



OptiWiM

Steckbrief der Begleitforschung r⁴-INTRA zur Abschätzung der Verbreitungspotenziale von den Forschungsergebnissen der Primärrohstoff-Verbundprojekte der BMBF Fördermaßnahme r⁴, den Beiträgen zur Versorgungssicherheit sowie den ökologischen und ökonomischen Potenzialen

Projekttitle

Optimierung der Wertschöpfungskette für polymineralische Erze wirtschaftsstrategischer Metalle

Koordination

CBM Gesellschaft für Consulting Business und Management mbH
Prof. Dr.-Ing. Mathias Bauer

Projektpartner

- Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen – Lehr- und Forschungsgebiet Aufbereitung mineralischer Rohstoffe
- Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen – Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre

Laufzeit und Fördervolumen

01.05.2016 – 30.04.2019; 1.200.000 €

Projektziele (Verfahren / Technologien / Methoden)

Ziel war eine integrierte Bearbeitung der Wertschöpfungskette von polymineralischen Erzen in komplexen Lagerstätten mit diversen Haupt- und Nebenprodukten über mehrere Verfahrensstufen. Die gewählten Ansätze waren die 3D-Erzkörpermodellierung, die Geometallurgie, die Entwicklung und Bewertung von Aufbereitungsverfahren sowie die Entwicklung von wirtschaftlich optimalen Prozessen zur effizienten und umweltverträglichen selektiven Gewinnung.

In dem optimierten Aufbereitungsverfahren soll wertloses Material frühzeitig ausgeschleust werden, sodass rund 45 Massen-% nicht weiter zerkleinert werden müssen (großes Einsparpotenzial an Wasser und Energie).

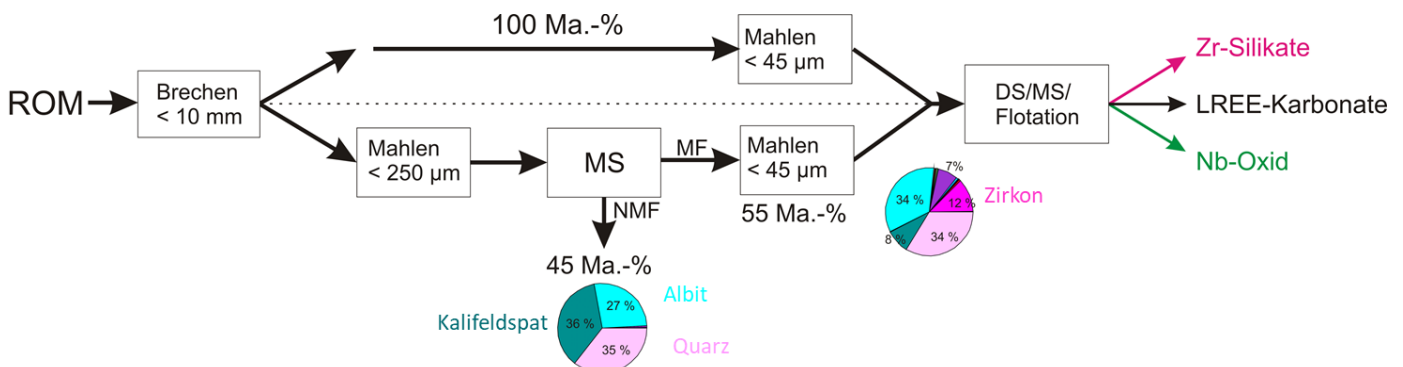


Abbildung 1: Projektansatz für das optimierte Verfahren (vom OptiWiM-Vortrag der r⁴-Konferenz 2018). Laut Ergebnisbroschüre ist sogar eine Reduktion des Massenstromes um 55 Ma.-% möglich.

Zielgruppe

Mongolische Projektpartner, (indirekt) mögliche Investoren, Mongolisch-Deutsche Universität für Rohstoffe (GMIT), Lizenzinhaber vergleichbarer Lagerstätten im internationalen Maßstab.



Aktuelle Verbreitung der entwickelten Methodik / Technologie

Die Aufbereitungstechnologien sind nicht neu, werden aber über die Erkenntnisse u.a. aus der 3D-Modellierung der Geometallurgie im Vergleich zur herkömmlichen Variante optimiert eingesetzt.

Beeinflusste Wertschöpfungsstufen

Gewinnung und Aufbereitung. Der Abbau kann durch detaillierte 3D-Modelle effizienter gestaltet werden. Das abgebaute Material (Haufwerk) wird direkt nach dem Brechen selektiv zerkleinert und bis zur Flotation geführt (siehe Abbildung 1).

Zielrohstoffe Projekt

Zirkonium, Niob (Tantal), Seltene Erden

Begleitrohstoffe: Quarz, Alkalifeldspat, Fluorit

Tabelle 1: Angaben zu Wert-Elementen und der Trennungs-Methodik (vom OptiWiM-Vortrag der r⁴-Konferenz 2018)

Mineral	Wert-Elemente	Korngröße	Trennung
Zirkon	Zr, Hf, Y, S-SEE	< 63 µm	Dichte
(Cerio) Pyrochlor	Nb, Ta, L-SEE	30 - 100 µm	Magnetik
Bastnäsit	L-SEE	< 63 µm	Flotation/Dichte/Magnetik
Synchysit	Y, L-SEE	< 60 µm	Flotation/Dichte/Magnetik
Zr-Silikate	Zr, Hf	< 30 µm mit Zrn	Dichte

Da die Zirkone Hauptträger der REE, insb. der HREE sind, kann die von SEEsand angestrebte REE-Gewinnung aus Zirkonen ggf. hierauf übertragen werden. Das in der Literatur genannte Hauptwertmineral Allanit (wie in den kanadischen Lagerstätten) wurde bei den Untersuchungen nur vereinzelt gefunden.

Zielrohstoffe - Übertragbarkeit

Theoretisch ist der Ansatz, bei entsprechender Anpassung des Verfahrens, auf alle in polymetallischen, komplexen Erzen gebundene Rohstoffe übertragbar.

Weltweite Bergwerksförderung und Raffinadeproduktion der Zielrohstoffe (2018)

Welt	Bergwerksförderung	Raffinadeproduktion
REE	161.472 t (als REO; CHN, AUS, USA)	151.115 t (CHN, MMR, USA, RUS)
Zr	1.286.869 t (in 2017; AUS, ZAF, MOZ)	N/A
Nb	59.043 t (BRA, BDI)	56.573 t (Ferro-Niob in 2016; BRA, CAN, RUS)

Produktion und Verbrauch Zielrohstoffe in EU28 (2018)

EU	Bergwerksförderung	Raffinadeproduktion	Raffinadeverbrauch
REE	keine	keine	N/A
Zr	keine	N/A	N/A
Nb	keine	N/A	N/A



Produktion, Verbrauch und Importe der Zielrohstoffe in Deutschland

DEU	Raffinadeproduktion 2018	Raffinadeverbrauch 2018	Metallimporte 2018 (wichtigste Herkunftsländer)
REE	keine	N/A	LREE: 7,4 t / 0,4 M€; HREE: 1,4 t / 0,3 M€ gemischt, legiert: 213 t / 1,6 M€ (CHN, AUT, FRA) ¹
Zr	N/A	N/A	279,1 t / 5,3 M € (CHN, USA, FRA) ²
Nb	N/A (Ferro-Niob)	N/A	6.727 t / 130 M€ (in 2016; BRA, CAN, NDL) ³

¹ Importe von REE-Verbindungen: Ce (1.164 t / 9,4 M€; CHN, EST, FRA, AUT), LREE (7.987 t / 14 M€; CHN, AUT), HREE (217 t / 9,3 M€; CHN, FRAU, AUT), Gemische (33,7 t / 1,5 M€; FRA, CHN, AUT)

² Importe von Zr-Oxiden (inkl. Ge-Oxide; 3.123 t / 38 M€; FRA, GBR, AUS)

³ als Ferro-Niob in 2016 zudem 222 t / 10 M€ als Rohmetall (in Verbindung mit Rhenium)

Lagerstättentyp Projekt

Im Projekt wird exemplarisch die peralkaline Lagerstätte Khalzan Burged (auch Buregtei genannt) in der Mongolei untersucht. Hier ist ein guter Zugang garantiert, da Deutschland 2011 ein Rohstoffabkommen mit der Mongolei abgeschlossen hat.

Lagerstättentyp – Übertragbarkeit

Die Übertragbarkeit auf andere polymetallische alkalimagmatische Erzlagerstätten mit diversen Haupt- und Nebenprodukten ist gegeben. Allerdings muss jede Lagerstätte individuell im Detail betrachtet werden, da sie konzeptionell zwar ähnlich behandelt werden können, alle aber ihre eigene Spezifikation haben.

Regionale Verteilung der Lagerstätten (Deutschland / Europa / Welt)

Deutschland

Die im Projekt betrachteten (per)alkalinen Lagerstätten sind in Deutschland nur begrenzt anzutreffen. Bekannte, aber derzeit unwirtschaftliche Seltenerd-Vorkommen sind der Alkaligesteins-Karbonatitkomplex Kaiserstuhl im südlichen Oberrheingraben und die Karbonatit-Lagerstätte Storkwitz in Thüringen. Eine Übertragung des neuen Verfahrens auf andere polymetallische Komplexerzlagerstätten wie Skarne und Greisen hätte großes Potenzial im Erzgebirge.

Europa

Es gibt mehrere (Per)Alkaline REE-Vorkommen in Europa, insb. in Skandinavien und Grönland. Die am besten explorierten Lagerstätten sind der Ilimaussaq Komplex in Grönland und Norra Kärr in Schweden.

Welt

Zahlreiche gut explorierte Vorkommen, u.a. in Australien und Kanada.

Zielregion Projekt

Im Projekt wird exemplarisch die Lagerstätte Khalzan Burged in der Mongolei untersucht.

Zielregion - Übertragbarkeit

Bei entsprechender Kenntnis über die Lagerstätte und ein darauf angepasstes Aufbereitungsverfahren ist das optimierte Verfahren weltweit anwendbar.

Kapazität aktueller Versuchsaufbau

Das Verfahren wurde im Labormaßstab mit einer Kapazität von 10 kg getestet.

Es standen 2 t Probenmaterial für Aufbereitungsversuche und mineralogische Untersuchungen bereit.



Potenzielle Kapazität der Anlage im industriellen Maßstab und notwendige Investitionen

Das Gesamtvorkommen wird vom Verbund mit 130.000 t TREO angegeben (42.000.000 m³ mit 0,114 wt%); Literaturangaben sprechen von ~300.000 t TREO bei 0,6 wt% (Elsner et al. 2011). Vom Verbund wurden keine Angaben zu der potenziellen Kapazität gemacht.

Regionale Anwendungspotenziale (Deutschland / Europa / Welt)

Deutschland

Aufgrund nur weniger alkaliner/karbonatischer REE-Vorkommen, die nicht in Produktion gehen werden, sind diese nicht relevant. Eine Übertragung des Verfahrens auf polymetallische Komplexerze des Erzgebirges birgt das Potenzial für eine wirtschaftliche Gewinnung von z.B. Zinn und Indium (siehe auch r⁴-Projekt AFK).

Europa

Die bereits gut explorierten (per)alkalinen Vorkommen in Skandinavien und Grönland könnten mit einer optimierten, energieeffizienten Zerkleinerung einen Schritt weiter in Richtung einer wirtschaftlichen Gewinnung rücken. Es handelt sich hierbei aber nur um einen von mehreren Bausteinen.

Welt

Lagerstätten, auf die das optimierte Aufbereitungsverfahren übertragen werden könnte, sind zahlreich vorhanden und die Projektergebnisse könnten auch hier ein Baustein für eine wirtschaftliche und effiziente Gewinnung sein.

Hemmnisse bei der Verbreitung (Deutschland / Europa / Welt)

Allgemein

Bei der Gewinnung von Seltenen Erden ist generell das Problem, dass die Weiterverarbeitung zu vermarktungsfähigen Seltenerdoxidien aufgrund fehlenden Knowhows in anderen Ländern und hohem Investitionsbedarf für Aufbereitungsanlagen ausschließlich in China stattfindet und China zudem Bestrebungen hat, die Wertschöpfung weiter zu erhöhen, d.h. nicht die Rohstoffe, sondern REE-haltige Produkte zu verkaufen. Dieser Flaschenhals wird die Abhängigkeit von China beim REE-Bezug auf absehbare Zeit nicht reduzieren.

Deutschland

Keine wirtschaftlich relevanten Lagerstätten vorhanden (polymetallische Komplexerzlagerstätten im Erzgebirge ausgenommen).

Europa

Die für eine Produktion wahrscheinlichsten Lagerstätten Norra Kärr in Schweden und die des Ilimaussaq Komplex in Grönland müssen für eine Anwendung des optimierten Verfahrens im Detail untersucht werden, was ggf. mit bisherigen Vorstellungen zu einer Aufbereitung kollidiert.

Welt

Die untersuchte Lagerstätte Khalzan Buregtei weist einen hohen Gehalt an radioaktiven Elementen auf, was zu entsprechenden Reststoffen führen würde. An der Lagerstätte ist keine Infrastruktur vorhanden (insb. kein Strom; BGR und MRAM 2013).

Beiträge zur Versorgungssicherheit in Deutschland

Aufgrund des Rohstoffabkommens zwischen Deutschland und der Mongolei wurde der Zugang zu den mongolischen Rohstoffen gesichert. Damit die deutsche Industrie die Seltenen Erden der untersuchten Lagerstätte auch tatsächlich nutzen kann, ist allerdings eine Weiterverarbeitung der im Projekt angestrebten REE-Karbonate nötig, was derzeit nur in China möglich ist (siehe auch Hemmnisse bei der Verbreitung).



Die durch die Projektarbeiten optimierte Aufbereitung könnte weitere (per)alkaline REE-Lagerstätten außerhalb Chinas näher an eine wirtschaftliche Inbetriebnahme bringen und so zu einer Diversifizierung des Angebotes beitragen:

Tabelle 2: Fortgeschrittene Seltenerdprojekte in peralkalinen Lagerstätten

Lagerstätte	Land	Haupt-REE-Mineral	TREO (tpa)	NdO+PrO (tpa)	DyO+TbO (tpa)
Dubbo Zirconia	AUS	Eudialyt	6.000	893	116
Kringlerne/TANBREEZ	GRL	Eudialyt	9.750	1.506	328
Norra Kärr	SWE	Eudialyt	6.800	946	349
Kipawa/Zeus	CAN	Eudialyt	3.500	589	141
Nechalacho/Thor Lake	CAN	Allanit	9.286	2.109	286
Strange Lake	CAN	Allanit	9.021	1.445	361
Hoidas Lake	CAN	Allanit	4.000	1.061	18
Kvanefjeld	GRL	Steenstrupine	32.000	5.680	315
Bokan Mountain	USA	Bastnäsit	1.828	313	88
			82.185	14.542	2.002

Die aufgelisteten Lagerstätten könnten für den Fall einer Inbetriebnahme rund 50 % des weltweiten NdO+PrO Bedarfs sowie 100 % des weltweiten DyO+TbO Bedarfs des Jahres 2013 (Marscheider Weidemann et al. 2016) decken. Auch wenn dieser insb. für Permanentmagnete im Zuge des Ausbaues der E-Mobilität und der Windenergie stark steigen wird, tragen die Lagerstätten zu einer erheblichen Steigerung der weltweiten (und somit auch der deutschen) Versorgungssicherheit insb. auch mit schweren Seltenen Erden bei.

Ökologische Bilanzierung der Projektarbeiten und Beiträge zur Steigerung der Gesamtrohstoffproduktivität

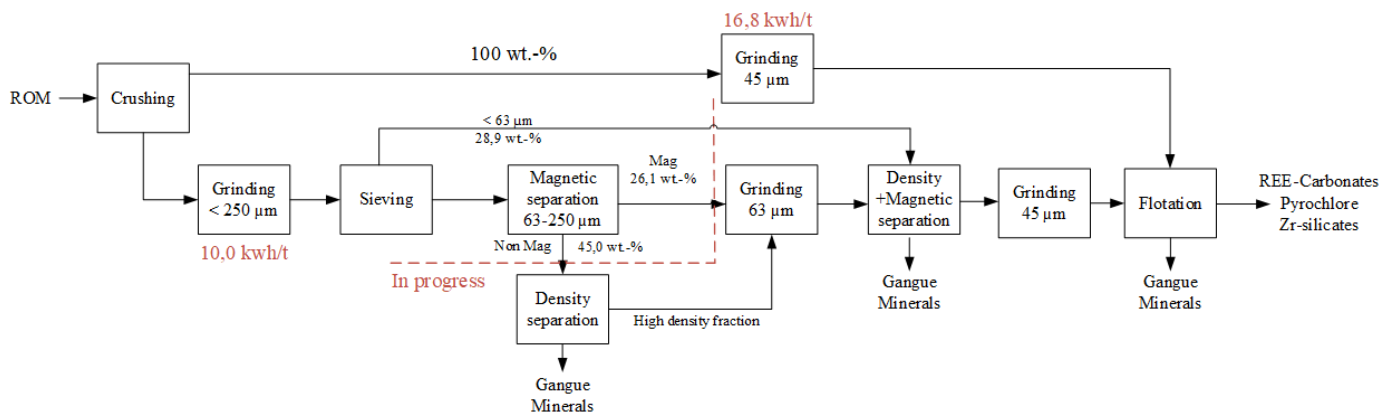


Abbildung 2: Prozessansatz mit Energiebedarf für die Zerkleinerung (aus dem OptiWiM-Vortrag beim r⁴-Clusterworkshop 2018).

Das Aufbereitungsschema wurde für die Extraktion von Zirkon unter Verwendung von trockener Magnetseparation neu arrangiert. Die Verwachsung mit Hämatitzementen ermöglicht eine Trennung der Zirkoncluster bei der groben Korngröße durch trockene Magnetscheidung.

Es konnte bisher ein Vorkonzentrat mit einer Verdopplung des Zirkongehalts durch die Massenstromreduktion von 45 wt% erzeugt werden. Die Zerkleinerung auf eine Korngröße von 250 µm erfordert im Vergleich zu der klassischen Mahlung auf Aufschlusskorngröße von 45 µm 7 kWh / t weniger Energie. Die Berechnung des Energiebedarfs für die weiteren Schritte bis zur Flotation war Gegenstand von internen Berechnungen der RWTH Aachen.

Durch die Massenreduktion von 45 % bei der Bergevorabscheidung mittels Magnetscheidung, lassen sich 41 % des Energieaufwandes in der weiteren Aufbereitung bis zum Endkonzentrat einsparen (auch die Einsparung weiterer Ressourcen wie Wasser oder Flotationsreagenzien sind vorstellbar).



Das Vorkonzentrat wird nach der Nachmahlung auf die gleiche Weise unter Verwendung von Flotation und Dichtentrennung behandelt. Hier wird der Fokus darauf gelegt mehrstufig zu zerkleinern und bereits frei vorliegende wertlose Minerale frühzeitig aus dem Prozess auszuschleusen, um Ressourcen in weiteren Prozessschritten zu sparen.

Der Wasserbedarf liegt nach Aussage des Vortrags beim r⁴-Clusterworkshop 2018 bei ca. 4 Mio. m³/a für Aufbereitung und Tagebau. Der 8 km westlich der Lagerstätte gelegene Khovd-Fluss bildet die einzige Wasserquelle in dem ariden Gebiet und versorgt rund 80.000 Menschen und deren Nutztiere mit Wasser.

Sozioökonomische Betrachtung der Projektarbeiten

Die sozioökonomischen Auswirkungen auf Deutschland sind nicht relevant, da sich die untersuchte Lagerstätte in der Mongolei befindet.

Für eine erste Abschätzung, ob eine wirtschaftliche Gewinnung möglich ist, wurde im Projektrahmen ein Wirtschaftlichkeitsrechner programmiert. Dieser wurde beispielhaft auf das Lagerstättenmodell von der RWTH Aachen angewendet.

Literatur

BGR. Fachinformationssystem Rohstoffe. 2020, unveröffentlicht

BGR und MRAM. Rare Earths of Mongolia: Evaluation of Market Opportunities for the Principal Deposits of Mongolia. 2013. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und Mineral Resources Authority of Mongolia (MRAM). 68 S.

MARSCHEIDER-WEIDEMANN, Frank, et al. *Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2016: Auftragsstudie*. Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2016.