was sich aber auch schnell wieder ändern kann (Bild 2).

2. Da der Kupfergehalt der Tailings im Beispielfall Taltal relativ gering ist, hat die BGR auch eine Kosten- und Investitionsabschätzung für eine Wiederaufbereitung mittels Tanklaugung durchgeführt. Unter ansonsten gleichen Rahmenbedingungen (2 Mio. t Tailings, Durchsatz 500 t/d, Kupferpreis 5.500 US-\$/t) ergeben sich ohne Zerkleinerung Betriebskosten von 16,17 US-\$/t bei Investitionen von ebenfalls 9,4 Mio. US-\$. Um die Gesamtinvestitionen von 41 Mio. US-\$ zu erwirtschaften, muss man hier ca. 7.500 t Kupfer zurückgewinnen (Bild 3).

Als Ergebnis lässt sich an dieser Stelle festhalten, dass die Wirtschaftlichkeit der Wiederaufbereitung der Tailings bei einem Metallwert von 44 Mio. US-\$ und Wiederaufbereitungskosten von 41,2 Mio. US-\$ gegeben sein könnte (Bild 4). Allerdings ist der Unterschied zwischen Aufwand und Ertrag relativ gering. Wirtschaftlich interessant wird die Wiederaufbereitung der Tailings aus Taltal jedoch dann, wenn auch das Eisen zurückgewonnen wird, da hier die Differenz zwischen dem Metallwert (39 Mio. US-\$) und den Wiederaufbereitungskosten (20,7 Mio. US-\$) deutlich größer ist.

Die Kupferrückgewinnung aus den Tailings kann auch aus Laugelösungen erfolgen. Da die getestete Laugelösung lediglich 700 mg/l Kupfer enthielt, waren die Ergebnisse jedoch nicht zufrieden-

8,200 t of copper from a total of 2 Mt of tailings. This estimate assumes a copper price of only 5,500 US\$/t. The price is currently significantly higher, but this can change again quickly (Figure 2).

- As the copper grade of the tailings in the Taltal sample is relatively low, BGR also prepared a cost and investment estimate for reprocessing using agitated tank leaching. Presuming otherwise identical conditions (2 Mt tailings, capacity 500 t/d, copper price 5,500 US\$/t), operating costs without crushing amount to 16.17 US\$/t plus capital expenditure at the same level of 9.4 M US\$. Amortising the total investment of 41 M US\$ would require the recovery of approximately 7,500 t of copper (Figure 3).

Economies with adopted "agitation leach" model:

	Mass tailings [t]	Cu grade in tailings [%]	Cu recovery [%]	Cu recovery [t]	Metal value* [US\$]	Costs of recovery [US\$]
leaching	2.000.000	0,5	80	8.000	44.000.000	41.200.000

- Costs are covered by revenue
- With a 500 t/d capacity -> 12 years to reprocess the tailings
- Comparable mining project would have optimum lifetime of 6-7 years -> 500 t/d very conservative. A higher capacity would increase the economies

	Mass tailings [t]	Fe grade in tailings [%]	Fe grade in concentrate [%]	Mass Fe concentrate [t]	Metal value* [US\$]	Costs of recovery [US\$]
Magnetic separation	2.000.000	22	60	600.000	39.000.000	20.725.000

- For rion ore, transport costs are an important factor
- The calculation is based on a transport distance of 160 mile (to Caldera) and on costs of 0,10 US\$/t/mile

*Precios: Fe 65 US\$/t, Cu 5.500 US\$/t

Fig. 4. Economic evaluation based on adopted cost models.

Bild 4. Ökonomische Bewertung anhand übernommener Kostenmodelle. Source/Quelle: BGR

The conclusion at this point is that the economic viability of reprocessing the tailings could be achieved for a metal value of 44 M US\$ and reprocessing costs of 41.2 M US\$ (Figure 4). However, the difference between cost and return is relatively small. The reprocessing of the tailings from Taltal becomes economically interesting if the iron is also recovered, however, as the difference between the metal value (39 M US\$) and the reprocessing costs (20.7 M US\$) is significantly greater in this case.

Copper could also be recovered from the tailings by the use of leaching solutions. But since the tested leaching solution contained only 700 mg/l copper, the results were not satisfactory. This process can be greatly improved by an ion exchange process with the addition of resin to the leaching solution. Almost all the copper accumulates on the resin within 24 h. If the investment costs for the construction of an ion exchanger with a capacity of 500 t/d are amortised over ten years, the total costs amount to just under 1.9 M US\$/a (Figure 5). At the copper recovery rate of 72% determined by the BGR, 525,6 t/a of copper can be recovered with this method, resulting in annual revenues of just under 2.9 M US\$.

The overall conclusion is that the low grades and the fact that the material has already been processed will result in relatively low recoveries, especially for flotation. Sulphide flotation of tailings with ion exchangers would result in a small mass of material with a high environmental hazard, but also a very low environmental hazard for the bulk of the tailings.

High-resolution characterisation of mine tailings with real-time technologies for environmental hazard assessment and economic evaluation of resources and reserves according to international standards as a basis for sustainable secondary mining and environmental rehabilitation

Gorig Quaas from the Geologische Landesuntersuchung GmbH (GLU) in Freiberg/Germany presented the project "Sustainable in-situ resource assessment and environmental rehabilitation procedures for mining regions in Saxony (NIRUBIS)". The work involves

denstellend. Gravierend verbessern lässt sich dieser Prozess durch Ionenaustausch, indem man Harz in die Laugelösung gibt. Innerhalb von 24 h lagert sich nahezu das gesamte Kupfer am Harz an. Bei einer Abschreibung der Investitionskosten für die Errichtung eines Ionentauschers mit einer Kapazität von wieder 500 t/d über zehn Jahre ergeben sich Gesamtkosten in Höhe von knapp 1,9 Mio. US-\$/a (Bild 5). Bei einer von der BGR ermittelten Wiedergewinnungsrate des Kupfers von 72% lassen sich so 525,6 t/a Kupfer zurückgewinnen, was jährlichen Einnahmen von knapp 2,9 Mio. US-\$ entspricht.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass aufgrund der geringen Qualitäten und der Tatsache, dass das Material bereits verarbeitet wurde, die Rückflüsse relativ gering sein werden, insbesondere bei Flotation. Eine Sulfidflotation von Tailings mit Ionentauscher würde zu einer kleinen Materialmasse mit einer hohen Umweltgefährdung, aber auch zu einer sehr geringen Umweltgefährdung für den Großteil der Berge führen.

Economies:

Cost estimation	
Investment	
Equipment	2.000.000
Infrastructure, planing and construction	3.429.350
Total investment	5.429.350
Annual processing costs	870.055
Total costs per year	
Depreciation over 10 years	542.935
Annual processing costs	870.055
Excavation and transport [3 US\$/t]*	438.000
Total costs per year	1.850.990
Annual revenue	2.890.800
Annual profit**	1.039.810

* 500 t/d x 365 d x 80 % x 3 US\$/t

** Faltan los costos de la redepósición de los relaves

Fig. 5. Valorisation of the ion exchange process. // Bild 5. Wirtschaftlichkeit des Ionenaustauschprozesses. Source/Quelle: BGR

Hochauflösende Charakterisierung von Aufbereitungsrückständen mit Echtzeittechnologien zur Bewertung der Umweltgefährdung und zur wirtschaftlichen Bewertung von Ressourcen und Reserven nach internationalen Standards als Grundlage für nachhaltigen Sekundärbergbau und Umweltsanierung

Gorig Quaas von der Geologischen Landesuntersuchung GmbH (GLU) in Freiberg stellte das Projekt „Nachhaltige In-situ Ressourcenbewertung und Umweltsanierungsverfahren für die Bergbauregionen in Sachsen (NIRUBIS)“ vor. Dabei geht es um eine hochauflösende Bewertung von Aufbereitungsrückständen mithilfe von Echtzeit-

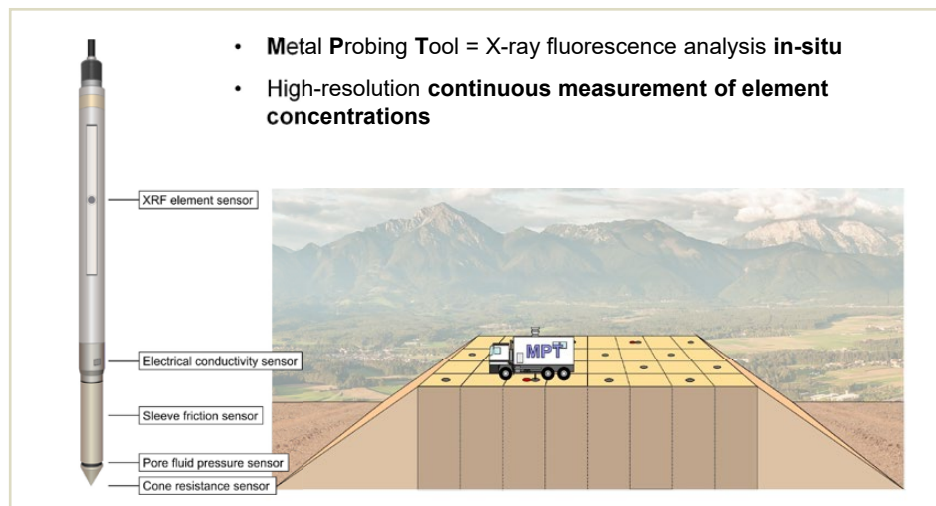


Fig. 6. Tailing investigation. // Bild 6. Tailing-Untersuchung. Source/Quelle: NIRUBIS

a high-resolution assessment of mine tailings with the aid of real-time technologies to determine their level of environmental hazards and an economic evaluation of the resources and reserves they contain, if possible according to international standards, as a basis for both sustainable secondary mining and efficient environmental remediation measures. The test site for the project that has just started is the tailings pond 2 of the former tin and silver mine in Ehrenfriedersdorf. The NIRUBIS project is being conducted as part of the rECOMINE alliance, which is funded by the WIR! funding programme of the Federal Ministry of Education and Research (BMBF) and operates at the interface of environmental technology, resource technology and digitalisation on the topic of mining waste. GLU's partners in the project are GeCCOTEC GmbH, Freiberg, and ERZLABOR Advanced Solutions GmbH, Freiberg.

The NIRUBIS project is developing a method that replaces expensive drilling with a more cost-effective in-situ mapping technology. A MPT truck (MPT – metal probing tool) hydraulically presses into the tailings a probe that utilises X-ray fluorescence analysis (XRF) to measure continuously in real time the mineral concentration (Figure 6). At the same time, the probe records hydraulic and geotechnical parameters that allow conclusions about the internal geometry of the tailings pile to be drawn.

The measured element concentrations are linked with mineralogical and particle-based data and converted into a 3-D block model (Figure 7). The result is an overview of the mineral distribution and the cut-off grade within the tailings pile, and an economic assessment of the resources and reserves on the basis of the international PERC standard (PERC – Pan-European Reserves & Resources Reporting Committee) is possible.

In addition to the resource assessment, the project concept as a whole includes a concept for assessing the hazards emanating from the tailings pile. If environmentally hazardous fluids leak from the pile, one remedial step is ventilation of the pile; another is the dissolution of the potential pollutants using bioleaching and their collection, avoiding the necessity to bulldoze the pile.

Extractive waste reprocessing for metals and construction raw materials – NEMO and REEBAUX

Richard Berse from DMT GmbH & Co. KG in Essen/Germany dis-

technologien hinsichtlich ihrer Umweltgefährdung sowie eine wirtschaftliche Bewertung der darin enthaltenen Ressourcen und Reserven möglichst nach internationalen Standards als Grundlage sowohl für einen nachhaltigen Sekundärbergbau als auch für effiziente Umweltsanierungsmaßnahmen. Versuchsstandort für das gerade angelaufene Projekt ist die Spülhalde 2 des ehemaligen Zinn- und Silberbergbaus in Ehrenfriedersdorf. Das Projekt NIRUBIS wird im Rahmen des recomine-Bündnisses durchgeführt, das vom Förderprogramm WIR! des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) finanziert wird und an der Schnittstelle von Umwelttechnologie, Ressourcentechnologie sowie der Digitalisierung am Thema Bergbaualtlasten arbeitet. Partner der GLU im Projekt sind die GeCCOTEC GmbH, Freiberg, und die ERZLABOR Advanced Solutions GmbH, Freiberg.

Im Rahmen von NIRUBIS wird ein Verfahren entwickelt, bei dem teure Bohrungen durch eine kostengünstigere In-situ-Sondiertechnologie ersetzt werden. Von einem MPT-Truck (MPT – Metal Probing Tool) aus wird dazu eine Sonde hydraulisch in das Haldenmaterial gedrückt, die mithilfe einer Röntgenfluoreszenz-Analyse (XRF) eine kontinuierliche Echtzeit-Messung der Mineralkonzentration ermöglicht (Bild 6). Gleichzeitig zeichnet die Sonde hydraulische und geotechnische Parameter auf, die Aussagen zur inneren Geometrie der Halde erlauben.

Die gemessenen Elementkonzentrationen werden mit mineralogischen sowie partikelbasierten Daten verknüpft und in ein 3D-Blockmodell überführt (Bild 7). Auf diese Weise erhält man einen Überblick über die Mineralverteilung und den Cut-off-Grad innerhalb der Halde und kann mithilfe des internationalen PERC-Standards (PERC – Pan-European Reserves & Resources Reporting Committee) eine wirtschaftliche Bewertung der Ressourcen und Reserven durchführen.

Das Gesamtkonzept des Projekts beinhaltet neben der Ressourcenbewertung auch ein Konzept zur Abschätzung der Gefahren, die vom Haldenkörper ausgehen. Sollten womöglich umweltgefährdende Fluide aus dem Haldenkörper austreten, soll zum einen belüftet werden und zum anderen sollen durch Biolaugung die potentiellen Schadstoffe gelöst und aufgefangen werden, ohne die Halde abbaggern zu müssen.

- **Block model** on the basis of the **3D pollutant / valuable material identification**
- **Exploration report** with statement of the **probability & cut-off** for elements and combinations
- **Resource Statement** according to **PERC**

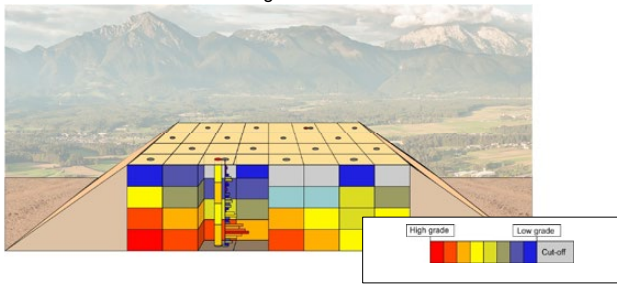


Fig. 7. 3-D Block Model. // Bild 7. 3D-Blockmodell. Source/Quelle: NIRUBIS

discussed the European research projects “Near-zero-waste recycling of low-grade sulphidic mining waste for critical-metal, mineral and construction raw material production in a circular economy” (NEMO) and “Prospects of REE recovery from bauxite and bauxite residue in the ESEE region” (REEBAUX). The 17 Sustainable Development Goals issued by the UN play an important role with regard to this topic. When speaking of mining, the goals 9 (development of clean and environmentally sound technologies), 12 (reduction of extractive waste, sustainable management of natural resources, obtaining social licence to operate), 13 (reduction of CO₂ emissions by avoiding primary mining), 15 (reduction of land use, rehabilitation of environmental liabilities and a reduction of water pollution) and 17 (strengthening of domestic resource mobilisation) are especially relevant (Figure 8).

The NEMO project, endowed with funding of 12.4 M € for the period from 2018 to 2022, focuses on the following goals:

- leaching and recovery of valuable and critical metals;
- removal of sulphides and environmentally hazardous elements;
- treatment of the “cleaned” residual mineral fraction, either for use in cement, concrete and construction products or for safe back-fill and closure of mines;
- reduction of waste to only 5 % of its original volume.

NEMO is being conducted at three pilot sites (Sotkamo and Luikonlahti in Finland and Tara in Ireland). There are four technical work packages for bioleaching, metal recovery from leach solution (sulphide and hydroxide precipitation), metal purification (solvent extraction) and mineral fraction valorisation in cement and construction materials (Figure 9). In addition, five supporting work packages and a process control and sustainability analysis are planned.

Wiederaufbereitung von Bergbaurückständen für Metalle und Baurohstoffe – NEMO und REEBAUX

Richard Berse von der DMT GmbH & Co. KG in Essen befasste sich in seiner Präsentation zur Wiederaufbereitung von Bergbaurückständen für Metalle und Baurohstoffe mit den europäischen Forschungsprojekten “Near-zero-waste recycling of low-grade sulphidic mining waste for critical-metal, mineral and construction raw material production in a circular economy (NEMO)” und “Prospects of REE recovery from bauxite and bauxite residue in the ESEE region (REEBAUX)“. Vor dem Hintergrund des Themas spielen die von den UN formulierten 17 Sustainable Development Goals eine wichtige Rolle. Bezogen auf den Bergbau sind dies insbesondere die Ziele 9 mit der Entwicklung sauberer und umweltfreundliche Technologien, 12 mit der Reduzierung extraktiver Abfälle, einer nachhaltigen Bewirtschaftung natürlicher Ressourcen und der Social Licence to Operate, 13 mit einer Verringerung des CO₂-Ausstoßes durch Vermeidung von Primärbergbau, 15 mit der Reduzierung der Landanspruchnahme, der Sanierung von Umweltschäden und einer Verringerung der Wasserverschmutzung und 17 mit der Stärkung einer heimischen Rohstoffmobilisierung (Bild 8).

Im mit 12,4 Mio. € für die Jahre 2018 bis 2022 geförderten Projekt NEMO stehen folgende Ziele im Vordergrund:

- Laugung und Rückgewinnung von wertvollen und kritischen Metallen,
- Entfernung von Sulfiden und umweltgefährdenden Elementen,
- Behandlung der „gereinigten“ mineralischen Restfraktion, entweder für den Einsatz in Zement-, Beton- und Bauprodukten oder zum sicheren Verfüllen und Verschließen von Bergwerken,
- Reduzierung des Abraums auf nur 5 % seines ursprünglichen Volumens.

NEMO wird an drei Pilotstandorten (Sotkamo und Luikonlahti in Finnland sowie Tara in Irland) durchgeführt. Es gibt vier technische Arbeitspakete zur Biolaugung, zur Metallrückgewinnung aus Laugenlösung (Sulfid- und Hydroxid-Fällung) und zur Metallreinigung (Lösungsmittel-extraktion) sowie zur Mineralverwertung in Zement und Baustoffen (Bild 9). Darüber hinaus sind fünf



Fig. 8. UN Sustainable Development Goals with regards to the mining industry.

Bild 8. UN Sustainable Development Goals in Hinblick auf den Bergbau. Source/Quelle: DMT

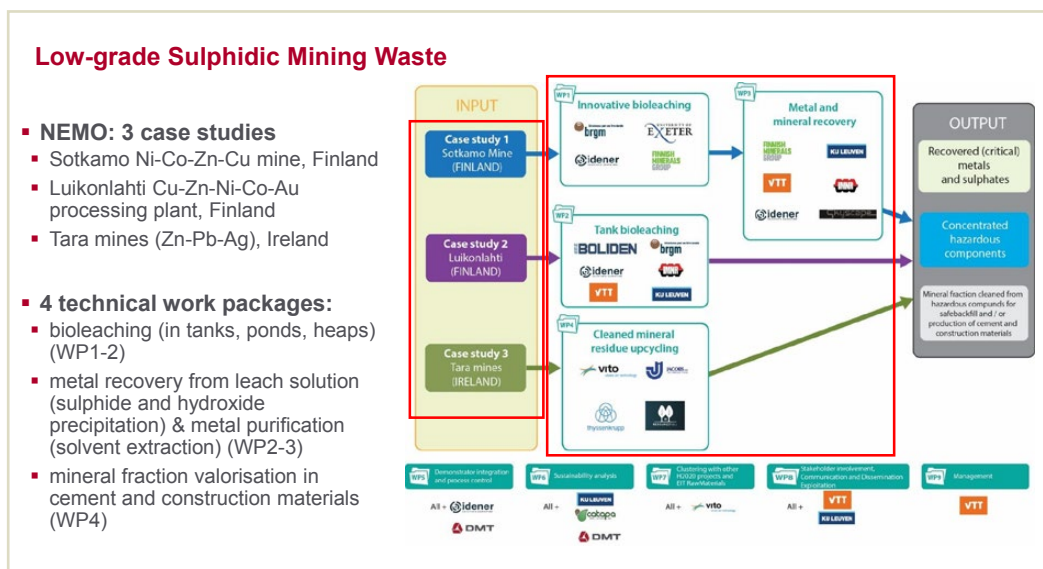


Fig. 9. Case Studies NEMO. // Bild 9. Fallstudien NEMO. Source/Quelle: DMT

The REEBAUX project, which was funded with approximately 245,000 € for the period from 2018 to 2022, focused on the following aspects:

- sourcing of rare earth elements for Europe;
- bauxite deposits and red mud accumulations not being utilised;
- bauxite in abundance; and
- new extraction techniques.

Worldwide deposits of red mud, i.e. sludge containing bauxite, from which aluminium and rare earths can be extracted, amount to approximately 3 bn t. This figure increases by about 150 Mt/a. The concentrations of rare earth elements are relatively low so economically feasible extraction is possible solely because of the large amount of material. Thanks to the high price (5,000 US\$/kg), the scandium content of the sludge, which can be as high as 10 ppm, is of economic interest, as is the aluminium extraction.

Fundamentally there are a multitude of challenges to be overcome for the reprocessing of mining wastes:

- Approval processes are frequently erratic, varying from country to country and even from region to region, and can take up to ten years.
- Economic feasibility must be achievable, i.e. the necessary investments should be as low as possible and the prices for the recoverable materials as high as possible.
- These circumstances make it difficult to attract investors.
- The framework conditions change frequently.
- It is difficult to evaluate the various processing options.
- There is a lack of established resource evaluation procedures for secondary raw materials such as Jorc, NI 43-101, etc.
- Classification as “waste” can complicate handling and transport as well as result in variances in taxation classifications.
- If only selected elements are extracted, the residual amount of material often remains almost the same.
- New processes must be environmentally and socially sustainable.

unterstützende Arbeitspakete sowie eine Prozesskontrolle und Nachhaltigkeitsanalyse vorgesehen.

Im für die Jahre 2018 bis 2022 mit rd. 245.000 € unterstützten Projekt REEBAUX standen folgende Aspekte im Fokus:

- die Versorgung Europas mit Seltene Erden-Elementen,
- nicht genutzte Bauxitvorkommen und Red Mud-Ansammlungen,
- Bauxit im Überfluss,
- neue Extraktionstechniken.

Weltweit gibt es rd. 3 Mrd. t Red Mud, also Bauxit enthaltenden Schlamm, aus

dem sich Aluminium und Seltene Erden gewinnen lässt. Jährlich kommen rd. 150 Mio. t hinzu. Die Gehalte an Seltenen Erden-Elementen sind relativ gering, eine wirtschaftliche Gewinnung ist deshalb allenfalls aufgrund der großen Materialmenge möglich. Wegen des hohen Preises (5.000 US-\$/kg) wirtschaftlich interessant ist neben der Aluminiumextraktion mitunter noch der Scandium-Gehalt des Schlammes, der bis zu 10 ppm betragen kann.

Grundsätzlich sind für die Wiederaufbereitung von Bergbaurückständen eine Vielzahl von Herausforderungen zu bewältigen:

- Es existieren häufig erratische Genehmigungsprozesse, die sich nicht nur von Land zu Land, sondern auch schon von Region zu Region unterscheiden und bis zu zehn Jahren dauern können.
- Die Wirtschaftlichkeit muss erreichbar sein, d.h. die notwendigen Investitionen sollten möglichst niedrig, die Preise für die zu gewinnenden Wertstoffe möglichst hoch sein.
- Vor diesem Hintergrund ist es schwierig, Investoren zu gewinnen.
- Die Rahmenbedingungen ändern sich häufig.
- Es ist schwierig, die verschiedenen Verarbeitungsoptionen zu bewerten.
- Es mangelt an etablierten Verfahren zur Ressourcenbewertung für Sekundärrohstoffe, wie z. B. Jorc, NI 43-101 etc.
- Die Klassifikation als „Abfall“ kann zu Komplikationen bei der Handhabung, dem Transport oder auch der Besteuerung führen.
- Wenn nur bestimmte Elemente extrahiert werden, bleibt häufig die Restmenge an Material beinahe gleich.
- Neue Prozesse müssen ökologisch und sozial nachhaltig sein.

Author / Autor

Dipl.-Ing. Andreas-Peter Sitte,
Chefredakteur Mining Report Glückauf, Moers