



SEEsand

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

Projekttitlel

Gewinnung schwerer Seltenerdelemente aus Schwermineralsanden

Koordination

G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH
Mirko Martin

Projektpartner

- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
- Technische Universität Clausthal - Fakultät für Energie- und Wirtschaftswissenschaften - Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik
- Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern
- André Voß Erdbau und Transport GmbH
- Imerys Fused Minerals Laufenburg GmbH
- Geokompetenzzentrum Freiberg e.V.
- TANBREEZ Mining Greenland A/S (assoziiert)

Laufzeit und Fördervolumen

01.05.2016 – 30.10.2019; 1.314.000 €

Projektziele (Verfahren / Technologien / Methoden)

Im Projekt wurden Kies- und Sandrohstoffe, die zum Küstenschutz gewonnen werden, aufbereitet, um Schwermineralfraktionen zu gewinnen. Die Schwermineralfraktionen werden durch Dichtentrennung in Kombination mit Magnetscheidung abgetrennt. Aus den Schwermineralfraktionen wird Zirkon abgetrennt. Dieser wird chemisch durch Laugung oder Schmelzverfahren aufgeschlossen. Aus dem aufgeschlossenen Material werden Seltene Erden-, Hafnium- und Zirkonium-Konzentrate gewonnen. Titanminerale, Granat und Quarzsand fallen als Nebenkomponenten an.

Technologieentwicklung mikrobiologischer Gewinnungsprozesse. Die Aufbereitung soll neben selektiver chemischer Laugung auch über Biohydrometallurgie erfolgen und die Abtrennung der HREE mittels fraktionierter Fällungsverfahren und Biosorptionsprozessen.

Zielgruppe

Sand und Kies Industrie, die von dem ohnehin gewonnenen Rohstoff die Schwermineralsande gewinnbringend an die weiterverarbeitende Industrie verkaufen könnte. Für Zirkonium und Quarz ist diese Industrie (Feuerfestwerkstoffe) vorhanden, für die Gewinnung von Seltenen Erden nicht (zumindest in Europa).

Aktuelle Verbreitung der entwickelten Methodik / Technologie

Bereits zwischen 1953 und 1962 wurden rund 24.000 t Schwerminerale aus Sanden der Ostseeküste entnommen (Anteil 20 %) und die darin enthaltenen ca. 960 t Zirkon (Anteil 4 % an den Schwermineralen) zur Erzeugung von Zirkoniummetall verwendet, allerdings ohne dass Seltene Erden abgetrennt wurden.

Explorationsarbeiten auf Schwermineralseifen gab es auch in Schleswig-Holstein und Österreich, ein Abbau erfolgte in Dänemark.



Schwermineralsande, die in entsprechenden Seifenlagerstätten bereits angereichert sind, dienen generell zur Rohstoffgewinnung (z.B. Zinn und Gold in residualen Seifen). Bevorzugt im marinen Milieu und bei entsprechenden Ausgangsgesteinen können sich neben Titan und Zirkon auch REE-Mineralen wie Monazit und Xenotime anreichern. Insb. in den 1990er Jahren wurden diese im großen Stil (15- 30 % der Weltproduktion) in Australien gewonnen (Mudd and Jowitt 2016). Allerdings wurde nicht der ebenso enthaltene Zirkon zur REE Gewinnung genutzt.

Beeinflusste Wertschöpfungsstufen

Aufbereitung und Metallurgie direkt nach bzw. im Zuge der ohnehin stattfindenden Gewinnung

Zielrohstoffe Projekt

Mischkonzentrate von Seltene Erden; zudem Zirkonium und Hafnium (nach Abtrennung vom Zirkonium) sowie Granat, der ca. 80 % der Schwerminerale ausmacht, Titanminerale (Ilmenit und Rutil) und Quarzsand

Zielrohstoffe - Übertragbarkeit

Auf die in Schwermineralen vorkommenden Minerale/Elemente beschränkt.

Weltweite Bergwerksförderung und Raffinadeproduktion der Zielrohstoffe in 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
Granat	1.113.000 t (in 2017; AUS, ZAF, IND)	N/A
TiO₂	4.246.400 t (ZAF, AUS, NOR) ²	191.900 t (CHN, JPN, RUS)

Produktion und Verbrauch Zielrohstoffe in EU28 in 2018

EU	Bergwerksförderung	Raffinadeproduktion	Raffinadeverbrauch
REE	keine	keine	N/A
Zr	keine	N/A	N/A
Granat	N/A	N/A	N/A
TiO₂	100 t (PRT)	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
Granat	N/A	N/A	N/A
TiO₂	N/A	N/A	28.879 t / 94 M€ (FRA, CHN, CZE) 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 Zusätzlich hohe Importe von z.B. Farbpigmenten, Konzentraten, etc.



Lagerstättentyp Projekt

Schwermineralsande der deutschen Ostseeküste (Mecklenburg-Vorpommern).

Lagerstättentyp – Übertragbarkeit

Die Übertragbarkeit auf andere Gewinnungsstellen von Sand und Kies insb. in Norddeutschland ist denkbar. Die Technologie ist auf die Laugung von Zirkonen zur REE-Gewinnung ausgerichtet. Neben Zirkon-haltigen Schwermineralsanden in Deutschland und weltweit könnten also auch andere Zirkon-haltige Lagerstätten für die REE-Gewinnung in Betracht kommen. So z.B. auch die peralkaline Komplexerzlagerstätte Khalzan Buregtei, die vom r⁴-Projekt OptWiM untersucht wird, und wo (H)REE an Zirkonen gebunden sind.

Regionale Verteilung der Lagerstätten (Deutschland / Europa / Welt)

Deutschland

Schwermineralhaltige Sande sind küstennah an der gesamten Ostsee verbreitet. Für die Nutzung kommen insbesondere die derzeit ohnehin für Küstenschutz- und Baustoffzwecke im Abbau stehenden Felder in Betracht. Dabei ist das aktuelle Umweltschutzrecht zu beachten. Ein großes Potenzial findet sich darüber hinaus in Onshore Sandabbaubetrieben. Besonders in Feldesteilen mit grobem Sand finden sich signifikante Schwermineralgehalte.

Europa

Analoge Sandlagerstätten finden sich in ganz Europa (z.B. Zirkon-Titanlagerstätten an der polnischen Ostseeküste). Schwermineralseifen finden sich darüber hinaus in Gebieten mit hoher Erosionstätigkeit und entsprechenden Ausgangsgesteinen mit hohem Zirkonanteil (z.B. Südwest-England). Bei Ausweitung der Betrachtung auf Eudialyt kommen auch entsprechende silikatische Festgesteinslagerstätten in Betracht (insb. Grönland, Kringlerne und Skandinavien, Norra Kärr).

Welt

Alle Gebiete mit einer hohen Erosionstätigkeit und entsprechenden Ausgangsgesteinen mit hohem Zirkonanteil (z.B. Australien, Südafrika oder Himalaya-Anrainer wie Indien) kommen in Betracht.

Zielregion Projekt

Ostseeküste von Mecklenburg-Vorpommern (DEU).

Zielregion - Übertragbarkeit

Direkte Anwendbarkeit auf alle weltweiten Schwermineralsande bei entsprechendem Zirkongehalt. Da neben Zirkon-haltigen Schwermineralsanden auch silikatische Festgesteinslagerstätten mit Zirkon und Eudialyt betrachtet werden, ist eine Übertragung auf diese Lagerstätten denkbar.

Kapazität aktueller Versuchsaufbau

Ein Pilotversuch wurde mit 200 t Ausgangsmaterial durchgeführt. Die dafür benötigten Investitionen beliefen sich auf ca. 30.000 €.

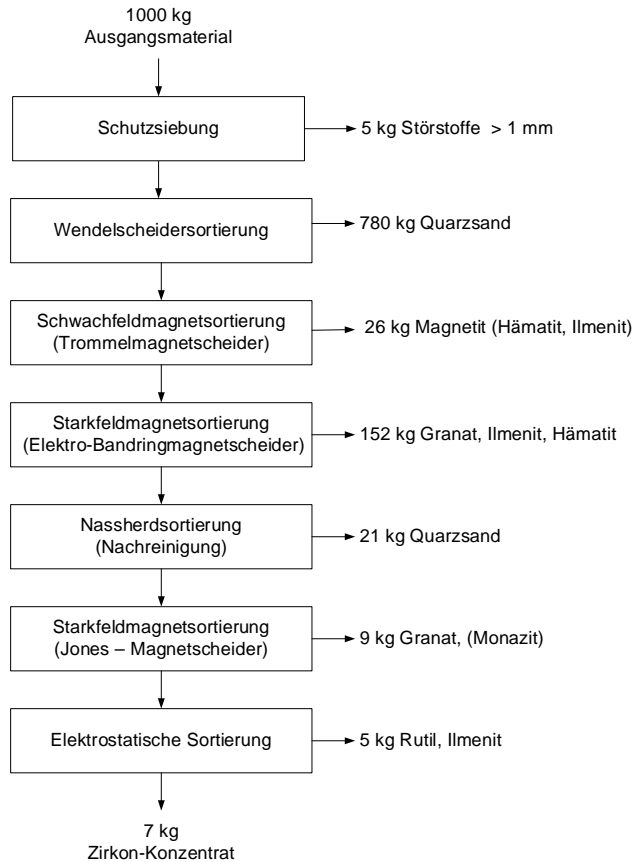


Abbildung 1: Mechanisches Aufbereitungsverfahren (aus SEEsand-Vortrag r⁴-Konferenz 2018)

Potenzielle Kapazität der Anlage im industriellen Maßstab und notwendige Investitionen

500.000 t Input im Jahr bei einer Investition von 5 Mio. €

Regionale Anwendungspotenziale (Deutschland / Europa / Welt)

Deutschland

In den Ostseesanden hoher Anteil schwerer Seltener Erden im Zirkon (insb. Y (~ 60 %) aber auch Dy (~ 4 %) und Yb (~ 15 %)). Dadurch wäre bei einer funktionierenden Aufbereitung ein entsprechender Gewinn möglich. Unter dieser Voraussetzung und bei entsprechendem Schwermineralanteil würden zahlreiche weitere Sand- und Kies-Gewinnungstellen in den Fokus rücken.

Europa

Insbesondere in den Küstengebieten Nordeuropas würde eine funktionierende Technik zur REE-Gewinnung aus Zirkon auf großes Interesse stoßen. Wenn mit der Aufbereitungsmethodik auch Eudialyt in den Fokus rückt, stünde mit den silikatischen Festgesteinslagerstätten in Skandinavien und Grönland weitere große Potenziale zur Verfügung.

Welt

Bei einer erfolgreichen Umsetzung des Projektansatzes könnten beispielsweise die Schwermineralsande in Australien wieder in den Fokus rücken (ein entsprechender REE Anteil in den Zirkonen und die Entsorgung der radioaktiven Monazite vorausgesetzt). Auch die peralkaline Komplexerzlagerstätte Khalzan Buregtei, die vom r⁴-Projekt OptiWiM untersucht wird, und wo (H)REE an Zirkonen gebunden sind, könnte in Betracht kommen.



Hemmnisse bei der Verbreitung (Deutschland / Europa / Welt)

Allgemein

Bei der Gewinnung von Seltenen Erden ist generell das Problem, dass die Weiterverarbeitung zu vermarktungsfähigen Seltenerdoxiden aufgrund fehlenden Knowhows in anderen Ländern 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

Unerwartet niedrige REE-Konzentration in Zirkonen im Vergleich zu Literaturangaben (Glombitza et al. 1988):

	Gehalt Literatur (ppm)	Anteil (%)	Gehalt eigene Proben (ppm)	Anteil (%)
Summe	7.288	100,0	1.656	100,0
HRRE (inkl. Y)	6.440	88,4	1.542	93,1
LRRE	848	11,6	114	6,9

Nach der überschlägigen Berechnung (siehe oben), können so nur relativ kleine Mengen REE gewonnen werden, selbst wenn das gesamte Potenzial ausgeschöpft würde. Hierfür wäre ein Durchsatz von 4000 t pro Tag nötig. Sandlagerstätten enthalten gewisse Anteile natürlich radioaktiver Minerale (Monazit). Diese wurden in der entwickelten Aufbereitungstechnik adressiert und verbleiben in der Quarzsandfraktion. Die Gehalte an Uran und Thorium in den untersuchten Zirkonfraktionen sind verhältnismäßig gering und liegen unter den industriellen Richtwerten.

Europa

Die REE Gehalte in Zirkonen werden im gleichen Bereich wie in Deutschland erwartet. Daher muss mit notwendigen hohen Durchsätzen der Aufbereitungsanlagen gerechnet werden.

Welt

Weltweit gilt das gleiche Hemmnis der relativ niedrigen REE-Gehalte der Zirkone. Allerdings wird dies durch Einbeziehung REE-reicherer Zirkonfraktionen, wie aus Festgesteinslagerstätten, aufgewogen. Möglicherweise vorhandene natürliche Radioaktivität gewisser Komponenten muss dabei beachtet werden.

Beiträge zur Versorgungssicherheit in Deutschland

Jährlich werden allein in Mecklenburg-Vorpommern ca. 800.000 t Küstensande gewonnen und zu Baustoffen verarbeitet bzw. zum Küstenschutz (Strandaufspülung) eingesetzt. Die geologischen Vorräte allein im Abbaufeld Markgrafenheide belaufen sich auf ca. 300 Mio. t Küstensande, die als Potenzial zur Zirkonabtrennung zur Verfügung stünden. Die Durchschnittsgehalte von Schwermineralen in Ostseesanden variieren zwischen 0,5 und 0,9 %.

Die Gehalte der Zielrohstoffe in den Küstensanden betragen nach Verbundangaben 0,0025 % Seltenerdkonzentrat in den Zirkonen ohne Monazit (davon ~90 % HREE/~5 % Dy), 0,025 % Zirkoniumoxid, 0,1 % Titan (bzw. 0,5 % Titankonzentrat) und 1 % Granat.



Überschlägige Berechnung auf Grundlage der Verbundangaben zu Gehalten und Kapazitäten (Annahme: 100 % Ausbringen):

Potenzielle jährliche Gewinnung im untersuchten Gebiet:

- Seltenerdkonzentrate: 12,5 t
- Zirkoniumoxid: 125 t
- Titankonzentrat: 2.500 t
- Granat: 5.000 t

Überschlägige Berechnung auf Grundlage des mechanischen Aufbereitungsverfahrens (Annahme: Zirkonkonzentrat reiner Zirkon; 100 % Ausbringen von REE aus Zirkon):

Bei Nutzung der Gesamtmenge von 500.000 m³ Ostseesande, die jährlich gewonnen werden (enthalten 16.500 t Zirkon), könnten jährl. 27 t REE (2 t LREE und 25 t HREE (inkl. Y; davon 1,2 t Dy)) gewonnen werden.

Ökologische Bilanzierung der Projektarbeiten und Beiträge zur Steigerung der Gesamtrohstoffproduktivität

Da die Seltenen Erden aus Zirkonen aus ohnehin anfallenden Stoffströmen separiert werden, ist der theoretische ökologische Fußabdruck sehr gering. Die weitere Aufarbeitung könnte in bestehenden Anlagen erfolgen, so dass auch diese Umweltauswirkungen begrenzt sein werden.

Während die Umsetzung der Projektergebnisse für die Küstensande derzeit noch nicht absehbar ist, gibt es bei einer Reihe binnenländischer Sand- und Kieswerke große Anstrengungen zur Abtrennung der Schwerminerale für die Gewinnung von Titanrohstoffen, Zinnstein und Zirkon. Die Projektarbeiten leisten bei Umsetzung in die Praxis potentiell einen Beitrag zur Gesamtrohstoffproduktivität, da die Gewinnung von Zirkon und REE aus für andere Zwecke (Küstenschutz, Baustoff) ohnehin geförderten Sanden erfolgt. Dadurch werden aus bestehenden Stoffströmen zusätzliche Wertstoffmengen erzeugt.

Sozioökonomische Betrachtung der Projektarbeiten

Bei dem im Projekt erreichten Stadium, kann eine realistische sozioökonomische Betrachtung derzeit nicht vorgenommen werden.

Die theoretischen Erlöse für die Produkte betragen laut Verbundangabe:

- Seltenerdkonzentrate: 100 €/kg
- Zirkoniumoxid: 4500 €/t (Preis 2019/01 für standard grade, min. 65,5 % ZrO₂, cif China 1.525 US\$/t)
- Titankonzentrat: 1200 €/t (Preis 2019/01 für Rutile concentrate, min. 95 % TiO₂, bagged, Australia, fob 1.200 US\$/t)
- Granat: 2.000 €/t

Literatur

BGR. Fachinformationssystem Rohstoffe. 2020, unveröffentlicht

GLOMBITZA, F.; ISKE, U.; BULLMANN, M. Mikrobielle Laugung von seltenen Erdenelementen und Spurenelementen. *BioEngineering*, 1988, 39–43.

MUDD, G. M.; JOWITT, S. M. Rare earth elements from heavy mineral sands: assessing the potential of a forgotten resource. *Applied Earth Science*, 2016, 125. Jg., Nr. 3, S. 107-113.