

DIGITALES ARCHIV

ZBW – Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft
ZBW – Leibniz Information Centre for Economics

Elsner, Harald; Erdmann, Martin; Liedtke, Maren

Book

Seltene Erden : Projekte, Förderung, Weiterverarbeitung

Provided in Cooperation with:

DERA - Deutsche Rohstoffagentur in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Berlin

Reference: Elsner, Harald/Erdmann, Martin et. al. (2025). Seltene Erden : Projekte, Förderung, Weiterverarbeitung. Datenstand: Januar 2025. Berlin : Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).

https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-61.pdf?__blob=publicationFile&v=2
doi:10.25928/990x-s458.

This Version is available at:

<http://hdl.handle.net/11159/708475>

Kontakt/Contact

ZBW – Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft/Leibniz Information Centre for Economics
Düsternbrooker Weg 120
24105 Kiel (Germany)
E-Mail: [rights\[at\]zbw.eu](mailto:rights[at]zbw.eu)
<https://www.zbw.eu/>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Dieses Dokument darf zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen. Sofern für das Dokument eine Open-Content-Lizenz verwendet wurde, so gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der Lizenz gewährten Nutzungsrechte. Alle auf diesem Vorblatt angegebenen Informationen einschließlich der Rechteinformationen (z.B. Nennung einer Creative Commons Lizenz) wurden automatisch generiert und müssen durch Nutzer:innen vor einer Nachnutzung sorgfältig überprüft werden. Die Lizenzangaben stammen aus Publikationsmetadaten und können Fehler oder Ungenauigkeiten enthalten.

<https://savearchive.zbw.eu/termsfuse>

Terms of use:

This document may be saved and copied for your personal and scholarly purposes. You are not to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public. If the document is made available under a Creative Commons Licence you may exercise further usage rights as specified in the licence. All information provided on this publication cover sheet, including copyright details (e.g. indication of a Creative Commons license), was automatically generated and must be carefully reviewed by users prior to reuse. The license information is derived from publication metadata and may contain errors or inaccuracies.

61 DERA Rohstoffinformationen

Seltene Erden

Projekte – Förderung – Weiterverarbeitung



Impressum

Herausgeberin:

Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
Wilhelmstraße 26
13593 Berlin

Autoren:

Dr. Harald Elsner, Dr. Martin Erdmann, Maren Liedtke

Kontakt:

Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
Wilhelmstraße 26
13593 Berlin
Tel.: +49 30 36993 226
www.deutsche-rohstoffagentur.de
dera@bgr.de

Bildnachweis: Praseodym/Neodym-Oxid-Produktion im Werk Lynas' Advanced Materials Plant
(Kuantan/Malaysia). © BGR (Titelbild)
Layout: deckermedia GbR, Graal-Müritz

Zitierhinweis: ELSNER, H., ERDMANN, M. & LIEDTKE, M. (2025): Seltene Erden. – DERA Rohstoffinfor-
mationen, 61: 245 S.; Berlin.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Datenstand: Januar 2025

ISBN Druckversion: 978-3-910923-08-9

ISBN PDF: 978-3-910923-09-6

ISSN: 2193-5319

DOI: 10.25928/990x-s458

Seltene Erden

Projekte – Förderung – Weiterverarbeitung

Vorwort

Im Oktober 2010 wurde innerhalb der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), einer Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), die Deutsche Rohstoffagentur (DERA) gegründet. Zu den Aufgaben der DERA zählen die Analyse und Bewertung der internationalen Rohstoffmärkte sowie die Beratung deutscher Unternehmen zu möglichen Preis- und Lieferrisiken bei der Versorgung mit mineralischen Rohstoffen.

Im Rahmen dieser Aufgaben hat die DERA deutsche Unternehmen bereits durch die Herausgabe zahlreicher Länder- und Rohstoffstudien sowie die Ausrichtung von Industrieworkshops u. a. zu Seltenen Erden (Februar 2011), Zirkon (Dezember 2012), Kupfer (April 2013), Antimon (Juni 2013), Wolfram (Oktober 2013), Zinn (Januar 2014), Zink (Januar 2015), Platingruppenmetallen (April 2015), Tantal (April 2018), Gallium (Juni 2018), Kobalt (Juli 2018), Magnesium (Januar 2019), Nickel (Juni 2021), Graphit (November 2021), Lithium (Juni 2017 und 2022) sowie Silizium und Ferrosilikolegien (November 2023) beraten.

Während zu einigen der von der DERA untersuchten Rohstoffe in der Literatur kaum belastbare Informationen vorliegen, ist dies bei der Rohstoffgruppe der Seltenen Erden nicht der Fall. Nachdem in den Jahren nach der Hochpreisphase 2010 – 2012 zahlreiche Publikationen bis hin zu Fachbüchern und sogar Romanen erschienen sind, liegt weltweit ein hoher Wissenstand über alle Aspekte dieser Rohstoffgruppe vor. Auch dass Seltene Erden weder selten noch Erden sind, gehört mittlerweile fast schon zum Allgemeinwissen.

Heute stehen in der deutschen Politik sowie Wirtschaft vor allem Fragen zur ausreichenden Verfügbarkeit von Seltenen Erden bei Liefereinschränkungen seitens China aufgrund möglicher regionaler und/oder internationaler Konflikte sowie die zukünftige ausreichende Verfügbarkeit der für die Produktion von Permanentmagneten („Energiewende“, „Mobilitätswende“) benötigten Seltenerdelemente Neodym, Praseodym, Dysprosium und Terbium im Vordergrund. Die anderen Seltenerdelemente, die zum Teil eine ebenso hohe Bedeutung besitzen (Cer, Lanthan) oder mittelfristig erlangen könnten (z. B. Samarium), bleiben in den meisten Betrachtungen zur Versorgungssicherheit mit Seltenen Erden dagegen unberücksichtigt.

In der aktuellen Beratungstätigkeit der DERA bzw. BGR konzentrieren sich die Fragen zu Seltenen Erden auf folgende Komplexe:

- Welche Projekte zur Bergwerksförderung und Aufbereitung von Seltenen Erden gibt es außerhalb Chinas? Wie sind sie aus verschiedenen Gesichtspunkten zu bewerten und wie schnell werden bzw. könnten sie in Produktion gehen?
- Wo existieren Lagerstätten mit schweren Seltenen Erden und wie schnell könnten sie in Produktion gebracht werden?
- Welche Lieferketten von Seltenen Erden existieren bzw. sind geplant?
- Welche Umweltauswirkungen und sozialen Risiken sind mit der Gewinnung von Seltenen Erden verbunden?
- Welche aktuellen Recyclingansätze von Seltenen Erden existieren bzw. sind geplant? Welche Mengen welcher Seltenerdelemente können daraus in den Markt zurückfließen?
- Wie und wo ist die nachhaltige Produktion von Seltenen Erden bzw. Permanentmagneten möglich?

In dieser Studie wird daher, neben der Wiedergabe allgemeiner Hintergrundinformationen zur Rohstoffgruppe der Seltenen Erden, soweit wie möglich vor allem auf diese Fragestellungen eingegangen.

Typisch für alle Studien aus der Reihe der DERA Rohstoffinformationen sind teils umfangreiche Betrachtungen zur vermuteten zukünftigen Nachfrage und dem berechneten Angebot und damit der zukünftigen Bedarfsdeckung der jeweiligen Rohstoffe. Seit dem Ausscheiden von Prof. Dudley J. Kingsnorth/Australien aus dem aktiven Berufsleben, der als Einziger mit allen wichtigen Seltenen Erden verbrauchenden Unternehmen auf der ganzen Welt (inkl. China) in Kontakt stand und von diesen relevante Verbrauchsprognosen erhielt, gibt es nur noch für Einzelbereiche und zudem zu meist wenig belastbare Vorhersagen zur möglichen zukünftigen Nachfrage nach Seltenen Erden. Die Geschäftsdaten aller Seltenen Erden produzierenden Unternehmen zeigen jedoch, dass die seit Jahren publizierten Prognosen zur Entwicklung einer (stark steigenden) Nachfrage nach Seltenen Erden bisher unzuverlässig waren. Auf der anderen Seite versprechen die meisten Unternehmen mit Seltenerdprojekten bald in Produktion zu gehen, tun dies aber bereits seit teils über einem Jahrzehnt. Prof. Kingsnorth drückte sich bei seinen zahlreichen Besuchen und Vorträgen in Deutschland bzw. bei der DERA diesbezüglich immer höflich so aus: „there are many hurdles to this project“. Und diese Hürden bestehen weiterhin. Es gehört zu den vordringlichen Aufgaben der DERA, zwar nicht private Einzelinvestoren, aber die deutschen Unternehmen und die deutsche Politik auf diese Schwierigkeiten bei den jeweiligen Projektumsetzungen aufmerksam zu machen und vor sich daraus ergebenden potenziellen Schäden zu bewahren.

Im Zuge der Erstellung dieser DERA Rohstoffinformationen wurde entschieden, auf weitergehende Vorhersagen oder gar Berechnungen der zukünftigen Bedarfsdeckung mit Seltenen Erden zu verzichten. Nicht nur liegen weltweite, alle Verwendungsbereiche umfassende und gesicherte Bedarfsberechnungen seit Jahren nicht mehr vor (s. o.), sondern haben die Erfahrungen des letzten Jahrzehnts auch gezeigt, dass alle zeitlichen Planungen aller Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette von Seltenen Erden letztendlich nicht eingehalten werden konnten. Eine Berechnung der weltweiten zukünftigen Bedarfsdeckung mit Seltenen Erden durch die DERA wäre dementsprechend schon vom Ansatz her falsch oder zumindest unseriös.

Die vorliegende Studie basiert auf dem langjährigen Sach- und Wissensstand des Autorenteam. Sie berücksichtigt nicht nur die in Kapitel 7 gelisteten Veröffentlichungen, sondern es wurde vielmehr angestrebt, online frei verfügbare Primärdaten weltweiter Akteure im Bereich Projektentwicklung, Bergbauförderung und Raffination von Seltenen Erden möglichst vollständig zu recherchieren. Für übergeordnete Themenbereiche stellt Kapitel 4 die umfangreichen Befunde dieser Online-Recherche dar. Ausführliche Informationen zu einzelnen Produktionsstandorten von Seltenen Erden finden sich darüber hinaus im Anhang. Dort ist auch eine vergleichende Bewertung verschiedener Standorte nachzulesen, die anhand eines eigenen Indikatorensets vorgenommen wurde.

Das Autorenteam hat seine Ergebnisse mit verschiedenen Marktteilnehmern entlang der gesamten Wertschöpfungskette von Seltenen Erden in Deutschland und untergeordnet auch in anderen Ländern diskutiert. Wie schon in Vorbereitung des ersten DERA Industrieworkshops zu Seltenen Erden im Februar 2011, wurde eine Reihe von Unternehmen und Experten besucht bzw. befragt. Die von diesen Marktteilnehmern an die Autoren übermittelten Informationen flossen vollständig in diese Studie ein, bleiben jedoch im Einzelnen aus Wettbewerbsgründen vertraulich.

Die Autoren freuen sich, wenn ihre Studie zur Markttransparenz beiträgt und den Akteuren auf dem Markt hilft, ihren Blick auf alle Aspekte der Gewinnung und Verarbeitung von Seltenen Erden zu schärfen.

Danksagung

Die Autoren dieser Studie danken den Unternehmen

- Vacuumschmelze GmbH & Co. KG
- Bayer AG
- REEtec AS
- Rare Earths Norway AS
- Lynas Rare Earths Ltd.
- Iluka Resources Ltd.
- Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS
- Heraeus AMLOY Technologies GmbH (Heraeus Remloy)

sowie

- Herrn Alister MacDonald

für vielfältige Diskussionen, Informationen und zum Teil auch Möglichkeiten zu Werksbesichtigungen.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	2
Danksagung	4
Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	9
1 Zusammenfassung	12
2 Definitionen und Lagerstättengeologie	14
2.1 Seltene Erden	14
2.2 Seltenerdminerale	16
2.3 Lagerstättengeneese und -typen	18
3 Verwendung und Anforderungen	22
3.1 Permanentmagnete	25
3.2 Katalysatoren	30
3.3 Glas	31
3.4 Technische Keramiken	32
3.5 Kontrastmittel	33
4 Bergbauförderung und Raffination von Seltenen Erden	34
4.1 Wertschöpfungskette der Seltenen Erden	34
4.2 Anforderungen an Seltenerdlagerstätten und -projekte	39
4.2.1 Lagerstättengeologische Anforderungen	39
4.2.2 Weitere Anforderungen	41
4.3 Bergbauförderung	44
4.3.1 Entwicklung der Bergbauförderung	44
4.3.2 Heutige Bergbauförderung	56
4.3.3 Projekte	66

4.4	Raffination	83
4.4.1	Entwicklung der Raffination	83
4.4.2	Heutige Raffination	86
4.4.3	Projekte	94
4.5	Recycling	98
4.6	Nachhaltigkeitsaspekte	102
5 Preisentwicklung		105
6 Angebot und Nachfrage nach Seltenen Erden in Deutschland		110
6.1	Vorkommen	110
6.2	Produktion	111
6.3	Import und Export	113
6.4	Nachfrage	114
7 Literaturverzeichnis		118
Anhang		125
I.	Kurzbeschreibungen Produktionsstandorte	126
II.	Kurzbeschreibungen SE-Projekte	165
III.	Auflistung weiterer SE-Projekte mit publizierten Ressourcen	204
IV.	Ranking ausgewählter SE-Projekte	242
V.	Indikatoren zur Risikobewertung	244

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Vereinfachter Überblick zu geologischen Gegebenheiten für die Bildung unterschiedlicher Lagerstättentypen und Beispiele aktueller SE-Projekte bzw. Produktionsstandorte.	19
Abb. 2:	Entwicklung des weltweiten Verbrauchs von Seltenen Erden nach den wichtigsten Anwendungsgebieten.	24
Abb. 3:	Unterschiede im regionalen Verbrauch von Seltenen Erden nach den wichtigsten Anwendungsgebieten.	24
Abb. 4:	Geschätzter Bedarf an SEE für NdFeB-Magnete im Jahr 2023 und prognostizierter Bedarf im Jahr 2030.	30
Abb. 5:	Vereinfachtes Prozessschema für die Wertschöpfung von Seltenen Erden im Erz bis zum Metall mit den verkaufsfähigen (Zwischen-)Produkten (hellblau) nach den einzelnen Weiterverarbeitungsstufen.	38
Abb. 6:	Historische Bergwerksförderung von Seltenen Erden.	44
Abb. 7:	Übersichtskarte der chinesischen Bergwerke mit Produktion von Seltenen Erden (ohne Monazitseifen).	58
Abb. 8:	Übersichtskarte der weltweiten Bergwerke mit Produktion von Seltenen Erden.	65
Abb. 9:	Inhalte im Vergleich zu absoluten Gehalten von Seltenen Erden in Festgesteinslagerstätten mit Dominanz von leichten Seltenen Erden.	69
Abb. 10:	Weltweite SE-Lagerstätten mit Ressourcen > 1 Mio. t SEO-Inhalt.	70
Abb. 11:	Inhalte im Vergleich zu absoluten Gehalten von Seltenen Erden in Festgesteinslagerstätten mit Dominanz von mittelschweren/schweren Seltenen Erden.	71
Abb. 12:	Absolute Inhalte der weltweiten SE-Lagerstätten mit Dominanz von mittelschweren/schweren Seltenen Erden.	72
Abb. 13:	Inhalte im Vergleich zu den relativen Gehalten von mittelschweren/schweren Seltenen Erden in Lagerstätten, die mit einer Dominanz von mittelschweren/schweren Seltenen Erden in Verbindung gebracht werden.	73
Abb. 14:	Inhalte im Vergleich zu den relativen Gehalten von mittelschweren/schweren Seltenen Erden in Ionenadsorptionstonlagerstätten.	74
Abb. 15:	Inhalte im Vergleich zu den absoluten Gehalten von Seltenen Erden in Ionenadsorptionstonlagerstätten.	74
Abb. 16:	Übersicht der weltweit bedeutendsten SE-Lagerstätten in Bezug auf ihre Ressourcen an mittelschweren und schweren Seltenen Erden.	76
Abb. 17:	Relative Gehalte (in %) von mittelschweren und schweren SEO sowie im Vergleich dazu mittelschweren und schweren SEO abzgl. Yttriumoxid (Y_2O_3) in bekannten SE-Lagerstätten, in denen mittelschwere/schwere Seltene Erden dominieren (> 25 %).	77
Abb. 18:	Bedeutende Seifen und Halden mit Monazit und Xenotim.	78
Abb. 19:	Gesamtinhalte an Seltenen Erden im Vergleich zur Radioaktivität von SE-Mineralen in den 65 SE-Vorkommen weltweit, zu denen entsprechende Daten publiziert sind.	79

Abb. 20: Übersichtskarte der weltweiten Raffinadestandorte mit Produktion von Seltenen Erden sowie von Raffinadeprojekten.	93
Abb. 21: Mögliche Verwertungsrouten von Altmagneten oder Produktionsabfällen mit den zur Anwendung kommenden Technologien.	99
Abb. 22: Wertschöpfung, Produktionsschritte und unterschiedliche Recyclingmethoden bei der Herstellung von NdFeB-Sintermagneten.	101
Abb. 23: Preisentwicklung der für die SE-Magnetproduktion wichtigen Metalle Neodym, Praseodym, Dysprosium, Terbium und Samarium seit April 2001.	105
Abb. 24: Preisentwicklung der für die Katalysatorproduktion wichtigen Oxide von Cer und Lanthan sowie von Yttrium und Erbium seit Januar 2008.	106
Abb. 25: Preisentwicklung des für die Herstellung von MRT-Kontrastmitteln wichtigen Gadoliniumoxids seit November 2010.	106
Abb. 26: Preisentwicklung der für die SE-Magnetproduktion wichtigen Metalle Neodym, Praseodym, Dysprosium, Terbium und Samarium seit Juni 2019.	108
Abb. 27: Preisentwicklung der für die Katalysatorproduktion wichtigen Oxide von Cer und Lanthan sowie von Yttrium und Erbium seit Januar 2019.	108
Abb. 28: Preisentwicklung von SE-Konzentrat aus Ionenadsorptionstonen ab Hafen China. ...	109
Abb. 29: Karte der weltweiten Bergbaustandorte von Seltenen Erden.	126
Abb. 30: Karte der weltweiten Standorte mit Raffinadewerken von Seltenen Erden.	127
Abb. 31: Karte der chinesischen Bergbaustandorte von Seltenen Erden (ohne Monazitseifen).	128
Abb. 32: Karte der weltweiten Standorte von SE-Bergbauprojekten.	204
Abb. 33: Karte der Standorte von SE-Bergbauprojekten in Afrika.	205
Abb. 34: Karte der Standorte von SE-Bergbauprojekten in Asien.	210
Abb. 35: Karte der Standorte von SE-Bergbauprojekten in Australien.	218
Abb. 36: Karte der Standorte von SE-Bergbauprojekten in Europa.	226
Abb. 37: Karte der Standorte von SE-Bergbauprojekten in Nordamerika.	231
Abb. 38: Karte der Standorte von SE-Bergbauprojekten in Südamerika.	237

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Seltene Erden und ihre wichtigsten physikalisch-chemischen Eigenschaften.	14
Tab. 2:	Umrechnungsfaktoren von Seltenerdmetallen zu Seltenerdoxid.	16
Tab. 3:	Durchschnittsgehalte der Seltenen Erden und anderer seltener Metalle in der kontinentalen Erdkruste.	16
Tab. 4:	Liste der bedeutendsten SE-Mineraie. Die derzeit wirtschaftlich genutzten SE-Mineraie sind grau hinterlegt.	17
Tab. 5:	Thorium und Uran und ihre wichtigsten physikalisch-chemischen Eigenschaften im Vergleich zu den Seltenen Erden.	18
Tab. 6:	Auswahl von Verwendungsbereichen der Seltenen Erden.	22
Tab. 7:	Merkmale von gesinterten und kunststoffgebundenen NdFeB-Magneten.	26
Tab. 8:	Anwendungsbeispiele und enthaltene Menge an NdFeB-Magnetwerkstoffen.	27
Tab. 9:	Typische Legierungsbestandteile von NdFeB-Magneten und ihre Wirkung.	28
Tab. 10:	Geschätzter Bedarf an SEE (Nd, Pr, Dy, Tb) für NdFeB-Magnete nach verschiedenen Quellen bei Annahme eines SE-Inhalts von 32 %.	29
Tab. 11:	Chinesische Größenklassifikation von SE-Lagerstätten.	39
Tab. 12:	Russische Größenklassifikation von SE-Festgesteinslagerstätten.	39
Tab. 13:	Anforderungen an SE-Vorkommen bzw. -Lagerstätten in Kanada.	40
Tab. 14:	Übersicht der weltweiten Bergwerksförderung von Seltenen Erden im Zeitraum 2020 – 2023.	62
Tab. 15:	Übersicht der weltweiten Bergwerksförderung von Seltenen Erden im Zeitraum 2020 – 2023.	63
Tab. 16:	Verteilung der weltweiten Vorräte, getrennt nach Ressourcen und Reserven, von Seltenen Erden in Festgesteinslagerstätten (inkl. Regolithen) und monazit- führenden Seifen.	67
Tab. 17:	Relative SEO-Verteilung im Erz sowie Ausbringen in der Flotation und Hydrometallurgie in ausgewählten Karbonatiten, nach Firmenberichten.	80
Tab. 18:	Relative SEO-Verteilung a.) im Erz, SE-Mischkarbonat und SE-Mischoxalat sowie jeweiliges Ausbringen der Lagerstätte Deep Fox-Foxtrot, NL, Kanada sowie b.) im Lopariterz von Lovozero und im daraus hergestelltem SE-Mischchlorid in Solikamsk.	81
Tab. 19:	Relative SEO-Verteilung im Erz sowie Ausbringen in ausgewählten SE-Lager- stätten mit Dominanz mittelschwerer/schwerer SE.	81
Tab. 20:	Relative SEO-Verteilung im Erz und Konzentrat sowie hydrometallurgisches Ausbringen in ausgewählten brasilianischen Ionenadsorptionstonlagerstätten.	82
Tab. 21:	Übersicht der weltweiten Raffinadeproduktion von Seltenen Erden im Zeitraum 2020 – 2023.	92
Tab. 22:	Importe von SE-Verbindungen, inkl. Scandiumverbindungen (HS-Code 284690) (in t) durch Deutschland.	113
Tab. 23:	Importe von SE-Metallen, inkl. Sc (HS-Code 280530) (in t) durch Deutschland.	114
Tab. 24:	Verteilung der chinesischen SE-Reserven und -Ressourcen auf die Provinzen.	135

Tab. 25:	Verteilung der chinesischen SE-Reserven und -Ressourcen zum Jahresende 2007.	136
Tab. 26:	Relative SEO-Verteilung und absolute Gehalte von ThO ₂ und U ₃ O ₈ (in ppm) in chinesischen SE-Lagerstätten.	144
Tab. 27:	Relative SEO-Verteilung und absolute Gehalte von ThO ₂ und U ₃ O ₈ in indischen Monazitkonzentraten.	146
Tab. 28:	Relative SEO-Verteilung und absolute Gehalte von ThO ₂ und U ₃ O ₈ (in ppm) in russischen SE-Lagerstätten.	150
Tab. 29:	Relative SEO-Verteilung und absolute Gehalte von ThO ₂ und U ₃ O ₈ (in ppm) in US-amerikanischen und madagassischen Monazitkonzentraten.	153
Tab. 30:	Relative SEO-Verteilung und absolute Gehalte von ThO ₂ und U ₃ O ₈ (in ppm) in chinesischen SE-Lagerstätten.	161
Tab. 31:	Wichtige Projekte mit SEO-Potenzial in Afrika, soweit dazu derzeit Vorratsangaben vorliegen.	206
Tab. 32:	Relative SEO-Verteilung und absolute Gehalte von ThO ₂ und U ₃ O ₈ (in ppm) in afrikanischen SE-Lagerstätten.	209
Tab. 33:	Wichtige Projekte mit SEO-Potenzial in Asien (exkl. Indien, Russland und China), soweit dazu derzeit Vorratsangaben vorliegen.	211
Tab. 34:	Relative SEO-Verteilung und absolute Gehalte von ThO ₂ und U ₃ O ₈ (in ppm) in asiatischen SE-Lagerstätten.	213
Tab. 35:	Schwermineralvorkommen mit SEO-Potenzial in Indien, soweit dazu derzeit Vorratsangaben vorliegen.	214
Tab. 36:	Monazitressourcen (alle Ressourcenkategorien inkl. spekulativer Ressourcen) in Indien nach Bundesstaat.	215
Tab. 37:	Wichtige Projekte mit SEO-Potenzial in der Russischen Föderation, soweit dazu derzeit Vorratsangaben vorliegen.	216
Tab. 38:	Wichtige Projekte mit SEO-Potenzial in Vietnam, soweit dazu derzeit Vorratsangaben vorliegen.	217
Tab. 39:	Wichtige Schwermineralprojekte mit SEO-Potenzial in Australien, soweit dazu derzeit Vorratsangaben vorliegen.	219
Tab. 40:	Weitere Projekte mit SEO-Potenzial in Australien, soweit dazu derzeit Vorratsangaben vorliegen.	222
Tab. 41:	Relative SEO-Verteilung und absolute Gehalte von ThO ₂ und U ₃ O ₈ (in ppm) in australischen Monazit-/Xenotimkonzentraten.	224
Tab. 42:	Relative SEO-Verteilung und absolute Gehalte von ThO ₂ und U ₃ O ₈ (in ppm) (in ppm) in australischen SE-Lagerstätten.	225
Tab. 43:	Wichtige Projekte mit SEO-Potenzial in Europa, soweit dazu derzeit Vorratsangaben vorliegen.	227
Tab. 44:	Relative SEO-Verteilung und absolute Gehalte von ThO ₂ und U ₃ O ₈ (in ppm) (in ppm) in europäischen SE-Lagerstätten.	228
Tab. 45:	Wichtige Projekte mit SEO-Potenzial in Grönland, soweit dazu derzeit Vorratsangaben vorliegen.	229
Tab. 46:	Relative SEO-Verteilung und absolute Gehalte von ThO ₂ und U ₃ O ₈ (in ppm) in grönländischen SE-Lagerstätten.	230
Tab. 47:	Wichtige Projekte mit SEO-Potenzial in Kanada, soweit dazu derzeit Vorratsangaben vorliegen.	232

Tab. 48:	Relative SEO-Verteilung und absolute Gehalte von ThO_2 und U_3O_8 (in ppm) in kanadischen SE-Lagerstätten.	234
Tab. 49:	Wichtige Projekte mit SEO-Potenzial in den USA, soweit dazu derzeit Vorratsangaben vorliegen.	235
Tab. 50:	Relative SEO-Verteilung und absolute Gehalte von ThO_2 und U_3O_8 (in ppm) in US-amerikanischen SE-Lagerstätten.	236
Tab. 51:	Wichtige Projekte mit SEO-Potenzial in Südamerika, soweit dazu derzeit Vorratsangaben vorliegen.	238
Tab. 52:	Wichtige Schwermineralprojekte mit SEO-Potenzial in Südamerika, soweit dazu derzeit Vorratsangaben vorliegen.	239
Tab. 53:	Relative SEO-Verteilung und absolute Gehalte von ThO_2 und U_3O_8 (in ppm) in südamerikanischen SE-Lagerstätten.	241
Tab. 54:	Übersichtsdarstellung der in dieser Studie näher dargestellten SE-Bergbauprojekte und sich daraus ergebendes Ranking auf einer Skala von -40 bis +40.	242

1 Zusammenfassung

Die Gruppe der Seltenen Erden (SE) umfasst chemisch 17 Elemente, wobei das radioaktive Element Promethium nicht mineralbildend ist und das Element Scandium nicht zusammen mit den anderen Seltenerdelementen (SEE) auftritt. Lagerstättengeologisch sind daher nur 15 Seltenerdelemente relevant. Von ihnen zählen Cer, Lanthan, Neodym und Praseodym zu den leichten SEE, Samarium, Europium und Gadolinium zu den mittelschweren SEE und Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium, Lutetium und Yttrium zu den schweren SEE.

Die verschiedenen SEE bzw. SE-Verbindungen werden in einer Vielzahl von Anwendungen in sehr unterschiedlichen Industrien eingesetzt. Die weltweit wichtigsten Anwendungsbereiche sind Permanentmagnete (29 % im Jahr 2020), Chemie- und Autokatalysatoren (20 %), Poliermittel (14 %), Eisen- und Stahllegierungen (9 %), Nickel-Metallhydrid-Batterien (8 %), Glas (8 %), Keramik (3 %), Leuchtmittel (< 1 %) sowie andere Anwendungen (9 %), z. B. in der Medizintechnik und in Lasern.

Die meisten Seltenen Erden sind nicht selten und kommen in der Erdkruste häufiger vor als viele andere seltene Metalle. Es gibt zahlreiche SE-haltige Minerale, von denen bisher jedoch nur Bastnäsit, Monazit, Loparit und Xenotim wirtschaftliche Bedeutung besitzen. SE-Minerale finden sich in zahlreichen Lagerstättentypen, wobei die wichtigsten Karbonatite, Schwermineralseifen und Ionenadsorptionstone sind.

Seit etwa 1886 wird das Mineral Monazit kommerziell gefördert, es wird jedoch erst seit Mitte des 20. Jahrhunderts als Ausgangsrohstoff für die Extraktion von Seltenen Erden genutzt. Heute findet eine Bergbauförderung von Monazit und weiteren SE-Mineralen wie Bastnäsit in 18 Ländern statt, angeführt von China, auf das ca. 67 % (2023) der weltweiten Bergbauförderung entfallen.

Derzeit liegen zu 379 Festgesteinslagerstätten (inkl. Ionenadsorptionstone) und 88 Seifen Vorratsangaben zu ihren SE-Gehalten vor. Diese wurden im Rahmen dieser Studie zusammengetragen, inkl. eines Rankings der 19 am weitesten fortgeschrittenen Projekte außerhalb Chinas unter Berücksichtigung von 20 relevanten Kriterien.

Die Weiterverarbeitung der SE-Minerale bzw. Separation der Seltenen Erden erfolgt in derzeit acht Ländern, wiederum angeführt von China mit einem Weltmarktanteil von 93 % im Jahr 2023. Die Zusammenstellung der aktiven Bergwerke und Raffinadestandorte sowie der aktuellen Projekte macht die Unterschiede zwischen den einzelnen Standorten deutlich, zeigt aber auch die Bestrebungen, die Marktmacht Chinas zu reduzieren.

Die Wertschöpfungskette von der SE-Mineralisation im Erz bis hin zu hochreinen separierten SE-Oxiden bzw. -Verbindungen bereit für den industriellen Einsatz ist komplex und kapitalintensiv. Zudem ist das hierfür benötigte technische Know-how wenig verbreitet und die Separation von schweren SEE derzeit nur in China industriell etabliert. Viele Bergbauunternehmen, die SE-Projekte entwickeln, negieren die damit verbundenen Herausforderungen, wodurch die Projekte zu optimistisch dargestellt werden.

Ein wichtiger Gesichtspunkt bei der Aufbereitung von SE-Erzen stellt die damit häufig verbundene Umweltbelastung durch eingesetzte Chemikalien sowie freiwerdende Schwermetalle, aber besonders auch radioaktive Abfallstoffe (Uran, Thorium) dar.

Die End-of-Life Recycling Input Rate (EoL-RIR) von Seltenen Erden liegt in der EU derzeit bei unter 1 % und trägt somit nur marginal zur Versorgung mit Seltenen Erden bei. Derzeitige Forschungsanstrengungen sind besonders auf das Recycling von Permanentmagneten ausgerichtet.

Die Preisentwicklung der Seltenen Erden in den letzten 15 Jahren ist durch einen starken Preisanstieg im Zeitraum Juli 2010 bis Dezember 2012 mit einem Höhepunkt im Juli und August 2011 gekennzeichnet. Seit dieser Zeit sind die Preise wieder stark zurückgegangen und mit Ausnahme einer weiteren befristeten Preissteigerung im Zeitraum Juni 2021 bis Spätherbst 2022 wieder weitestgehend stabil. Der Gesamtmarkt der Seltenen Erden ist daher von einem leichten Überangebot bei niedrigen Preisen gekennzeichnet, der die Entwicklung von neuen SE-Projekten außerhalb Chinas sehr erschwert.

In Deutschland existieren keine wirtschaftlich gewinnbaren SE-Vorkommen und keine Aufbereitungsmöglichkeiten für SE-Erze. Die deutsche Wirtschaft verbraucht jährlich rund 5.000 t SEE bzw. SE-Verbindungen, was etwa 1,5 – 2 % der weltweiten Nachfrage entspricht. Mit weitem Abstand zählen die Katalysatorenproduzenten zu den größten Verbrauchern von Seltenen Erden in Deutschland.

2 Definitionen und Lagerstättengeologie

2.1 Seltene Erden

Seltene Erden (engl.: rare earths), abgekürzt SE, ist die zusammenfassende nichtwissenschaftliche Bezeichnung für die Elemente mit den Ordnungszahlen (OZ) 57 – 71 (= Lanthanoide) im Periodensystem (s. Tabelle 1) zzgl. dem Element Yttrium (OZ 39), das ähnliche chemische Eigenschaften besitzt und in der Natur stets zusammen mit den anderen Seltenerdelementen (SEE) auftritt.

Die International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) schließt zudem das Element Scandium (OZ 21) mit in die Seltenen Erden ein, weil es wie Yttrium und Lanthan zur 3. Neben-

gruppe des Periodensystems gehört. Scandium besitzt jedoch völlig unterschiedliche Eigenschaften, hat andere Verwendungsbereiche und kommt in der Natur nicht vergesellschaftet mit den anderen Seltenen Erden vor. Lagerstättengeologisch, rohstoffwirtschaftlich und auch in dieser Studie wird daher Scandium nicht mit zu den Seltenen Erden gezählt.

Promethium (Pm, OZ 61) ist ein Zerfallsprodukt von ^{238}U und ^{151}Eu . Alle seine Isotope sind selber radioaktiv und kommen in der Natur stets nur kurzlebig und in sehr geringen Mengen (weltweit gesamt < 1 kg) vor. Promethium besitzt daher keine nennenswerte wirtschaftliche Bedeutung.

Tab. 1: Seltene Erden und ihre wichtigsten physikalisch-chemischen Eigenschaften.

Element	Symbol	Ordnungszahl	Atommasse (u)	trivalenter Ionenradius (pm)		wichtige Oxide
				CN6	CN8	
Lanthan	La	57	138,905	103,2	116,0	La_2O_3
Cer	Ce	58	140,116	101,0	114,3	CeO_2 , Ce_2O_3
Praseodym	Pr	59	140,908	99,0	112,6	Pr_6O_{11} , Pr_2O_3
Neodym	Nd	60	144,243	98,3	110,9	Nd_2O_3
Promethium	Pm	61	146,915	97,0	109,3	
Samarium	Sm	62	150,362	95,8	107,9	Sm_2O_3
Europium	Eu	63	151,954	94,7	106,6	Eu_2O_3 , EuO
Gadolinium	Gd	64	157,253	93,8	105,3	Gd_2O_3
Terbium	Tb	65	158,925	92,3	104,0	Tb_4O_7
Dysprosium	Dy	66	162,500	91,2	102,7	Dy_2O_3
Holmium	Ho	67	164,930	90,1	101,5	Ho_2O_3
Erbium	Er	68	167,259	89,0	100,4	Er_2O_3
Thulium	Tm	69	168,934	88,0	99,4	Tm_2O_3
Ytterbium	Yb	70	173,045	86,8	98,5	Yb_2O_3
Lutetium	Lu	71	174,967	86,1	97,7	Lu_2O_3
Yttrium	Y	39	89,906	90,0	101,9	Y_2O_3

Die 16 Elemente der Gruppe der Seltenen Erden wurden in den Jahren zwischen 1794 (Yttrium) und 1945 (Promethium), viele davon in Mineralen aus Schweden, entdeckt. Sie erhielten ihre heutige Bezeichnung, weil sie zuerst in seltenen Mineralen gefunden und aus diesen in Form ihrer Oxide (früher „Erden“ genannt) isoliert wurden.

Wichtig in der Bewertung und Nutzung von Seltenen Erden ist ihre Zuordnung in die Untergruppen der leichten, mittelschweren und schweren Seltenen Erden. Die Untergliederung in diese Untergruppen erfolgt jedoch von Autor zu Autor, von Land zu Land und von Bergbauunternehmen zu Bergbauunternehmen unterschiedlich. In Anlehnung an die übliche Untergliederung in China wird in dieser Studie unterschieden in:

- **leichte Seltene Erden:** Lanthan (La), Cer (Ce), Praseodym (Pr), Neodym (Nd)

getrennt durch Promethium (Pm, s. o.) von

- **mittelschwere Seltene Erden:** Samarium (Sm), Europium (Eu), Gadolinium (Gd) (in der 1. Aufbereitungsstufe stets zusammen ausgebracht als SEG-Mischprodukt)
- **schwere Seltene Erden:** Terbium (Tb), Dysprosium (Dy), Holmium (Ho), Erbium (Er), Thulium (Tm), Ytterbium (Yb), Lutetium (Lu), Yttrium (Y)

Häufig werden die Untergruppen der mittelschweren und der schweren Seltenen Erden vereinfacht als schwere Seltene Erden zusammengefasst. Hierbei ist zu beachten, dass Yttrium in der Natur um ein Vielfaches häufiger ist als die anderen schweren Seltenen Erden (vgl. Tabelle 3) und daher z. B. in China keinen besonders gesuchten und damit wertvollen Rohstoff darstellt (s. Kapitel 6). Bei der Bewertung von Lagerstätten, die an schweren Seltenen Erden angereichert sind, sollte dies verstärkt beachtet werden (vgl. Kapitel 4.2.3, 4.3.3 und Anhang).

Seltene Erden in metallischer (elementarer) Form sind stets silberweiß bis grauweiß glänzend, hämmerbar und plastisch verformbar

(duktil). Die meisten Seltenen Erden in metallischer Form reagieren mit Sauerstoff – teils schon bei niedrigen Temperaturen – spontan bzw. selbstentzündlich unter Bildung ihrer Oxide und mit Wasser, teils heftig, unter Bildung von Wasserstoff und ihrer Hydroxide. SE-Metalle, speziell in Pulverform, sind dementsprechend feuer- und explosionsgefährlich.

Seltenen Erden bilden Verbindungen in Form von Oxiden, Halogeniden, Sulfaten, Nitraten, Oxalaten, Chloriden und Karbonaten sowie teils auch Perchloraten, Chromaten, Vanadaten, Wolframat, Nitriden, Phosphiden, Acetaten, Carbiden, Hydriden oder Legierungen. Viele dieser Verbindungen und häufig auch die Metalle der Seltenen Erden besitzen wirtschaftliche Bedeutungen (Kapitel 3) und werden in verschiedenen Reinheitsgraden weltweit gehandelt. Verbindungen von Lanthan und Cer sind typischerweise weiß, von Praseodym hellgrün, von Neodym rosaviolett, von Samarium gelblich und von Erbium rosa.

Die meisten SE-Verbindungen sind leicht toxisch. Die einzigen aus medizinischen Gründen (MRT, vgl. Kapitel 3.5) intravenös verabreichten SE-Verbindungen sind komplexe Gadoliniumsalze, von denen einige neuerdings in Verdacht stehen, sich im Gehirn anzureichern. Zudem können sie bei Patienten mit Nierenschäden zu schwerwiegenden chronischen Nebenwirkungen führen.

Mischmetall ist eine SE-Legierung (min. 98 % SE-Metalle) aus Cer (min. 47 %) und Lanthan sowie stark untergeordnet Praseodym und Neodym. Eisen-Mischmetall-Legierungen mit einem Eisenanteil von 15 % bis 50 % bezeichnet man als Cer-Eisen bzw. nach ihrem Erfinder mit dem Handelsnamen Auermetall.

Aufgrund der Vielzahl von SE-Verbindungen und SE-Mineralen (s. Kapitel 2.2) hat man sich international darauf geeinigt, die Menge von Seltenen Erden (z. B. in Vorkommen oder in der Produktion) stets in oxidischer Form (abgekürzt SEO, engl.: REO), also in Tonnen SEO-Inhalt anzugeben. Hierbei gelten die in Tabelle 2 aufgelisteten Umrechnungsfaktoren.

Tab. 2: Umrechnungsfaktoren von Seltenerdmetallen zu Seltenerdoxid.

Element	Symbol	Oxidform	Umrechnungsfaktor
Lanthan	La	La ₂ O ₃	1,1728
Cer	Ce	CeO ₂	1,2284
Praseodym	Pr	Pr ₆ O ₁₁	1,2082
Neodym	Nd	Nd ₂ O ₃	1,1664
Samarium	Sm	Sm ₂ O ₃	1,1596
Europium	Eu	Eu ₂ O ₃	1,1579
Gadolinium	Gd	Gd ₂ O ₃	1,1526
Terbium	Tb	Tb ₄ O ₇	1,1510
Dysprosium	Dy	Dy ₂ O ₃	1,1477
Holmium	Ho	Ho ₂ O ₃	1,1455
Erbium	Er	Er ₂ O ₃	1,1435
Thulium	Tm	Tm ₂ O ₃	1,1421
Ytterbium	Yb	Yb ₂ O ₃	1,1387
Lutetium	Lu	Lu ₂ O ₃	1,1371
Yttrium	Y	Y ₂ O ₃	1,2699

2.2 Seltenerdminerale

Die mittleren Massenanteile der Seltenen Erden in der kontinentalen Erdkruste („Clarke-Werte“) im Vergleich zu anderen seltenen bzw. wichtigen Elementen/Metallen sind in Tabelle 3 aufgelistet. Aus diesen Daten wird ersichtlich, dass die Seltenen Erden häufiger sind als die Edelmetalle, mehrere von ihnen häufiger sind als die meisten seltenen Metalle, wie Scandium, Lithium oder Gallium, und Cer sogar häufiger ist als Kupfer. Ein Großteil der Elemente der Gruppe der Seltenen Erden ist also nicht selten.

Auf der Erde sind über 200 Minerale bekannt, in denen Seltenerdelemente (SEE) in bedeutenden Mengen, überwiegend sogar dominierend, im Kristallgitter eingebaut sind. Hinzu kommen hunderte von Mineralen, in denen SEE in Spuren auftreten können.

Tab. 3: Durchschnittsgehalte der Seltenen Erden und anderer seltener Metalle in der kontinentalen Erdkruste, nach HAYNES (2016). SE-Elemente sind fett hinterlegt.

Element	Symbol	Durchschnittsgehalt (in ppm)
Nickel	Ni	84
Zink	Zn	70
Cer	Ce	66,5
Kupfer	Cu	60
Neodym	Nd	41,5
Lanthan	La	39
Yttrium	Y	33
Scandium	Sc	22
Lithium	Li	20
Gallium	Ga	19
Zinn	Sn	9,8
Praseodym	Pr	9,2
Samarium	Sm	7,1
Gadolinium	Gd	6,2
Dysprosium	Dy	5,2
Erbium	Er	3,5
Ytterbium	Yb	2,3
Europium	Eu	2,0
Holmium	Ho	1,3
Wolfram	W	1,25
Molybdän	Mo	1,2
Terbium	Tb	1,2
Lutetium	Lu	0,8
Silber	Ag	0,075
Thulium	Tm	0,5
Indium	In	0,25
Platin	Pt	0,005
Gold	Au	0,004
Palladium	Pd	0,015

Die wichtigsten SE-Mineralen, ungefähr in der Reihenfolge ihrer wirtschaftlichen Bedeutung, sind in Tabelle 4 aufgelistet.

Von den in Tabelle 4 genannten Mineralen wurden bisher nur das SE-Phosphat Monazit (seit 1892 zur Gewinnung von Thorium und Cer in Österreich, seit den 1950er Jahren zur Gewinnung von SEO in den USA, vgl. LIEDTKE et al. 2024), das SE-Titanat Loparit (seit 1951 in Lovo-

zero/Russland), die SE-Fluorokarbonate Bastnäsit (seit 1952 in Mountain Pass/USA und seit 1957 in Bayan Obo/China) und Synchronit-Y (seit 1960 in Kutessay II/Kirgistan) sowie das Yttriumphosphat Xenotim (seit den 1960er Jahren in den USA) zur Abtrennung von Seltenen Erden genutzt. Die Calcium-Fluorokarbonate Synchronit und Parisit treten sehr untergeordnet neben Bastnäsit in fast allen Karbonatiten (z. B. Mt. Weld/Australien) auf und werden beibehrend

Tab. 4: Liste der bedeutendsten SE-Mineralen. Die derzeit wirtschaftlich genutzten SE-Mineralen sind grau hinterlegt.

Name	Formel	SEO-Gehalt	Radioaktivität
Bastnäsit	SEE[CO ₃]F	70 – 75 %	gering
Monazit	(SEE,Th)PO ₄	48 – 70 % Ø 58 %	ThO ₂ : 1,2 – 21,9 % U ₃ O ₈ : 0,1 – 0,8 %
Loparit	(SEE,Na,Ca)(Ti,Nb)O ₃	30 – 36 %	ThO ₂ : 0,6 % U ₃ O ₈ : 0,03 %
Xenotim	YPO ₄	60 – 73 %	ThO ₂ : 0,2 – 1,1 % U ₃ O ₈ : 0,1 – 0,3 %
Synchronit	CaSEE(CO ₃) ₂ F	3 – 10 %	ThO ₂ : 0,1 – 0,5 %
Parisit	Ca(SEE) ₂ (CO ₃) ₃ F ₂	45 – 60 %	ThO ₂ : 0,3 – 0,7 %
Eudialyt	Na ₁₅ Ca,SEE ₆ (Fe,Mn) ₃ Zr ₃ SiO(O,OH,H ₂ O) ₃ Si ₃ O ₉] ₂ Si ₉ O ₂₇] ₂ (OH,Cl) ₂	1 – 10 %	gering
Allanit (Orthit)	(Ca,SEE) ₂ (Al,Fe) ₃ [SiO ₄] ₃ (OH)	18 – 29 %	ThO ₂ : 1,0 – 1,7 %
Steenstrupin	Na ₁₄ Ce ₆ Mn ₂ Fe ₂ (Zr,Th)(Si ₆ O ₁₈) ₂ (PO ₄) ₇ ·3(H ₂ O)	Ø 31 %	ThO ₂ : 2 %
Rhabdophan	SEE(PO ₄)·H ₂ O	61 – 65 %	gering
Euxenit	(Y,Ca,Ce,U,Th)(Nb,Ta,Ti) ₂ O ₆	Ø 26 %	ThO ₂ : 2,4 % U ₃ O ₈ : 8,0 %
Ancylit	SrSEE[CO ₃] ₂ (OH)·H ₂ O	Ø 43 %	gering
Churchit	SEE[PO ₄] ₂ ·2H ₂ O	51 – 61 %	gering
Fergusonit	SEE(Nb,Ti)O ₄	46 – 57 %	gering
Gadolinit	(SEE) ₂ FeBe ₂ O ₂ Si ₂ O ₁₀	47 – 59 %	gering
Samarskit	(Y,Yb,Fe) ₂ (Nb,Ta) ₂ O ₈	4 – 19 %	ThO ₂ : 1,3 – 10,1 % U ₃ O ₈ : 10,4 – 29,6 %
Rinkit	(Ca ₃ SEE)Na(NaCa)Ti(Si ₂ O ₇) ₂ (OF)F ₂	10 – 21 %	ThO ₂ : 0,1 – 0,4 %
Cerianit	Ce(Th)O ₂	bis 84 %	ThO ₂ : 5 – 34 % U ₃ O ₈ : sehr hoch
Cerit	(Ce,La,Ca) ₃ (Mg,Fe)[SiO ₄] ₆ (SiO ₃ OH)] ₄ (OH) ₃	64 – 73 %	gering
Vitusit	Na ₃ (SEE)(PO ₄) ₂	Ø 34 – 41 %	gering

mitgewonnen. Nur zu diesen Mineralen liegen dementsprechend bisher großmaßstäbliche Aufbereitungserfahrungen vor. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass zu allen anderen SE-Mineralen höchstens Aufbereitungserkenntnisse aus Labor- oder Pilotanlagen vorliegen, was ihre wirtschaftliche Nutzung sehr erschwert.

Die Aufbereitung von Eudialyt, einem bedeutenden und in vielen peralkalinen Gesteinen vorkommendem, an schweren Seltenen Erden reichem Mineral ist in Lovozero/Russland und Norra Kärr/Schweden geplant. In Lovozero tritt zudem Euxenit auf.

Allanit, Cerianit und Rhabdophan sind ebenfalls wichtige SE-Mineralen in peralkalinen Gesteinen – jedoch alle noch ohne wirtschaftliche Bedeutung.

Das Gleiche trifft auf Ancyllit und das Verwitterungsmineral Churchit zu, die in Karbonatiten auftreten.

Fergusonit, Gadolinit und Samarskit gehören zu den bedeutenden SE-Mineralen in Pegmatiten.

Der ansonsten relativ seltene Steenstrupin ist das wichtigste SE-Mineral in der Lagerstätte Kvanefjeld/Grönland. Vitisit ist sein Verwitterungsprodukt.

Die SEE, die stöchiometrisch vorherrschend in SE-Mineralen zu finden sind, sind in abnehmender Reihenfolge: Yttrium in 59 Mineralen, Cer in 51 Mineralen, Neodym in 13 Mineralen, Lanthan in zwölf Mineralen sowie Ytterbium in zwei Mineralen.

Da die radioaktiven Elemente Thorium (Th) und Uran (U) sehr ähnliche Ionendurchmesser besitzen wie die SEE (vgl. Tabelle 1 und 5), sind diese sehr häufig zusammen im Kristallgitter der SE-Mineralen eingebaut. Dies bedeutet in der Praxis, dass SE-Mineralen stets in stark wechselnden Anteilen Uran und Thorium enthalten und dementsprechend unterschiedlich radioaktiv sind, während U- und Th-Mineralen stets auch SEE enthalten. In der Natur gibt es lückenlose Mischreihen zwischen SE-, U- und Th-Mineralen, so von Cerianit (CeO₂) über Thorianit (ThO₂) zu Uraninit (UO₂).

Während die Abtrennung und Nutzung von Uran besonders aus dem SE-Mineral Monazit in Indien, China und den USA wirtschaftliche Bedeutung besitzt, werden Seltene Erden bisher nicht beibrechend bei der Aufbereitung von Uranerzen abgetrennt. So ist die U-Cu-Au-Ag-Lagerstätte Olympic Dam in Süd-Australien zwar zugleich die drittgrößte SE-Lagerstätte der Erde, aber der Betreiber BHP Group hat in mehreren Veröffentlichungen klargemacht, dass er eine Abtrennung der im Erz enthaltenen Seltenen Erden nicht plant. Der Grund liegt am geringen Wert der Seltenen Erden im Vergleich zu den ausgebrachten Edelmetallen, des Urans und Kupfers.

2.3 Lagerstättengenesse und -typen

Die oben beschriebenen Minerale der Seltenen Erden treten in einer Vielzahl von Lagerstättentypen auf. Wirtschaftlich bedeutend sind derzeit allerdings nur wenige, in erster Linie die mit

Tab. 5: Thorium und Uran und ihre wichtigsten physikalisch-chemischen Eigenschaften im Vergleich zu den Seltenen Erden (vgl. Tabelle 1).

Element	Symbol	Ordnungszahl	Atommasse (u)	trivalenter Ionenradius (pm)		Wichtige Oxide
				CN6	CN8	
Thorium	Th	90	232,038	94	105	ThO ₂
Uran	U	92	238,028	97	101	U ₃ O ₈ , UO ₂ , UO ₃

magmatischer Aktivität verbundenen Karbonat-Intrusionen als Festgesteinslagerstätten, die Verwitterungslagerstätten der Ionenadsorptionstone sowie die sedimentären Seifen mit Monazit und Xenotim als Beiprodukte. Darüber hinaus stehen weitere Lagerstättentypen wie peralkaline Gesteine oder Pegmatite im Fokus von aktuellen Explorationsarbeiten. Als Beiprodukt ist die Gewinnung z. B. auch aus Apatit-Lagerstätten, die der Phosphatproduktion dienen, möglich. Da die Gewinnung von SE-Mineralen als Beiprodukt häufig nicht wirtschaftlich ist bzw. war, wurden sie in den meisten Fällen nicht mitgewonnen, sondern als Abraum aufgehaldet (z. B. Monazit und Xenotim in Eneabba/Australien, Apatitkonzentrat in Kiruna/Schweden). Die Halden bieten ein weiteres Potenzial für die SE-Gewinnung, in Eneabba ist die Aufbereitung der Monazit-Xenotim-Halde bereits gestartet.

Über spätmagmatische und hydrothermale Vorgänge kann eine bauwürdige Konzentration primärer SE-Lagerstätten entstehen. Da SEE in Fluiden und Lösungen Komplexe mit Anionen bilden, sind sie im magmatisch-hydrothermalen Bereich besonders mobil und können bei hohen Salz- bzw. CO₂-Gehalten der Fluide mobilisiert, transportiert und aufkonzentriert werden. Neben Anreicherung von SEE in Pegmatiten (meist kleinräumig mit geringen SE-Inhalten) oder Skarnlagerstätten (global nur eine untergeordnete Rolle) ist dieser Prozess entscheidend für die Lagerstättenbildung im Zusammenhang mit Karbonatiten. Darüber hinaus sind Verwitterungsprozesse wichtige Vorgänge bei der SE-Lagerstättenbildung. Zum einen sind sie für die Bildung von Seifenlagerstätten verantwortlich, bei dem neben anderen Schwermineralen auch Monazit angereichert wird, zum anderen für die Bildung von Ionenadsorptionstone (engl. IAC) durch die chemische Verwitterung i. d. R. von Graniten bzw. granitoiden Gesteinen.

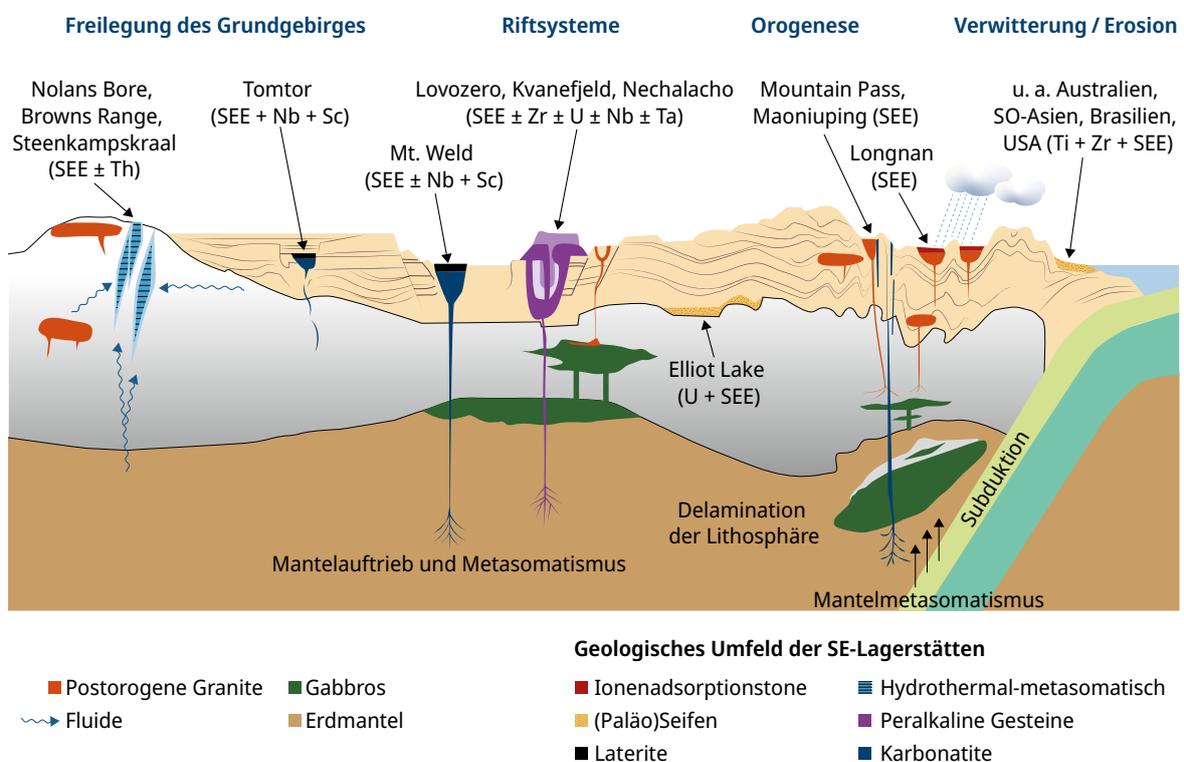


Abb. 1: Vereinfachter Überblick zu geologischen Gegebenheiten für die Bildung unterschiedlicher Lagerstättentypen und Beispiele aktueller SE-Projekte bzw. Produktionsstandorte (verändert nach KALVIG 2022).

Karbonatite

Per Definition liegt der SiO_2 -Gehalt in Karbonatiten unter 20 % und Karbonatminerale wie Calcit (CaCO_3) oder Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) dominieren (> 50 %). Karbonatite sind häufig in alkalischen Komplexen, in Riftzonen und in kontinentalen Kollisionszonen als Intrusionsbrekzien, Gänge oder als kegelförmige Intrusionskörper zu finden.

Die häufigsten und wirtschaftlich bedeutendsten SE-Minerale in Karbonatitlagerstätten sind Monazit und Bastnäsit. Die derzeit in Abbau oder fortgeschrittener Exploration stehenden karbonatitischen Seltenerd-Lagerstätten sind dadurch gekennzeichnet, dass sie verhältnismäßig groß sind, einen relativ hohen SE-Gehalt aufweisen (typischerweise 1 – 9 % SEO) und von leichten SE dominiert sind. Ein großer Teil der derzeitigen Produktion von Seltenen Erden stammt aus Karbonatiten (86,5 % laut LIU et al. 2023), insb. aus den drei großen Karbonatitlagerstätten Bayan Obo in China, Mt. Weld in Australien und Mountain Pass in den USA. Bayan Obo ist geologisch gesehen jedoch eine hydrothermal bzw. metasomatische Eisenerz-Lagerstätte mit Seltenen Erden, Niob etc. als Nebenprodukten, bei der die erzbildenden Fluide vermutlich multitemporal aus Karbonatitmagma freigesetzt wurden. Es handelt sich um mehrere Erzkörper aus dolomitischen Fe-Karbonatgängen und Kontaktzonen, entstanden durch Umwandlung eines mesoproterozoischen Riffkalksteins unterhalb eines bis 300 m mächtigen abdeckenden Tonschiefers. Bei der Mt.-Weld-Lagerstätte in Australien handelt es sich wiederum zwar ursprünglich um einen Karbonatit, der durch oberflächennahe Verwitterungsprozesse aber teilweise zu einem Laterit mit hoher SE-Anreicherung (9,7 % SEO, hauptsächlich im Monazit) umgeformt wurde.

Global sind zahlreiche Karbonatitvorkommen bekannt, neben China u. a. in Subsahara-Afrika und Ostkanada, aber auch in Europa (Norwegen).

Ionenadsorptionstone

Eine besondere Form der lateritischen SE-Lagerstätten sind die Ionenadsorptionstone (IAT, engl. IAC), wobei es sich um keine reinen Tone, sondern vielmehr um Regolithe (Verwitterungsböden) handelt. Sie bilden sich in tropisch-subtropischem Feuchtklima (zw. 30° N und S) durch die chemische Verwitterung von Mineralen in meist granitischen und seltener in sauren vulkanischen Gesteinen, wobei die Seltenen Erden freigesetzt werden. Diese werden anschließend aufgrund elektrostatischer Kräfte an den Oberflächen der durch die Gesteinsverwitterung entstandenen Tonminerale (hauptsächlich Kaolinit) adsorbiert. Dieser Lagerstättentyp ist i. d. R. kleinräumig (meist < 200 km²), niedriggradig (i. d. R. 0,05 – 0,2 % SEO) und weist typischerweise ein Volumen von weniger als 100.000 t SEO-Inhalt auf. Ionenadsorptionstone sind jedoch teilweise (aber nicht immer) an schweren SEO angereichert und damit global die Hauptquelle für Dy, Tb etc.

Ein typisches Verwitterungsprofil ist meist 15 – 35 m mächtig mit einer Anreicherung der leichten SEO in den mittleren Horizonten (aufgrund der schnelleren Adsorption; Ausnahme Cer, das in oxidiert Form zusammen mit Eisen im oberen Horizont verbleibt) und der schweren SEO in den unteren Horizonten. Aufgrund der geologischen Gegebenheiten ist die Gewinnung der SEO verhältnismäßig einfach, indem man Ammoniumsulfat direkt in die Lagerstätte einbringt (in-situ-Laugung) oder den angereicherten Bereich abbaggert und das Material in Becken oder Tanks laugt und dadurch direkt ein SE-Konzentrat (Misch-SE-Oxalat) > 90 % SEO erhält.

Abbauwürdige Ionenadsorptionstone treten in erster Linie in Südost-Asien (insb. Südchina, Myanmar, Laos, Vietnam, Malaysia, Thailand) und Brasilien auf, Vorkommen gibt es aber auch z. B. in Uganda, Chile oder Australien, deren Abbau aufgrund kompakterer Tone teils schwierig und bisher wirtschaftlich nicht darstellbar ist.

Seifenlagerstätten

Seifen- oder Schwermineralsandlagerstätten sind sekundäre Anreicherungen von schweren und/oder verwitterungsresistenten Mineralen in klastischen Sedimenten der Korngröße Sand (0,063 – 2 mm). Voraussetzung für ihre Bildung ist der Transport der Minerale, wobei als Transportmedium meist Wasser (fluviatil oder marin) oder Luft (äolisch) dient. Am bedeutendsten sind hier Strand-, Dünen-, Fluss- und küstennahe marine Seifen.

Schwermineralsande werden vorwiegend aufgrund ihres Gehaltes an Ilmenit, Leukoxen, Rutil, Zirkon oder anderen Wertmineralen wie z. B. Cassiterit (Zinnstein) oder Gold abgebaut. Monazit als SE-Mineral kommt meist in sehr geringen Konzentrationen, häufig zusammen mit Xenotim, vor und eine Gewinnung erfolgte in den letzten Jahrzehnten auch aufgrund der natürlichen Radioaktivität von Monazit nur selten (insb. in Indien). Die Anreicherung von Monazit im Aufbereitungsprozess ist jedoch relativ einfach und weltweit werden mittlerweile zunehmend erhebliche Mengen an Monazit aus dem Abbau von Schwermineralsanden gewonnen. In Australien, Brasilien, Südafrika, Mosambik, Madagaskar, Indien und weiteren Ländern, insbesondere in Südostasien, gibt es große Ressourcen (s. LIEDTKE et al. 2024).

Peralkaline Gesteine

Peralkaline Ablagerungen entstehen aus alkalischen, d. h. Na-reichen und SiO_2 -untersättigten Gesteinsschmelzen, die aus dem Erdmantel in die Erdkruste intrudieren. Durch die damit verbundene Druck- und Temperaturabnahme kommt es zu einer zunehmenden Kristallisation und die Restschmelze reichert sich an den inkompatiblen Elementen der Seltenen Erden an, die aufgrund des großen Ionenradius und der großen Ladung nicht Bestandteile der gewöhnlichen gesteinsbildenden Minerale sind. Einige der spätkristallisierten Minerale weisen somit einen wesentlich höheren Gehalt an Seltenen Erden auf als die aus dem Erdmantel stammenden

Schmelzen. So entstehen komplexe Na-Silikate wie Eudialyt, Loparit, Steenstrupin und Fergusonit, die die peralkalinen SE-Lagerstätten dominieren. Diese weisen bei einer geringen Radioaktivität einen erhöhten Anteil an schweren SE auf, womit sie für deren Gewinnung interessant werden. Die Aufbereitung ist aufgrund der komplexen Mineralogie allerdings schwierig und bisher nicht etabliert. Einzig in der russischen Lagerstätte Lovozero wird Loparit gefördert, es gibt aber weitere, teils sehr große Vorkommen z. B. in Grönland (Kvanefjeld mit Steenstrupin, Kringlerne mit Eudialyt), Schweden (Norra Kärr mit Eudialyt) und Kanada (Strange Lake, Nechalacho, beide mit komplexer Mineralogie).

3 Verwendung und Anforderungen

Die verschiedenen Seltenerdelemente bzw. ihre Verbindungen werden in einer Vielzahl von Anwendungen in sehr unterschiedlichen Industrien eingesetzt. Einen nicht vollständigen

Überblick hierüber gibt Tabelle 6. Die fett hervorgehobenen Anwendungen sind besonders wichtig und werden im Folgenden näher erläutert.

Tab. 6: Auswahl von Verwendungsbereichen der Seltenen Erden. Die fett hervorgehoben Anwendungen sind besonders wichtig bzw. sind die Hauptverwendungsbereiche.

Element	Form	Verwendungen
Lanthan	Metall	Gusseisenzusatz
	Legierung	Mischmetall als Zusatz für Al- und Fe-Legierungen. Auermetall für Zündsteine in Feuerzeugen und Funkenregen mit Co für Brennstoffzellen, mit Ni für Wasserstoffspeicher, mit Ti in der Medizintechnik
	Oxid	Katalysator in Erdölraffinerien und in der chemischen Industrie , Spezialglasproduktion, Geschirrglasur, Abgasreinigung in Kfz
	Chlorid	Wasserreinigung
	Karbonat	Arzneimittelproduktion, chem. Industrie, Glasfärbung, Veterinärmedizin
	Borid	Elektronik
Cer	Legierung	Mischmetall als Zusatz für Al- und Fe-Legierungen. Auermetall für Zündsteine in Feuerzeugen und Funkenregen
	Oxide	Katalysator in Fahrzeugen zur Abgasreinigung, Poliermittel für Gläser , Spezialglasproduktion, Färbung von Emaille
	Fluoride	Metallverarbeitung, feuerfeste Keramik, Sputtern, chem. Industrie
	Chloride	chemische Industrie
	Sulfate	chemische Industrie, Arzneimittelproduktion
	Nitrate	chemische Industrie
Praseodym	Legierung	NdFeB-Permanentmagnete
	Oxide	Färbemittel (grüngelb) für Glas, Keramik und Emaille, Spezialglasproduktion
Neodym	Legierung	NdFeB-Permanentmagnete
	Oxid	Färbemittel (grün) für Glas, Keramik und Emaille, Spezialglasproduktion, Entfärbung von Glas, Herstellung von Synthetikschwarz

Element	Form	Verwendungen
Samarium	Legierung	SmCo-Magnete, SmFeN-Magnete
	Oxid	Spezialglasproduktion, Katalysator in der chem. Industrie
	Iodid	chemische Industrie
Europium	Metall	Leuchtstoffe (rot, blau) für Bildschirme und Lampen
Gadolinium	Legierung	NdFeB-Permanentmagnete
	Oxid	Leuchtstoffe, Magnetooptische Speicher, Spezialglasproduktion
	Gadotersäure	Kontrastmittel für MRT-Untersuchungen
Terbium	Legierung	NdFeB-Magnete
	Oxid	Leuchtstoff (grün)
Dysprosium	Legierung	NdFeB-Magnete
Holmium	Metall	magnetische Anwendungen
	Oxid	Spezialglasproduktion
Erbium	Oxid	Färben und Entfärben von Glas
Ytterbium	Metall	Edelstahlproduktion, Dotierungsmittel in Lasern
Lutetium	Metall	Herstellung von Positronen-Emissions-Tomographen (PET)
Yttrium	Legierung	Metallurgie
	Oxide	Spezialkeramiken (Lambdasonden, Zündkerzen, Dentaltechnik), Leuchtstoff
	Granat	YAG-Festkörperlaser

Folgende Hauptanwendungsbereiche für Seltene Erden lassen sich zusammenfassen (in % Anteil am weltweiten Gesamtverbrauch 2020, nach ROSKILL 2021):

- Magnete (29 %): z. B. Neodym-Eisen-Bor- und Samarium-Kobalt-Permanentmagnete (Nd, Pr, Dy, Tb, Sm, Gd)
- Katalysatoren (20 %): z. B. zum Cracken von Petroleum und Benzin (La) und als Bestandteil in Autoabgaskatalysatoren und Rußpartikelfiltern (Ce)
- Poliermittel (14 %): Bestandteil von Poliermitteln z. B. für Glas, Computerchips etc. (Ce)
- Metallurgie (9 %): z. B. Eisen- und Stahllegierungen mit Zusätzen verschiedener Seltener Erden zur Verbesserung der Beständigkeit (La, Ce, Mischmetall, Yb, Y)
- Batterien (8 %): Batterielegierungen, Nickel-Metallhydrid-Batterien (La, Ce, Nd, Mischmetall)
- Glas (8 %): z. B. Bestandteile für Spezialgläser mit hoher Brechzahl, für UV-Schutz, zur Einfärbung und Entfärbung (La, Pr, Nd, Sm, Gd, Ho, Er)
- Keramik (3 %): z. B. Färbung (Nd, Pr), Stabilisator für Keramikmaterialien (Y), keramische Kondensatoren (La)
- Leuchtstoffe (< 1 %): z. B. Bestandteil in Plasmaschirmen, LCDs, Energiesparlampen, Fluoreszenzlampen, Radargeräten, Kathodenstrahlröhren (Eu, Gd, Tb, Y)
- Andere (9 %): z. B. Tierfutterzusatz, Pigmente, medizinische Anwendungen, Kautschukproduktion, Laser, Hochtemperatursupraleitungen, Wasserreinigung, Zündsteine

Einen historischen Vergleich der Entwicklung der Hauptanwendungsgebiete für Seltene Erden bzw. Unterschiede im regionalen Verbrauch zeigen die Abbildungen 2 und 3.

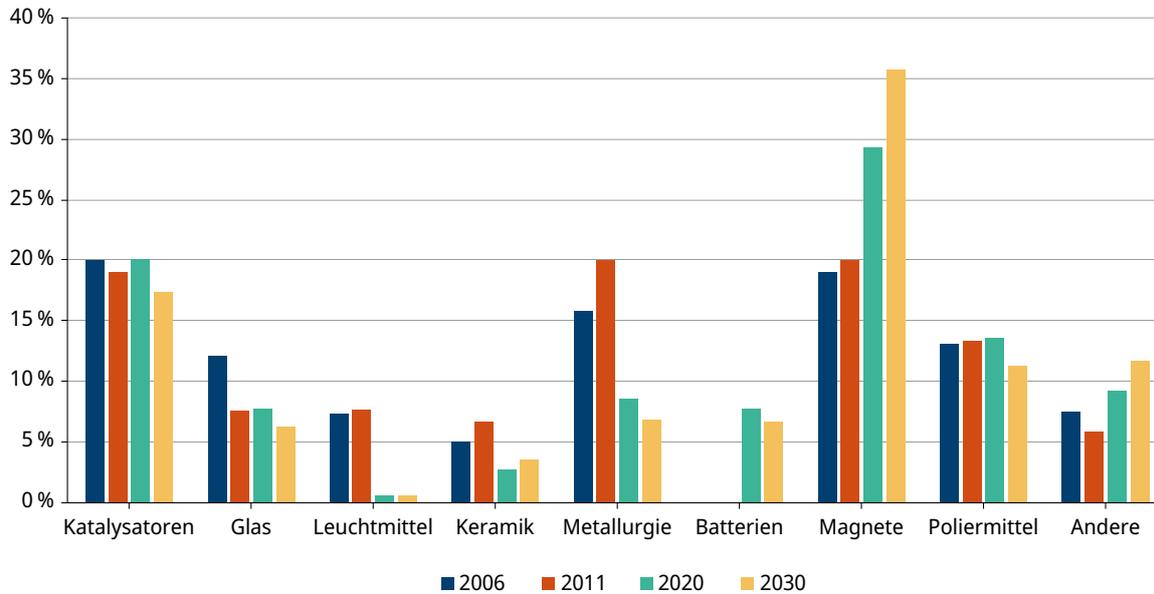


Abb. 2: Entwicklung des weltweiten Verbrauchs von Seltenen Erden nach den wichtigsten Anwendungsgebieten, 2006 nach KINGSNORTH (2007), 2011 nach KINGSNORTH (2012a), 2020 und 2030 nach ROSKILL (2021).

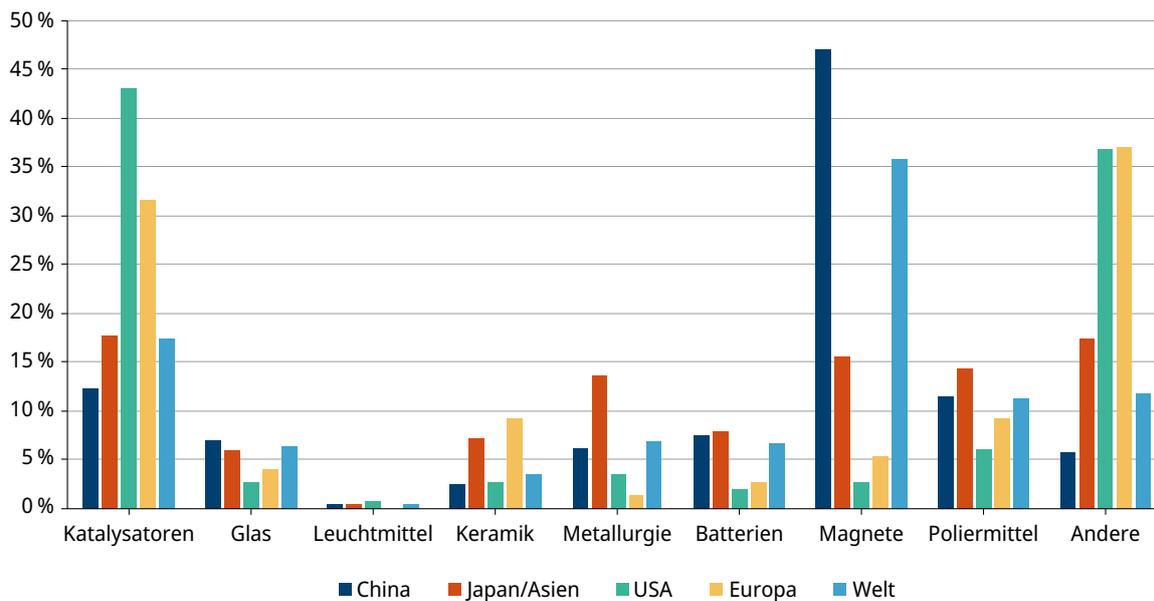


Abb. 3: Unterschiede im regionalen Verbrauch von Seltenen Erden nach den wichtigsten Anwendungsgebieten, nach ROSKILL (2021).

3.1 Permanentmagnete

Es gibt verschiedene Arten von Materialien für Permanent- bzw. Dauermagnete (diese halten ein gleichbleibendes Magnetfeld ohne Aufwendung elektrischer Leistung), u. a.:

- hartmagnetische Ferrite (keramische Verbindung von Eisenoxid mit Strontium oder Barium)
- Seltenerdlegierungen (NdFeB, SmCo, Ce-NdFeB, SmFeN)
- Aluminium-Nickel-Kobalt (AlNiCo)
- Eisen-Chrom-Kobalt (FeCrCo)
- organische Kunststoffe
- Eisennitrid

Die gängigsten Seltenerd-magnete (SE-Magnete) sind Neodym-Eisen-Bor-Magnete (NdFeB-Magnete) und Samarium-Kobalt-Magnete (SmCo-Magnete).

SE-Magnete werden in vielen verschiedenen Bereichen eingesetzt. Die wichtigsten sind Generatoren in Windkraftanlagen, Elektromotoren für Elektrofahrzeuge, Servolenkungen, Scheibenwischer, Sensoren usw. in elektrischen und konventionellen Fahrzeugen, Unterhaltungselektronik, Robotertechnik, Klimaanlage, medizinische Geräte (z. B. MRT-Scanner), Pumpen sowie Verteidigungssysteme (z. B. kommunika-

tions- und präzisionsgelenkte Waffensysteme, Satellitentechnologien, ferngesteuerte Flugzeugsysteme, unbemannte Fahrzeuge oder Kampfflugzeuge und Kriegsschiffe).

NdFeB-Magnete und SmCo-Magnete haben unterschiedliche Vor- und Nachteile und daher auch unterschiedliche Märkte. NdFeB-Magnete dominieren den SE-Magnetmarkt und sind in vielen Anwendungen, bei denen es auf Effizienz, Gewichtsreduktion oder geringe Baugröße ankommt, nicht ohne Leistungsverluste substituierbar (SCHÖNFELDT et al. 2024).

Typen von SE-Magneten

SmCo-Magnete

SmCo-Magnete werden in der Regel für Anwendungen bei hohen Temperaturen und schweren Lasten sowie hoher Korrosionsbeständigkeit verwendet, Beispiele sind Motoren und Generatoren für die Schwerindustrie, Schifffahrt, Eisenbahn oder militärische Anwendungen.

Es gibt zwei Arten von SmCo-Magneten: $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ und SmCo_5 . Erstere Legierung besitzt einen Samarium-Anteil von ca. 25 – 28 %, letztere von etwa 30 – 36 %, wobei hier Samarium bis zur Hälfte durch Praseodym ersetzt werden kann. $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ -Magneten wird häufig neben Sama-

Wichtige Merkmale zur Bestimmung der Leistung von Magneten sind u. a.:

- Maximale Energiedichte $(BH)_{\text{max}}$: wichtiger Indikator für die Stärke eines Dauermagnetwerkstoffes; wird angegeben in kJ/m^3 (Kilojoule pro Kubikmeter) oder MGOe (Mega-Gauss-Oersted).
- Koerzitivfeldstärke (H_c): Feldstärke, die aufgewendet werden muss, um den Magneten zu entmagnetisieren. Je höher die Koerzitivfeldstärke ist, desto besser behält ein Magnet seine Magnetisierung, wenn er einem Gegenfeld ausgesetzt wird. Zu beachten ist die starke Temperaturabhängigkeit dieser Feldstärke. Eine Verbesserung wird erreicht durch Zugabe von 0,2 – 6 % Dy / 0,2 – 2 % Tb.
- Curie-Temperatur (T_c): die Temperatur, oberhalb derer ein Magnet seinen Magnetismus verliert. Eine Verbesserung wird erreicht durch Zugabe von 0,4 – 3 % Co.
- Maximale Betriebstemperatur: die Dauermagneteigenschaften verschwinden schon bei deutlich geringeren Temperaturen als der Curie-Temperatur (T_c) irreversibel. Für die Praxis kann ein Temperaturbereich angegeben werden, in dem die unvermeidliche Demagnetisierung unmerklich langsam verläuft.

rium und Kobalt (45 – 50 %) auch Eisen und Kupfer sowie Zirkonium beigegeben (ROSKILL 2021, SCHÖNFELDT et al. 2024). Um die eher spröden Magnete widerstandsfähiger gegen physikalische Einflüsse wie Stöße und Druck zu machen, werden sie häufig beschichtet (bspw. mit Nickel) (KALVIG 2022).

SmCo-Magnete können bei höheren Temperaturen (> 100 – 350 °C) und aufgrund des Kobaltgehalts und geringerem Anteil an Eisen in korrosiveren Umgebungen als NdFeB-Magnete eingesetzt werden. Sie besitzen aber eine geringere magnetische Feldstärke und geringere Energiedichte und sind in der Herstellung teurer als NdFeB-Magnete. SmCo-Magnete verlieren in vielen Anwendungen an Bedeutung und werden durch NdFeB-Magnete ersetzt.

NdFeB-Magnete

Die magnetische Feldstärke von NdFeB-Magneten ist stärker als die von SmCo-Magneten und NdFeB-Magnete sind in der Herstellung

günstiger als SmCo-Magnete. Sie werden daher in großem Umfang bei der Elektrifizierung des Verkehrssektors und für Windkraftanlagen verwendet.

NdFeB-Magnete werden nach Art ihrer Herstellung unterschieden in gesinterte und kunststoffgebundene NdFeB-Magnete. Die Marktaufteilung zwischen den beiden Typen beträgt > 90 % für gesinterte Magnete und < 10 % für kunststoffgebundene Magnete. Gesinterte NdFeB-Magnete sind leistungsfähiger und werden für besonders hochwertige Anwendungen eingesetzt. Sie haben deshalb einen höheren Wert als kunststoffgebundene Magnete. China ist der größte Hersteller sowohl von gesinterten als auch von kunststoffgebundenen NdFeB-Magneten. Des Weiteren gibt es noch heißumgeformte Magnete. Der Marktanteil für diesen Magnettyp ist deutlich kleiner und liegt vermutlich bei < 1 %. Heißumgeformte Magnete besitzen eine hohe Korrosionsstabilität.

Tab. 7: Merkmale von gesinterten und kunststoffgebundenen NdFeB-Magneten.

NdFeB-Magnettyp	Herstellung	Eigenschaften	Anwendungsbeispiele
Gesintert	Sinterprozess: Pressen und Erhitzen von Metallpulvern ohne Schmelzen	+ sehr hohe Energiedichte + sehr hohe Koerzitivfeldstärke + bei Zusatz von Dy/Tb hohe Temperaturstabilität – geringe mechan. Festigkeit – geringe Korrosionsbeständigkeit hohe Leistung und ein gutes Verhältnis von Stärke zu Gewicht; begrenzte Formen und Größen	Traktionsmotoren in E-Fahrzeugen, elektrische Generatoren z. B. in Windkraftanlagen, Bahn- und Schiffsantriebe, Aufzüge, Sensoren, MRT
Kunststoffgebunden	Spritzguss oder Pressverfahren: Magnetpulver wird mit einer Kunststoffmatrix gemischt und heißgepresst oder gespritzt	+ erhöhte Materialflexibilität + einfachere Herstellung – mäßige Temperaturstabilität – niedrigere Energiedichte geringere Leistung und magnetische Energie, aber vielfältige Formgebungsmöglichkeiten	Elektromotoren, Hilfsmotoren für Lüfter, Fensterheber, Sitzverstellung im Kfz, Haushaltsgeräte, Pumpen, Bürogeräte, Elektronik, Audio-, Videogeräte wie HDDs und DVD/CD ROMs

Tab. 8: Anwendungsbeispiele und enthaltene Menge an NdFeB-Magnetwerkstoffen
(Quellen: REIMER et al. 2018, RIZOS et al. 2022).

Anwendung	mittlere Magnetmasse
Verbrennerfahrzeug	0,225 kg
Elektrofahrzeug	1,9 – 2,5 kg
Hybridfahrzeug	1,5 kg
Hilfsmotoren in Fahrzeugen/Indusriemotoren	0,175 kg
E-Bikes (E-Roller, E-Motorräder, E-Fahrräder)	0,27 kg
Handys/Smartphones	0,001 kg
HDD (Hard disk drive)	0,06 kg
Desktop-Computer	0,013 kg
Laptop-Computer	0,005 kg
Kopfhörer, Mikrofone	0,0017 kg
Lautsprecher	0,026 kg
Waschmaschine/Trockner	0,135 kg
Kühlschrank	0,2 kg
Klimaanlage	0,325 kg
Industriepumpen	0,35 kg
Industrieroboter	8,5 kg
MRT (Magnetresonanztomograph)	2.500 kg
Windkraftanlage (getriebelos/Direktantrieb mit NdFeB-Magnet, Offshore)	650 kg/MW
Windkraftanlage (Hybride Anlagen, Onshore)	160 kg/MW

NdFeB-Magnete bestehen zu 60 – 70 % aus Eisen, zu 30 – 32 % aus Seltenen Erden (hauptsächlich Nd, Pr, Dy und Tb) und zu 1 % aus Bor mit Zusätzen an Gadolinium (Gd), Kobalt (Co), Kupfer (Cu), Aluminium (Al), Gallium (Ga) und Niob (Nb), um die magnetischen und physikalischen Eigenschaften zu verbessern (SCHÖNFELDT et al. 2024). Praseodym ist Neodym chemisch sehr ähnlich und verändert die magnetischen Eigenschaften der NdFeB-Magnete nicht wesentlich (etwas geringere magnetische Stärke, leicht verbesserte Korrosionsbeständigkeit). Die Verwendung von Praseodym hängt hauptsächlich von der Verfügbarkeit und dem Preis von Neodym, Praseodym und ungetrennten Nd-Pr-Verbindungen ab. Die schweren Seltenen Erden Dysprosium, Terbium

und in einigen Fällen Holmium können Neodym/Praseodym ersetzen, um die Koerzitivfeldstärke von NdFeB-Magneten zu verbessern. Bis zu 8 % schwere Seltene Erden können hinzugefügt werden, um die Temperaturbeständigkeit von NdFeB-Magneten zu verbessern. Zwischen 0,4 – 3 % Co werden (anstelle von Eisen) typischerweise zugesetzt, um die Curie-Temperatur zu erhöhen und das Korrosionsverhalten zu verbessern (ähnlich wie geringe Mengen Vanadium, Sauerstoff und Stickstoff) (ROSKILL 2021, SCHÖNFELDT et al. 2024, KALVIG 2022).

Einen Überblick über typische Zusammensetzungen von NdFeB-Magneten und die Wirkung der einzelnen Elemente gibt Tabelle 9.

Tab. 9: Typische Legierungsbestandteile von NdFeB-Magneten und ihre Wirkung (SCHÖNFELDT 2024, YANG et al. 2017).

Element	Gehalt [M.-%]	Wirkung
Fe	60 – 70	Bildung der hartmagnetischen Nd ₂ Fe ₁₄ B-Phase
Nd, Pr	20 – 30 Nd 0,5 – 7 Pr	
B	0,3 – 1	
Dy, Tb	0,2 – 6 0,2 – 2	Verbesserung Temperaturbeständigkeit, Erhöhung der Koerzitivfeldstärke, Verringerung von Remanenz und Energiedichte
Gd	0,1 – 3	Verbesserung des Temperaturkoeffizienten
Co	0,4 – 3	Erhöhung der Curie-Temperatur, Verbesserung des Korrosionsverhaltens
Cu, Al	0,1 – 0,9	Verbesserung des Sinterverhaltens
Ga	0,1 – 0,3	Verbesserung der intrinsischen Koerzitivfeldstärke und Heißumformbarkeit der Legierung
Nb	0,1 – 0,3	Kornfeinung

Ce-NdFeB-Magnete

Beschränkungen bei der Verfügbarkeit von Neodym und ein wachsender Überschuss an Cer führten zu Versuchen, Neodym in Magneten durch Cer und Gadolinium zu ersetzen. Die Substitution von Neodym durch Cer senkt allerdings die Curie-Temperatur eines Magneten um bis zu 25 % und verringert die Koerzitivfeldstärke (ROSKILL 2021).

Chinesische Hersteller bieten bereits so genannte CeFeB-Magnete oder Ce-NdFeB-Magnete an. Eingesetzt werden können diese in weniger kritischen und weniger anspruchsvollen Anwendungen, bei denen die Magnetstärke und Größe/Gewicht weniger entscheidend sind. NdFeB-Magnete mit hohem Cer-Gehalt enthalten etwa 10 – 12 % Cer und werden vermutlich in klebenden Anwendungen und minderwertigem Spielzeug verwendet. Bei einem Cer-Gehalt von 6 – 8 % kann eine Magneteigenschaft mit maximaler Energiedichte von etwa 30 – 33 MGOe (Güteklasse N30 – N33 siehe SCHÖNFELDT et al. 2024) aufrechterhalten werden. Diese Qualität reicht für allgemeine Anwendungen in der Unterhaltungselektronik und für Lautsprecher.

Der Cer-Gehalt in Magneten kann bis zu 20 % betragen, wodurch zwei Drittel des Neodym-Gehalts ersetzt werden, was dann jedoch die magnetischen Eigenschaften drastisch verringert (ROSKILL 2021). Neben Cer wird auch Lanthan in geringen Mengen als Substitut von Neodym/Praseodym eingesetzt.

SmFeN-Magnete

Ein bisher weniger verbreiteter Seltenerd-magnettyp basiert auf dem Samarium-Eisen-Stickstoff-System (SmFeN). Die Verbindung Sm₂Fe₁₇N₃ wurde kurz nach der Entdeckung von Nd₂Fe₁₄B in den 1980er Jahren entwickelt. Die Kommerzialisierung dieses Materials war jedoch aus verschiedenen Gründen begrenzt.

SmFeN-Verbindungen sind thermodynamisch metastabil und beginnen sich oberhalb von 600 °C zu zersetzen, so dass traditionelle Sinterverfahren für die Herstellung von Magneten ungeeignet sind. Kunststoffgebundene Magnete können jedoch aus SmFeN-Legierungspulvern hergestellt werden. Die Legierungspulver können mit traditionellen pulvermetallurgischen Verfahren oder mit Schmelzspinn- oder mechanischen

Legierungstechniken hergestellt werden, um die Pulvereigenschaften zu verbessern. Obwohl sich ihr Herstellungsprozess von herkömmlichen Sintermagneten unterscheiden kann, können kunststoffgebundene Magnete aus SmFeN-Legierungspulvern hochwertige Magnete für verschiedene Anwendungen liefern (SINONEO 2024). Laut ROSKILL (2021) ist es allerdings nicht möglich, völlig dichte Magnete durch Sintern oder Heißverformung herzustellen, da die $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$ -Verbindung metastabil ist und sich oberhalb von etwa 550 °C zersetzt. Dies erschwert eine Herstellung in kommerziellem Maßstab.

SmFeN-Magnete haben in den letzten Jahren aufgrund ihrer hervorragenden magnetischen Eigenschaften und Hochtemperaturstabilität (die Curie-Temperatur liegt bei etwa 470 °C) dennoch zunehmend an Bedeutung gewonnen. Sie werden auch als Permanentmagnete der dritten Generation bezeichnet und gelten für bestimmte Anwendungen als Alternative zu NdFeB-Magneten. So eignen sie sich für den Einsatz in Motoren und Generatoren, die ein hohes Drehmoment und eine hohe Leistungsdichte erfordern (z. B. Elektromotoren, Generatoren, Aktuatoren, Magnetlager und andere magnetische Hochleistungsgeräte). Darüber hinaus eignen sie sich aufgrund ihrer Hochtemperaturstabilität für den Einsatz in Hochtemperaturumgebungen, wie z. B. in der Luft- und Raumfahrt und in der Automobilindustrie (SINONEO 2024).

Zukünftiger Bedarf

Im Jahr 2023 wurden laut der Association of China Rare Earth Industry (ACREI) in ARGUS (2024b) etwa 282.400 t Magnetmaterial für SE-Magnete in China produziert (rund 278.700 t NdFeB-Magnete, 3.700 t SmCo-Magnete). Bei der Annahme eines SE-Inhalts von 32 % wären es rund 90.400 t Seltenerdelemente (SEE), die 2023 für Magnete verwendet wurden. Schätzungen verschiedener Quellen für den SE-Bedarf für NdFeB-Magnete 2021 – 2023 sind in Tabelle 10 dargestellt.

Für die Zukunft wird ein starker Nachfragezuwachs für SE-Magnete erwartet. Insbesondere aus den Bereichen E-Mobilität, Windkraftanlagen, Unterhaltungselektronik und Industrieroboter sowie auch durch Inverter-Klimaanlagen oder energiesparende Aufzüge (ARGUS 2024a).

Eine Zusammenstellung für den prognostizierten zukünftigen Bedarf an SEE für NdFeB-Magnete verschiedener Quellen findet sich in Tabelle 10. Bis 2030 könnte der Bedarf an NdFeB-Magneten auf etwa 400.000 bis 450.000 t ansteigen, wobei die Spanne von etwa 300.000 t (Schätzung für das Jahr 2033, ILUKA 2024) bis 460.000 t reicht. Entsprechend würden die Bedarfe an SEE für die Magnete zwischen etwa 95.000 und 148.000 t liegen (IEA 2024, Auswertung versch. Quellen in ILUKA 2024).

Tab. 10: Geschätzter Bedarf an SEE (Nd, Pr, Dy, Tb) (in t) für NdFeB-Magnete nach verschiedenen Quellen bei Annahme eines SE-Inhalts von 32 %.

Quelle	2021	2022	2023	2030	2033
ORMEROD et al. (2023)		64.000		144.000	
IEA (2024)	78.000		93.000	127.000 – 148.000	
ILUKA (2024) (versch. Quellen)			64.100		94.900 – 176.100
ARGUS (2023)			66.400		132.200
nur China: Chinese Society of Rare Earths (CSRE) in ARGUS (2024a)	69.300			128.000	
nur China: ACREI in ARGUS (2024b)		82.500	89.200		

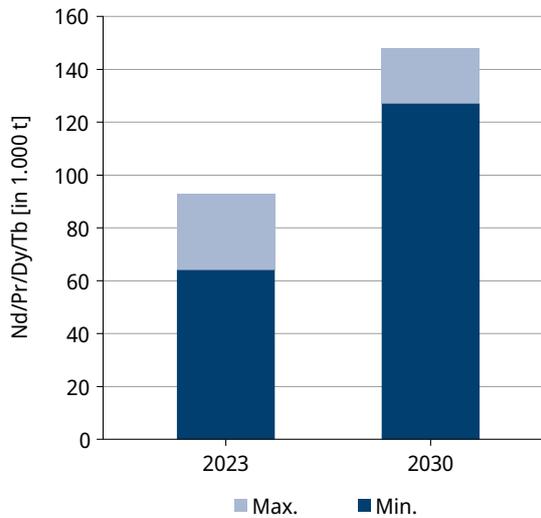


Abb. 4: Geschätzter Bedarf an SEE für NdFeB-Magnete im Jahr 2023 und prognostizierter Bedarf im Jahr 2030, s. Tab. 10.

Die Unsicherheiten in der Lieferkette für SEE bzw. SE-Magnete führten und führen zu technischen Entwicklungen und alternativen Designs, die den Einsatz von SEE verringern und eine Prognose für den zukünftigen Bedarf, insbesondere nach bestimmten SEE wie die schweren Seltenen Erden, erschweren.

Beispiele sind Verfahren wie das „Grain Boundary Diffusion“, das entwickelt wurde, um die schweren Seltenen Erden zu ersetzen bzw. deren Einsatz zu minimieren (um über 50 %, BJMT 2024). Ein anderes Beispiel ist die Siemens Gamesa Renewable Energy, S.A.U. Dieses Unternehmen setzt in seinen Windkraftanlagen keine schweren Seltenen Erden mehr ein. In weniger anspruchsvollen Anwendungen werden anstelle von Neodym/Praseodym vermehrt Cer und Lanthan eingesetzt.

Allerdings gibt es trotz der technischen Herausforderungen auch Bestrebungen, ganz auf SE-Magnete zu verzichten. Beispielsweise hatte die Tesla, Inc. im März 2023 angekündigt, zukünftig auf SE-Magnete zu verzichten. Die BMW Group verzichtet in der fünften Generation ihres E-Antriebs auf Seltene Erden (ELECTRIVE 2024). Das Startup Niron Magnetics, Inc. will SE-freie Eisenitrid-Magnete für Elektromotoren in E-Autos

und Generatoren für Windkraftanlagen produzieren. General Motors, Volvo und Stellantis gehören zu den Investoren (CLEANTHINKING.DE 2024).

3.2 Katalysatoren

Seltene Erden, genauer Lanthan (ca. 59 %) und Cer (ca. 39 %), weit untergeordnet Neodym (ca. 2 %), sind als Katalysatoren in der Erdölverarbeitungsindustrie (62 % Anteil am Sektor, nach ROSKILL 2021), in Abgaskatalysatoren von konventionellen Verbrennerfahrzeugen (30 % Anteil am Sektor, nach ROSKILL 2021) sowie in der großchemischen Industrie (2 % Anteil am Sektor, nach ROSKILL 2021) unverzichtbar.

In Erdölraffinerien wird das Rohöl auf ca. 550 °C erhitzt und dann durch verschiedene Aufbereitungsverfahren (Destillation, Desulfurierung, Reforming, Isomerisierung, Alkylierung, Cracken) in eine Vielzahl von kommerziell nutzbaren Kohlenwasserstoffen (Flüssiggase, Rohbenzin/Naphta, Benzin, Kerosin, Diesel/leichtes Heizöl, schweres Heizöl, Bitumen und Schmierstoffe) zerlegt. Zu den wichtigsten Crackingverfahren zählt das katalytische Cracken (engl.: Fluid Catalytic Cracking, FCC), bei dem die schweren Erdölfraktionen in Olefine (Ethen, Propen, Buten), Leicht- und Schwernaphta sowie Gasöl- und Schweröl-Komponenten umgewandelt werden. Als Katalysatoren dienen dabei im Wesentlichen chemisch vorbehandelte Zeolithe, in denen zur Stabilitätserhöhung durch Ionenaustausch auch 1 – 3 % SEO (bis zu 80 % La_2O_3 , bis zu 46 % CeO_2 , ca. 15 % Nd_2O_3) in 2N – 5N (99 % – 99,999 %) Reinheit eingebaut werden (ROSKILL 2021).

In Abgaskatalysatoren von konventionellen Verbrennerfahrzeugen kommen Katalysatoren zur chemischen Umwandlung der bei der Verbrennung anfallenden Schadstoffe Kohlenwasserstoffe, Kohlenstoffmonoxid und Stickoxide in die ungiftigen Stoffe Kohlenstoffdioxid, Wasser und Stickstoff durch Oxidation bzw. Reduktion zum Einsatz. Aluminiumoxid ist das bei weitem am häufigsten verwendete Trägermaterial für die in Drei-Wege-Katalysatoren eingesetzten ka-

talytisch aktiven Edelmetalle Platin, Palladium und Rhodium. CeO_2 und La_2O_3 werden dabei vor allem zur Stabilisierung des Aluminiumoxids bei höheren Temperaturen verwendet.

In geregelten Drei-Wege-Katalysatoren dient CeO_2 zudem zur Zwischenspeicherung von Sauerstoff, um kleine und kurzzeitige Abweichungen des unbedingt konstant zu haltenden stöchiometrischen Verhältnisses von Luft zu Kraftstoff zu puffern.

In Dieselpartikelfiltern (DPF) dient CeO_2 zusammen mit Platin und Palladium zur automatischen Regeneration (Verbrennung des sich ansetzenden Kokes), wobei umso bessere Regenerationswerte erreicht werden, je mehr CeO_2 zugesetzt wird.

3.3 Glas

Seltene Erden kommen innerhalb der Glasindustrie für eine Vielzahl von Zwecken zum Einsatz. Diese reichen vom Färben und Entfärben von Glas über die Spezialglasproduktion bis hin zum Polieren von Glas (Poliermittel). Cer-Oxide und Fluoride sind die am häufigsten eingesetzten Materialien, aber auch Lanthan und Erbium sowie untergeordnet Gadolinium, Neodym, Praseodym, Yttrium, Samarium, Europium, Holmium, Thulium und Ytterbium in Form ihrer Oxide besitzen spezielle Anwendungen:

Zur **Färbung** bzw. Farbkorrektur von Glas, speziell in Richtung hellviolett, rosa, grün und gelb eignen sich jeweils die Oxide von Nd, Pr, Er, Ce, Eu, Ho, Sm und Tm. So färbt Nd_2O_3 Glas rot und in Kombination mit Manganoxid violett. Die Zugabe von Pr_6O_{11} zum Gemenge führt zu grünen Farben, in Kombination mit CeO_2 und Titandioxid dagegen zu gelb. Reines CeO_2 färbt gelblichbraun, Er_2O_3 färbt rosa, Eu_2O_3 färbt orangerot, Ho_2O_3 färbt gelblichrot, Sm_2O_3 färbt gelborange und Tm_2O_3 färbt intensivblau.

Auch zur Blockade von einzelnen Wellenlängen des Lichts (**Wellenfiltration**) bei der Glasherstellung eignen sich verschiedenen Seltene Erden

gut. Das in Sonnenschutz- und Schweißbrillen verwendete „Neophanglas“ filtert aufgrund der Absorption des zugebenen Neodyms die gelben Farbtöne des sichtbaren Lichtbereichs heraus und sorgt somit für einen schärferen Kontrast der blauen und roten Farbtöne. Die Absorptionseigenschaften des Cers, welches im UV-Bereich, jedoch nicht im sichtbaren Bereich absorbiert, ermöglichen die Herstellung von farblosen Gläsern, die Schutz vor UV-Strahlung bieten. Diese Gläser werden z. B. als Verpackung von (UV-Strahlung-empfindlichen) Lebensmitteln oder für Sonnenschutzgläser eingesetzt. In Japan sind sie für Windschutzscheibenglas vorgeschrieben. Auch Europium filtert UV-Licht, Samarium und Lanthan dagegen infrarotes Licht.

Bei der Herstellung von Glas führen Verunreinigungen von Fe-, Mn-, Cr-, Cu-, Co- und Ti-, aber auch As- oder Se-haltigen Mineralen leicht zu unerwünschten Verfärbungen. Die mit Abstand häufigsten Verunreinigungen im Quarzsand sind Eisenminerale, wobei Eisen im Glas ein relativ starker Farbstoff ist, dessen Anwesenheit ab 0,01 % in dickeren Glasscheiben mit bloßem Auge erkennbar ist. Diese meist unerwünschte Farbtonung beruht auf der Spektralabsorption der Eisen(II)- und Eisen(III)-Ionen, wobei die Fe^{2+} -Ionen (FeO) eine blau-grünliche Verfärbung verursachen, die bei gleicher Konzentration über zehnmal so stark ist wie die gelbbraune Verfärbung durch Fe^{3+} -Ionen (Fe_2O_3).

Die Zugabe von Cer(IV)oxid als Oxidationsmittel zur Glasschmelze (meist 0,03 % = 300 g CeO_2 /t Glasgemenge) für Flachglas ermöglicht die Oxidation der Fe^{2+} -Ionen zu Fe^{3+} -Ionen und vermindert somit den Grad der Verfärbung des Glases ohne den Gesamtgehalt an Eisen zu verändern. Zur Kompensation der durch die Eisen(III)- und Cer(IV)-Ionen verursachten leicht gelben Farbe des Glases wird wiederum ein weiterer Farbstoff hinzugegeben; früher wurde Neodymoxid verwendet (meist 0,001 – 0,002 % = 10 – 20 g Nd_2O_3 /t Glasgemenge), heute benutzt man bevorzugt Kobaltoxid (meist 0,001 – 0,002 % = 10 – 20 g Co_3O_4 /t Glasgemenge).

Erbiumoxid kommt dagegen als bevorzugtes Entfärbungsadditiv (meist 0,03 – 0,07 % = 300 – 700 g Er_2O_3 /t Glasmenge) in der Herstellung von Gläsern für die Kosmetik- und Pharmaindustrie zum Einsatz. Des Weiteren wird es in der Herstellung von hochwertigem Tafelglas (Karaffen, Wein-, Whisky- und Cognacgläsern) und hochwertigen Glasverpackungen für Spirituosen verwendet. Erbiumoxid wirkt hier durch seinen rosa Farbton, der die Komplementärfarbe des blau-grünlichen Farbtons von Eisen(II)-oxid ist und dadurch dessen Farbton im sichtbaren Licht neutralisiert. Alternativ wäre der Einsatz hochreinen, d. h. eisenarmen, aber damit auch teureren Quarzsandes im Glasgemenge möglich, doch ziehen die meisten deutschen Kristallglasproduzenten (vgl. Kapitel 6.4) den Einsatz von Erbiumoxid vor. Deutschland gilt daher als größtes Verbrauchsland von Erbiumoxid weltweit.

Hochreine Seltene Erden eignen sich ebenfalls zur **Erhöhung der Brechungsindizes** von optischen Spezialgläsern. Dies ist besonders relevant in der Herstellung von optischen Glasfaserkabeln (Zugabe v. a. von Er, Nd und Yb), Linsen für optische Geräte, wie z. B. Kameras und Smartphones (La), sowie Solarzellen (v. a. La, untergeordnet auch Gd und Y). Lanthangläser für den Einsatz in sehr kleinen optischen Gläsern in Digitalkameras, Camcordern und Smartphones enthalten 5 – 45 %, max. 60 % La_2O_3 und erreichen die höchsten Brechungsindizes aller Gläser.

Gläser, die UV- oder Röntgenstrahlung ausgesetzt sind, dunkeln mit der Zeit. Durch die Zugabe von Ceroxiden verschiedener Qualitäten (2N – 5N) kann diese Verdunkelung reduziert werden.

In der Herstellung von Parfümgläsern hat Ceroxid das traditionell dort eingesetzte Arsenoxid ersetzt. Beide Oxide minimieren die Anzahl von Luftpfehlungen im Glas, ohne die Aufschmelzzeit unnötig zu reduzieren.

Bereits in den Sektor der Poliermittel zählt der Einsatz von Cer(IV)-oxid als ultrafeines Schleif-

mittel zum Ausgleich von mechanischen Unebenheiten auf Bildschirmgläsern, Flachglas, optischen Gläsern, aber auch z. B. Glasfiguren der Fa. Swarovski. Hierbei verwendet man feingemahltes CeO_2 mit einer Körnung von 0,5 – 5 μm , das in Wasser aufgeschlämmt wird. Der genaue Mechanismus des Politurprozesses ist noch nicht vollständig aufgeklärt, doch die meisten Theorien gehen davon aus, dass sowohl eine chemische Komponente (eine Reaktion zwischen Glasoberfläche und Wasser) als auch eine physikalische Komponente (der mechanische Abrieb) am Schleifprozess beteiligt sind.

3.4 Technische Keramiken

Technische Keramiken sind das Haupteinsatzgebiet von Yttrium bzw. Yttriumoxid. Den mengenmäßig größten Anteil besitzen Yttriumstabilisierte Keramiken aus Zirkonia (YSZ), die 3 – 8 % Y_2O_3 enthalten, um das Zirkonia-Kristallgitter zu stabilisieren. YSZ sind harte, temperaturbeständige und chemikalienresistente Spezialkeramiken, die als thermische Barriere in Industrieturbinen (Gaskraftwerke, Luftfahrt), speziellen Feuerfestanwendungen, bio- und zahnmedizinischen Produkten (Dentalkeramik), Sauerstoffsensoren (Lambdasonden), Brennstoffzellen (1 kg YSZ/kWh), Mahlkörpern in Industrieböhlern, hochwertigen Küchenmessern, Kupplungen, Kugelventilen, Gleitlagern, Glasfaserverbindungsstücken u. a. m. zum Einsatz kommen.

Si-Al-Oxynitride (SiAlONs) enthalten ca. 10 % Y_2O_3 . Diese Keramiken finden Verwendung in der Verarbeitung von Aluminium und Aluminium-Legierungen, als Schneidwerkzeuge, im Industriemaschinenbau und als photolumineszierende Leuchtstoffe.

Auch gesinterte Additive in keramischen Materialien wie Siliziumnitrid (Si_3N_4) und Aluminiumnitrid (AlN), die in Hochtemperatur-/belastungsbereichen, wie Gasturbinen, Automotorteilen, Schweißdüsen, Lagern und Maschinenwerkzeugen, verwendet werden, enthalten 4 – 8 % Y_2O_3 .

Alternativ, aber sehr deutlich untergeordnet, kommen in der Herstellung von technischen Keramiken auch CeO_2 , Nd_2O_3 , La_2O_3 , LaF_3 und Pr_6O_{11} zum Einsatz.

3.5 Kontrastmittel

In der Magnetresonanztomographie (MRT), einer der wichtigsten bildgebenden Methoden in der modernen medizinischen Diagnostik zur Darstellung von Strukturen und Funktionen der Gewebe und Organe im menschlichen Körper, verbessert die Gabe von Kontrastmitteln die Auflösung bzw. Darstellung. Zu den wichtigsten Kontrastmitteln zählen Gadolinium-haltige Kontrastmittel, die meist während der Untersuchung injiziert werden. Hierbei handelt es sich um komplexe Gadolinium-Chelate wie Gadopentetat-Dimeglumin (Handelsname: Magnevist u. a.), Gadotersäure (Handelsnamen: Dotarem, Dotagita, Dotavision, Dotagraf, Dotaspin, Cyclolux u. a.), Gadodiamid (Omniscan), Gadoteridol (ProHance) oder Gadobutrol (Gadovist).

Einige dieser Kontrastmittel können bei Patienten mit Nierenschäden zu schwerwiegenden chronischen Nebenwirkungen führen und sich bei wiederholter Anwendung auch im Gehirn ablagern. In der EU wurde daher im November 2017 die Zulassung von linearen Gd-haltigen Kontrastmitteln (mit den Wirkstoffen Gadopentetsäure, Gadodiamid, Gadoversetamid) ausgesetzt bzw. nur noch zur MRT-Bildgebung der Leber (Gadobensäure, Gadoxetsäure) eingeschränkt. Die Zulassung makrozyklischer Gd-haltiger Kontrastmittel (mit den Wirkstoffen Gadotersäure, Gadobutrol und Gadoteridol) wurde aufrechterhalten.

Das während der MRT-Untersuchung injizierte Gd-haltige Kontrastmittel wird innerhalb weniger Stunden über den Urin ausgeschieden und gelangt so in das Abwasser. Da es in den Kläranlagen nicht entfernt oder abgebaut werden kann, wird es mit dem gereinigten Abwasser in die Vorfluter eingeleitet und erreicht so irgendwann auch das Trink- bzw. Grundwasser. Untersuchungen haben gezeigt, dass im Trink-

wasser der deutschen Großstädte – äquivalent zur Anzahl der Radiologiepraxen – die Menge an Gadolinium anomal hoch ist. Gadolinium ist daher ein Umwelttracer für anthropogene Belastungen – in den nachgewiesenen sehr geringen Mengen toxikologisch aber dennoch völlig unbedenklich.

4 Bergbauförderung und Raffination von Seltenen Erden

4.1 Wertschöpfungskette der Seltenen Erden

Von den über 200 bekannten Mineralen, die einen signifikanten Anteil an Seltenen Erden enthalten (siehe Kapitel 2.2), werden derzeit nur wenige wirtschaftlich aufbereitet (Monazit, Bastnäsit, Loparit, Xenotim sowie hiermit vergesellschaftete Minerale; zzgl. Ionenadsorptionstone). Dies liegt an der komplexen Mineralogie der meisten SE-Mineralen und den damit verbundenen Anforderungen an die Prozessschritte zur Weiterverarbeitung, die i. d. R. individuell für jedes Ausgangsmaterial angepasst werden müssen.

Aufbereitung

In dem bergbaulich, mittels konventioneller Bergbautechnik mit Bohren, Sprengen und Verladen, gewonnenen Erz müssen die SE-Mineralen von dem wirtschaftlich wertlosen Gestein (Gangart) getrennt werden, um ein weiterverarbeitbares Konzentrat zu erhalten. Dies erfolgt über verschiedene etablierte mechanische und physikalisch-chemische Schritte zur Konzentration und Separation. Allerdings handelt es sich hierbei um keinen standardisierten Prozess. Vielmehr müssen die einzelnen Aufbereitungsschritte der Mineralzusammensetzung des Ausgangsmaterials angepasst und jeweils in Pilotanlagen abgestimmt werden. Im Folgenden wird der generelle Aufbereitungsprozess dargestellt.

Nach einer Vorzerkleinerung mittels Brechen und nachfolgender Nassmahlung wird bei der teilweise darauffolgenden Schwereretrennung die hohe spezifische Dichte der SE-Mineralen ($\rho = 4,7 \text{ g/cm}^3$; $2,9 - 7,2 \text{ g/cm}^3$) im Vergleich zu den meisten Gang-Mineralen ($\rho = 3,5 \text{ g/cm}^3$, meist $< 3 \text{ g/cm}^3$) ausgenutzt. Im Anschluss erfolgt optional eine Magnetseparation, bei der erst ein

schwaches Magnetfeld (LIMS = „low-intensity magnetic separation“) zur Abtrennung eisenhaltiger Minerale wie Magnetit dient und im Anschluss ein starkes Magnetfeld (HIMS = „high-intensity magnetic separation“) für die Separation der SE-Mineralen zur Anwendung kommt.

Die verbleibende Suspension wird in eine Schaumflotation überführt. Dieser physikalisch-chemische Prozessschritt erfolgt in mehreren Stufen, um ein Konzentrat mit dem gewünschten Reinheitsgrad zu erzeugen. Nach Einstellung eines geeigneten pH-Wertes für die Flotation (pH 8–10 für Bastnäsit und pH 5–7 für Monazit) werden der wässrigen Suspension aus Erz und verbliebener Gangart Sammler (sog. Kollektoren, z. B. Fettsäure aus Tallöl oder, vermehrt, Hydroxamsäure) zugegeben, an die sich die gewünschten SE-Mineralen selektiv binden und dadurch hydrophob werden. Durch den Eintrag eines turbulenten Gasstroms entstehen Gasblasen. Schaumbildner (engl.: „frothers“; z. B. Alkohole oder pflanzenbasierte Öle) dienen der Stabilisierung der Gasblasen und setzen die Oberflächenspannung des Wassers herab. Die hydrophoben SE-Mineralen werden mit den Gasblasen selektiv an die Oberfläche transportiert, wo sie abgeschöpft werden. Unterschiedliche Phosphate werden eingesetzt, um die Flotationsreaktion von unerwünschten Mineralen wie Tonen zu unterdrücken.

Die Gewinnung des nicht leitenden, aber magnetischen Monazits aus Schwermineralsanden erfolgt mittels der Schwereretrennung, unter Einsatz von Wendelscheidern und Schütteltischen. Monazit kann dann von den leitfähigen Mineralen mit Hilfe einer elektrostatischen Separation getrennt werden. Im Anschluss erfolgt die Magnetseparation zur Abtrennung der nichtmagnetischen Minerale. Optional ist auch eine chemische Reinigung des Monazitkonzentrats mit Säuren möglich.

Bei dem Abbau von Ionenadsorptionstonen fallen sämtliche obenstehende Aufbereitungsschritte weg, da die an den Tonmineralen anhaftenden SE-Ionen direkt in-situ gelaugt werden können, oder die Tone für eine Tank- bzw. Haufenlaugung abgebaggert werden (s. u.). Bei der Erzgewinnung für die Tank- bzw. Haufenlaugung müssen die in den tropischen Gebieten der Vorkommen meist üppige Vegetation sowie die obere Bodenschicht entfernt werden, was in der Vergangenheit zu intensiver Bodendegradation geführt hat. Heutzutage werden zumindest beim regulierten Abbau der Tone i. d. R. in-situ-Verfahren mit salzhaltigen Lösungen oder schwachen Säuren und Basen eingesetzt, wobei Löcher mit einem Durchmesser von 0,8 m bei einer Tiefe von 1,5 – 3 m und einem Abstand von 2 – 3 m gebohrt werden (YANG et al. 2013). Aber auch hierbei können die Umweltauswirkungen nur begrenzt werden, wenn die eingesetzten Laugungsmittel vollständig aufgefangen werden.

Eine möglichst weitgehende/vollständige Aufbereitung der Erze ist eine Grundvoraussetzung für die Überführung von reinen SE-Mineralkonzentraten in die Hydrometallurgie. Allerdings ist dieses bei einigen aktuellen Explorationsprojekten nicht möglich, da die SE-Mineralerale zu fein und/oder miteinander verwachsen sind (GOODE 2019). In diesem Fall ist geplant, das gesamte Erz zur hydrometallurgischen Weiterverarbeitung zu überführen, wodurch besondere Herausforderungen entstehen.

Hydrometallurgie

„Cracking“ – Rösten und Säureaufschluss

Um die SE-Mineralerale aufzuschließen (engl. „cracking“), werden verschiedene Formen des Röstens (engl.: „roasting“ oder „baking“) in Kombination mit einem Säureaufschluss angewendet. Für die meisten SE-Mineralerale geschieht der Aufschluss in konzentrierter Schwefelsäure (H_2SO_4) bei meist 200 – 300 °C, teils höher, um Unreinheiten besser zu entfernen (abhängig von der exakten Mineralogie; GOODE 2019; McNULTY et al. 2022).

Fluorkarbonate wie Bastnäsit sind in den verwendeten Säuren unlöslich, weshalb das Bastnäsitkonzentrat im Vorfeld zunächst bei rund 650 °C unter alkalischen Bedingungen geröstet wird, um das Mineral einem Aufschluss zugänglich zu machen und das Fluor abzutrennen. Die dabei entstehenden giftigen Fluorgase müssen aufgefangen und immobilisiert werden. Das Bastnäsitkonzentrat wird anschließend mit Schwefelsäure vermischt und verbliebene Fluoride werden beim nachfolgenden Rösten als Fluorwasserstoff in Wasser absorbiert und in Flusssäure umgewandelt. Zudem wird beim Rösten das dreiwertige Cer oxidiert und in einen vierwertigen Zustand überführt, wodurch das Ausbringen von Cer reduziert wird. Aufgrund der oft hohen Ce-Gehalte in Festgesteinslagerstätten und den niedrigen Preisen für Cer ist dies sogar erstrebenswert, da Cer so den weiteren Prozess nicht dominiert.

Für den Monazit-Aufschluss wird als Alternative zum Rösten nach Mischung des Konzentrates mit konzentrierter Schwefelsäure auch der Einsatz einer starken Lauge (50 – 70%ige NaOH) bei > 140 °C eingesetzt, wobei neben SE- auch Th- und U-Hydroxide entstehen, die durch selektive Lösungs- und Laugungsverfahren voneinander getrennt werden (AMER et al. 2020). Hierdurch können neben U- und Th- auch Fe-Verunreinigungen frühzeitig reduziert werden, da sie größtenteils im Residuum verbleiben.

Bei Ionenadsorptionstonen ist kein aufwändiger Aufschluss der Mineralerale nötig, da die Seltene Erden an den Tonen adsorbiert sind und mit einer wässrigen Elektrolytlösung (meist Ammoniumsulfat, auch Natriumchlorid möglich) direkt gelaugt werden können.

Laugung und Fällung

Die nach dem „Cracking“ entstandenen SE-Sulfate werden unter Zugabe von Schwefelsäure gelaugt. Diese Laugungslösung der entsprechenden SE-Mineralerale sowie das Produkt der In-situ-Laugung der Ionenadsorptionstone wird als „Pregnant Leach Solution“ (PLS) bezeichnet. Aus der PLS werden die verbliebenen Feststoffe mittels Eindicker, Zentrifugen und Filtern von

den gelösten SE-Sulfaten möglichst vollständig getrennt, um eine Kontamination des nachfolgenden SE-Fällungsproduktes zu verhindern.

Bei dem Aufschluss entstehen wasserlösliche SE-Sulfate. Fe-, Al- sowie teilweise Th-Verunreinigungen können durch Zugabe von Kalkmilch (eine wässrige Suspension von Calciumhydroxid), wodurch ein stabiler pH-Wert von 4 eingestellt wird, separiert werden (SCHREIBER et al. 2016). Verbliebene U- und Th-Sulfate müssen im weiteren Verlauf separiert werden. Dies erfolgt i. d. R. über Lösungsmittlextraktion oder Ionenaustauscher (s. u.) und je nach Anforderungen der Separationsanlagen bzw. der in den Abnahmeverträgen festgelegten Standards meist vor der Fällung.

Die Fällung zu einem **gemischten SE-Karbonat**, ein wichtiges Zwischenprodukt aktueller SE-Bergbauprojekte, erfolgt je nach Prozess mittels Ammoniumhydrogencarbonat (z. B. Bayan Obo/Baotou und bei Ionenadsorptionstonen), Magnesiumoxid (z. B. Lynas-Prozess) oder Oxalsäure (bei einigen Ionenadsorptionstonen).

Da das relativ wertarme Cer mit relativen Anteilen von bis zu 40 % viele Lagerstätten dominiert, muss dieses frühzeitig abgetrennt werden, um die weitere Separation nicht zu dominieren. Wenn dies nicht, wie oben für Bästnäsit beschrieben, bereits im Vorfeld des Röstens geschehen ist, kann z. B. über eine erneute HCl-Laugung Cer zu vierwertigem Cer (Ce(IV)) oxidiert und separiert werden. Hierbei entsteht eine ~92%ige **SE-Chlorid-Lösung**, die dann zur weiteren Separation verwendet wird (SCHREIBER et al. 2016).

Separation

Bis in die 1970er Jahre erfolgte die extrem aufwändige Trennung in die einzelnen SE-Elemente sowie die Abtrennung der verbleibenden Verunreinigungen (insb. Uran und Thorium) meist über Ionenaustauschchromatographie („Säulen-Ionenaustausch“ und anschließender „chromatographischer Eluierung“). Die verhältnismä-

ßig schlechte Selektivität führte nur zu mäßigen, für damalige Anwendungen aber ausreichenden Reinheiten (z. B. für Katalysatoren, Poliermittel). Parallel wurde die „Flüssig-Flüssig-Extraktion“ bzw. „Lösungsmittlextraktion“ (engl. „solvent extraction“; SX) immer verbreiteter, da sie eine deutlich bessere Selektivität für höherwertige Anwendungen (Leuchtstoffe, Magnete) ermöglichte (McNULTY 2022, KIFLE 2024). Der Aufwand steigerte sich dadurch aber nochmals deutlich (große, komplexe Anlagen mit entsprechend hohem Kapitalbedarf, hoher Verbrauch an Lösungsmitteln und damit verbunden große Mengen toxischer Reststoffe).

Als Vorbereitung für die Lösungsmittlextraktion (SX) wird das gereinigte, gemischte SE-Karbonat der vorherigen Prozessschritte, falls nicht schon bei der Ce-Oxidation geschehen (s. o.), mittels Salzsäure (HCl) aufgelöst und mit einem Verdünnungs- sowie einem Extraktionsmittel versetzt. Das Extraktionsmittel bildet Komplexe mit den Metallionen (geladene organische Phase) und gibt dabei Kationen an die Flüssigphase ab (Extraktion). Als Verdünnungsmittel dient meist ein Kerosin, als Extraktionsmittel bzw. Kationenaustauscher z. B. ein auf Phosphonsäure basierender Ester (Summenformel $(C_8H_{17})_2PO_3H$; Handelsbezeichnung P_5O_7). Diese Chemikalien werden speziell für den Prozess entwickelt und sind sehr teuer.

Die entstehende geladene organische Phase wird mit HCl gereinigt, um verbliebene Verunreinigungen zu entfernen. Anschließend wird diese mit der an Kationen angereicherten HCl Flüssigphase des Extraktionsvorgangs wieder zusammengeführt, um so die jeweiligen SE-Elemente (SEE) anzureichern (engl.: „stripping“). Dies erfolgt in acht bis neun aufeinanderfolgenden SX-Stufen (frdl. mdl. Auskunft LYNAS, SCHREIBER et al. 2016), die auf das jeweilige SEE abgestimmt sind (Abbildung 5). Nach jeder SX-Stufe können die entsprechenden SEE gefällt werden bzw. verbleibende SEE in die nächste SX-Stufe überführt werden. Aufgrund der nahezu identischen chemischen Eigenschaften der einzelnen SEE muss der Extraktions-, Reinigungs- und „Stripping“-Kreislauf in den verschiedenen SX-

Stufen insgesamt über 1.500-mal durchgeführt werden (frdl. mdl. Auskunft KINGSNORTH 2012, GOODE 2019). Dieser Aufbereitungskreislauf erstreckt sich laut KINGSNORTH (frdl. schriftl. Mitt.) am Beispiel Terbium in 4N-Qualität (99,99 % Tb) sogar über rund 1.700 Aufbereitungsschritte an rund 30 Tagen.

Der Säuregehalt der HCl-Lösung wird mit einer Lauge (meist NaOH) eingestellt, wodurch eine

SE-Salzlösung entsteht, die weiterhin Verunreinigungen wie Fe und Th enthält und mit HCl in mehrfacher Wiederholung gewaschen wird, um die Verunreinigungen auszufällen (SPRECHER et al. 2014). Anschließend wird die **SE-Element (SEE)-Cl₃-Lösung (Reinheit > 99 %) zur Raffina-**de überführt. Die entstehenden salzigen und Th-haltigen Abwässer müssen aufwändig behandelt werden und erfordern ein umfassendes Umweltmanagement.

Alternative Technologien

Unterschiedlichste Forschungsansätze haben das Ziel, die Effizienz der Separation zu erhöhen und den Einsatz von Lösungsmitteln zu reduzieren bzw. zu optimieren. Die Fortschritte bei aktuellen Forschungen zu verbesserten SX-Methoden sind bisher allerdings überschaubar (MCNULTY 2022).

Ein alternativer Ansatz für die Separation ist die insbesondere von der norwegischen Firma REEtec AS vorangetriebene und inzwischen im Pilot-Maßstab eingesetzte Technik der Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (engl. „High Performance Liquid Chromatography“, HPLC), eine analytische Methode der Chemie, mit der aber auch chemisch sehr ähnliche Substanzen effektiv getrennt werden können. Bei dem chromatographischen Trennverfahren wird das aufgeschlossene SE-Mineralkonzentrat zusammen mit einem Elutionsmittel, der mobilen Phase (auch Eluent genannt), durch eine Trennsäule gepumpt, die eine stationäre Phase enthält. Die einzelnen SEE wechselwirken dabei unterschiedlich stark mit der stationären Phase und verlassen die Säule im zeitlichen Abstand, wobei sie getrennt aufgefangen werden können.

Als Elutionsmittel werden Mineralsäuren wie Salpetersäure (HNO₃), Salzsäure (HCl) oder Schwefelsäure (H₂SO₄) eingesetzt, die bei dem Prozess im Kreislauf geführt werden können (KIFLE 2024). Besondere Anforderungen bestehen an die stationäre Phase, um die größtmögliche Wechselwirkung mit den einzelnen SEE und somit die besten Trenneigenschaften zu gewährleisten. REEtec hat ein Patent für eine stationäre Phase eingereicht, die poröse Teilchen mit einer Porengröße > 300 Å und einer unpolaren Oberfläche aufweist sowie mit SEE bindenden Liganden imprägniert ist (SPORSTOL AND KIFLE 2021). Nach Angaben von REEtec (frdl. schriftl. Mitt.) ist man bei Einsatz dieser Technologie im Gegensatz zur hoch sensitiven Lösungsmittelextraktion (SX) unabhängig vom SE-Ausgangsmaterial, was einen erheblichen Wettbewerbsvorteil aufgrund flexibler Lieferketten bedeuten würde. Zudem ist der Prozess aufgrund des geringeren Bedarfs an Lösungs- und Extraktionsmitteln sowie deren Recyclingfähigkeit im Gegensatz zur SX umweltfreundlicher. Dank der Trennfähigkeit der stationären Phase kann die Separation in einer einzelnen Trennsäule durchgeführt werden, was den Prozess schneller und kostengünstiger macht. Nach erfolgreichen Pilotversuchen zur Herstellung von (NdPr)₂O₃ steht der Beweis einer industriellen Umsetzung durch REEtec allerdings noch aus.

Fällung und Kalzinierung

Die SEE-Cl₃-Lösung kann getrocknet werden, um ein SE-Chloridsalz zu erhalten. Allerdings erfolgt in der Praxis je nach gewünschtem Produkt entweder die Fällung zu einem **verkaufsfähigen SEE-Karbonat** oder, häufiger, zu **SEE-Oxalat**. Hier erfolgt die Fällung mittels Oxalsäure (C₂H₂O₄). Die Oxalate werden dann bei rund 900 °C kalziniert, um Wasser und CO₂ zu entfernen und ein **SEE-Oxid** zu erzeugen (Abbildung 5). Diese sind ein häufiges Handelsprodukt und Grundlage für eine Vielzahl von Anwendungen (u. a. Katalysatoren, Glas, Leuchtmittel).

Metallproduktion

Für bestimmte Anwendungen mit höheren Anforderungen an die Reinheit (z. B. Hochleistungspermanentmagnete) werden die SE-Oxide zu hochreinen Metallen (mind. 4N-Qualität = 99,99 %) raffiniert. Die Reduktion der SE-Oxide zu Metallen erfolgt über Schmelzflusselektrolyse, ein Verfahren, das z. B. auch für Aluminium angewendet wird und bei dem eine heiße Salzschmelze als Elektrolyt dient. Um die Salze zu schmelzen, werden Temperaturen über 1.000 °C benötigt, wodurch der Prozess sehr energieintensiv ist. Alternativ können auch elektrothermische Methoden angewendet werden. Die Reinheiten der SE-Metalle liegen bei unzurei-

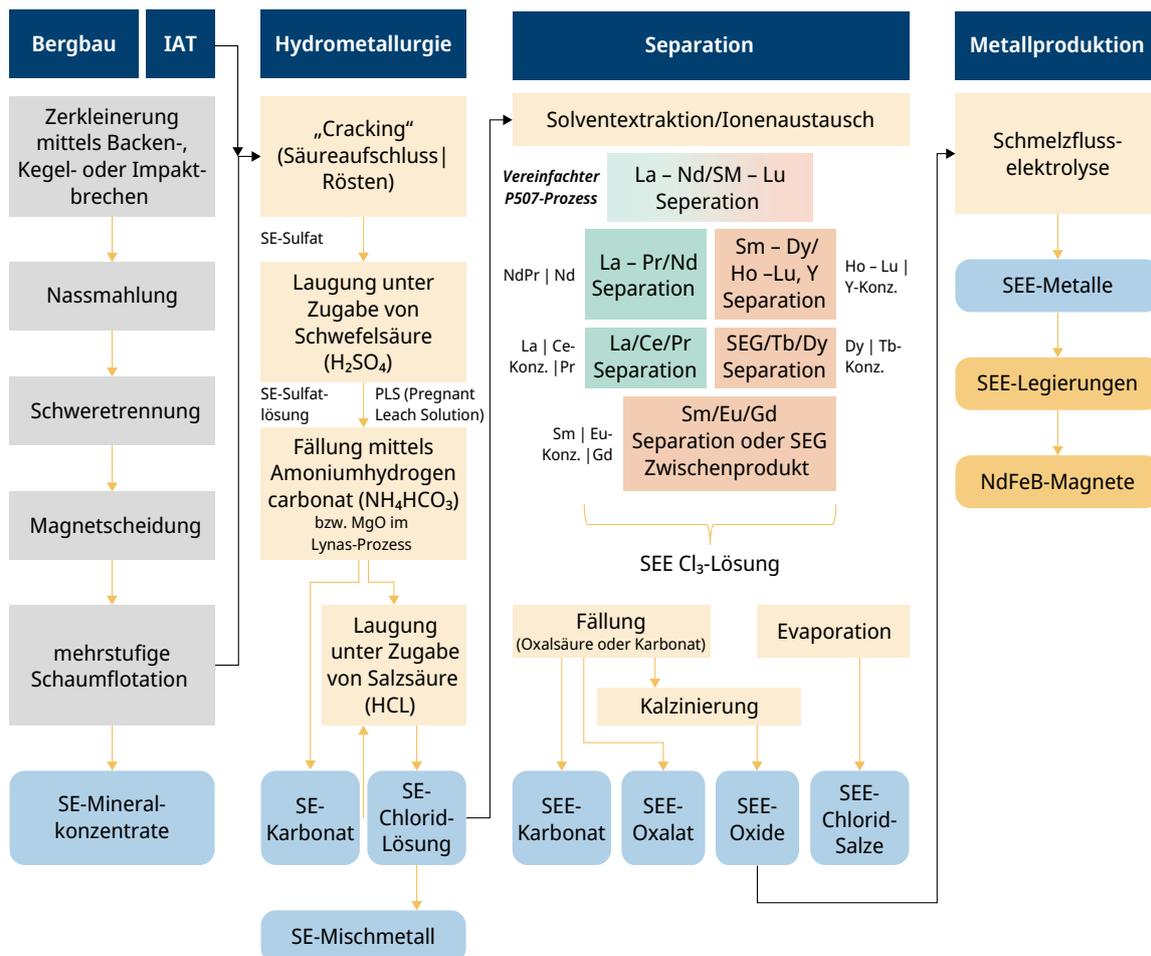


Abb. 5: Vereinfachtes Prozessschema für die Wertschöpfung von Seltenen Erden im Erz bis zum Metall mit den verkaufsfähigen (Zwischen-)Produkten (hellblau) nach den einzelnen Weiterverarbeitungsstufen. Für Details siehe Text (Grafik: BGR).

chend vorbehandeltem/gereinigtem Ausgangsmaterial aber oft nur bei 98 – 99 %. Um höherwertiges Material für kritische Anwendungen zu generieren, ist deswegen eine strenge Kontrolle und sorgfältige Durchführung der vorherigen Prozessschritte mit einer Minimierung der Verunreinigungen unabdingbar. Aufgrund der Reaktionsfreudigkeit von SEE u. a. mit Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenstoff, Wasserstoff und den Halogeniden ist die Herstellung eines SE-Metalls mit weniger als 0,1 % dieser Nichtmetalle sehr schwierig. Die gewonnenen Metalle werden anschließend zum Legierungsdesign bzw. zur NdFeB-Pulvermetallurgie überführt.

4.2 Anforderungen an Seltenerdlagerstätten und -projekte

Bei den Anforderungen an Seltenerdlagerstätten sind objektive lagerstättengeologische Mindestanforderungen von mehr subjektiven klimatisch-infrastrukturell-betriebswirtschaftlichen Kriterien zu unterscheiden.

4.2.1 Lagerstättengeologische Anforderungen

Aufgrund der Dominanz und hohen Erfahrung chinesischer SE-Bergbauunternehmen können die chinesischen Anforderungen/Bewertungskriterien auf SE-Lagerstätten/-Projekte weltweit übertragen werden, s. Tabelle 11.

Der wirtschaftliche Mindestabbaugehalt (engl. „cut-off grade“) bei Festgesteinslagerstätten liegt in China bei 1,0 % SEO bzw. bei Monazit-Bastnäsitmischerzen (Bayan Obo) bei 5,0 % SEO und bei reinen Bastnäsiterzen bei 1,4 % SEO. Monazitseifen müssen dagegen > 0,5 % SEO und Ionenadsorptionstone > 0,05 % (> 500 ppm) SEO enthalten, um abbauwürdig zu sein.

Zudem müssen in China kommerzielle Bastnäsit-Monazit-Mischkonzentrate > 45 % SEO, Bastnäsitkonzentrate > 70 % SEO, SE-Konzentrate aus Ionenadsorptionstonen > 92 % SEO (@ 6,0 + 0,5 % Pr, 23,0 + 0,5 % Nd, 4,5 + 0,1 % Dy, 0,8 + 0,05 % Tb), Monazitkonzentrate > 54 % SEO und Xenotimkonzentrate > 25 % SEO oder einen relativen SEO-Anteil von > 60 % Y_2O_3 beinhalten.

Tab. 11: Chinesische Größenklassifikation von SE-Lagerstätten (in t-Inhalt), nach ZHU (2022) u. a.

	klein	mittel	groß
Festgesteine	100 – 50.000 t	50.000 – 500.000 t	> 500.000 t
Ionenadsorptionstone	100 – 10.000 t	10.000 – 100.000 t	> 100.000 t
Monazitseifen	100 – 1.000 t	1.000 – 10.000 t	> 10.000 t
Xenotimseifen, Fergusonitpegmatite			> 10.000 t

Tab. 12: Russische Größenklassifikation von SE-Festgesteinslagerstätten (in t-Inhalt), nach PETROW et al. (2008).

	klein	mittel	groß	sehr groß
leichte SE-Lagerstätten (Ce-Inhalt)	< 100.000 t	100.000 – 1.000.000 t	1.000.000 – 10.000.000 t	> 10.000.000 t
schwere SE-Lagerstätten (Y-Inhalt)	< 10.000 t	10.000 – 100.000 t	100.000 – 500.000 t	> 500.000 t

Tab. 13: Anforderungen an SE-Vorkommen bzw. -Lagerstätten in Kanada, nach ROGERS & HART (1995).

	Vorkommen	Mine bzw. Lagerstätte
SE-Lagerstätten	> 0,10 % SEO	> 1,00 % SEO > 100.000 t SEO-Inhalt
schwere SE-Lagerstätten	> 0,02 % HREO	

In Tabelle 12 sind im Vergleich zu Tabelle 11 die russischen Größeneinteilungen von SE-Lagerstätten gegenübergestellt.

In Kanada bzw. Ontario gelten ähnliche Mindestanforderungen, s. Tabelle 13.

Abbauwürdige Festgesteinslagerstätten von leichten Seltenen Erden sollten daher einen Mindestgehalt von 1,0 % SEO bei einem Mindestinhalt von 100.000 t SEO besitzen. In der Praxis stehen allerdings nur leichte SE-Festgesteinslagerstätten mit einem (ursprünglichen) SEO-Inhalt von > 1 Mio. t im Abbau (mit der Ausnahme von Muluozhai/China).

Rund ein Drittel der weltweiten SE-Projekte mit publizierten Gehalten und Tonnagen (vgl. Kapitel 4.3.3) besitzt Gehalte < 1,0 % SEO und ebenfalls rund ein Drittel besitzt SEO-Inhalte < 100.000 t bzw. 80 % besitzen SEO-Inhalte < 1 Mio. t. Diese Projekte können mit wenigen Ausnahmen a priori als nicht abbauwürdig eingestuft werden.

Festgesteinslagerstätten, in denen schwere SEO relativ angereichert sind, haben sich bei Gehalten von > 0,25 % SEO, Inhalten von > 30.000 t SEO und einem relativen Gehalt von > 50 % mittelschweren/schweren SEO als abbauwürdig erwiesen (Kutessay II/Kirgisistan, Yen Phu/Vietnam). Über den Abbau von Festgesteinslagerstätten mit deutlich niedrigeren Gehalten bzw. Tonnagen bzw. relativen Anteilen, wie sie derzeit zum Teil projektiert werden, liegen noch keine kommerziellen Erfahrungen vor.

Abbauwürdige Ionenadsorptionstonlagerstätten von Seltenen Erden müssen einen Mindest-

gehalt von 500 ppm (0,05 %) SEO sowie einen Mindestinhalt von 10.000 t SEO besitzen. Dies trifft mit einer Ausnahme (Phaxay/Laos) auf alle bekannten entsprechenden Projekte zu.

Projektierte Ionenadsorptionstonlagerstätten sollten zudem keine Überdeckung durch Abraum besitzen und ein magmatisches Ausgangsgestein sollte nachgewiesen sein. Dies trifft jedoch auf einige australische und auch ein afrikanisches Projekt nicht zu.

Projektierte Ionenadsorptionstonlagerstätten außerhalb Chinas sollten weiterhin an mittelschweren bzw. schweren SEO angereichert sein und diesbezüglich einen relativen Anteil von > 25 % mittelschweren und schweren SEO besitzen. Dies ist bei mehreren projektierten Lagerstätten nicht der Fall. Die relativen Gehalte an mittelschweren und schweren SEO abzgl. Y_2O_3 sollten > 10 % betragen. Auch dies ist bei mehreren projektierten Lagerstätten nicht der Fall.

Wie in Kapitel 2.2 bereits ausgeführt, liegen bisher großmaßstäbliche bzw. kommerziell erfolgreiche Aufbereitungserfahrungen nur zu den SE-Mineralen Monazit, Xenotim, Bastnäsit, Loparit, Parisit und Synchronit bzw. zu Ionenadsorptionstonen/Regolithen vor. Zu Eudialyt und sehr wenigen anderen SE-Mineralisationen gibt es zudem teils langjährige Erfahrungen aus großmaßstäblichen Pilotanlagen (z. B. Dubbo/Australien). Projektierte Lagerstätten mit anderen SE-Mineralisationen müssen a priori als sehr kritisch bewertet werden. Aufbereitungserfahrungen im Labormaßstab ändern daran nichts.

Nur in China, Indien, vermutlich in Russland und neuerdings auch in den USA (und dort nur

durch das Unternehmen Enery Fuels Inc.) (zudem früher in Brasilien) werden die bei der Aufbereitung der Seltenen Erden stets anfallenden radioaktiven Beiprodukte Uran und zum Teil auch Thorium als Rohstoffe betrachtet und genutzt. In allen anderen Ländern ist dies nicht der Fall, hier ist ein möglichst geringer Gehalt an Uran und Thorium bereits im abzubauenen Erz von Interesse.

Nach den Vorgaben der International Atomic Energy Agency (IAEA) (ZIA 2018) besitzt ein Material eine erhöhte Radioaktivität bzw. bedarf dann einer besonderen Transporterlaubnis, wenn es mit > 10 Bq/g strahlt. Ein Material mit einem Gehalt von 1 % ThO_2 strahlt mit 35,64 Bq/g (1 % Th = 40,55 Bq/g) bzw. Material mit 1 % U_3O_8 strahlt mit 105,0 Bq/g (1 % U = 123,8 Bq/g). Erze mit Seltenen Erden (bzw. SE-Mineralkonzentrate) besitzen also dann bereits eine erhöhte, überwachungsbedürftige Radioaktivität, wenn sie > 230 ppm ThO_2 oder > 95 ppm U_3O_8 führen. Vereinfacht nutzen viele Länder/Unternehmen aber noch die ursprünglich aus Japan stammenden Grenzwerte von > 400 ppm ThO_2 und > 100 ppm U_3O_8 bzw. > 500 ppm (0,05 %) $\text{ThO}_2 + \text{U}_3\text{O}_8$.

Zusätzlich zu allen Schwermineralseifen (z. B. bis 12,6 % $\text{ThO}_2 + \text{U}_3\text{O}_8$ in der Fort Dauphin-Seife/Madagaskar), die meist das hochradioaktive SE-Mineral Monazit führen, überschreiten rund die Hälfte aller Festgesteinslagerstätten die o. g. Grenzwerte. Die Festgesteinslagerstätte mit den weltweit geringsten Gehalten an ThO_2 und U_3O_8 ist Norra Kärr/Schweden mit 22 ppm (d. h., bei der Aufbereitung von 10.000 t Erz aus Norra Kärr würden insgesamt ca. 220 kg ThO_2 und U_3O_8 anfallen). Die Festgesteinslagerstätte mit den weltweit höchsten Gehalten an ThO_2 und U_3O_8 ist dagegen Steenkampskraal/Südafrika mit 8,09 % (d. h., bei der Aufbereitung von 10.000 t Erz aus Steenkampskraal würden insgesamt ca. 809 t ThO_2 und U_3O_8 anfallen). Ionenadsorptionstonlagerstätten/Regolithe besitzen meist sehr geringe Gehalte an ThO_2 und U_3O_8 , die (sofern überhaupt publiziert) zwischen 8 ppm (Deep Leads/Australien) und > 72 ppm (Milo/Australien) liegen.

SE-Projektunternehmen, die das Thema Radioaktivität bzw. Beseitigung/Verwertung der bei der Aufbereitung anfallenden radioaktiven Abfallstoffe nicht ansprechen bzw. herunterspielen, sind kritisch zu bewerten. So würden bei der Aufbereitung von je 10.000 t Erz aus der australischen Lagerstätte Nolans Bore bei Gehalten von 180 – 190 ppm U_3O_8 und 2.700 – 2.900 ppm ThO_2 jeweils 1,8 – 1,9 t U_3O_8 und 27 – 29 t ThO_2 bzw. bei Gewinnung sämtlicher Erzreserven (29,5 Mio. t) ca. 5.500 t U_3O_8 und 85.000 t ThO_2 anfallen, über dessen zukünftigen Verbleib sich der Projektentwickler nur sehr vage ausdrückt.

4.2.2 Weitere Anforderungen

Die weiteren Anforderungen, die an SE-Lagerstätten bzw. SE-Projekte gestellt werden können, sind je nach Interessenlage und nationaler Herkunft des Projektbetreibers sehr unterschiedlich. Generell sind jedoch folgende Kriterien von Bedeutung:

- Begleitende Wertminerale: Verfügt eine Lagerstätte neben Seltenen Erden über begleitende und wirtschaftlich gewinnbare Wertminerale (z. B. Zr-, Ta-, Nb-, Ti-Minerale, CaF_2 , BaSO_4), ist dies von Vorteil. Dies trifft auf alle Schwermineralseifen zu, aber (bisher) auf keine Ionenadsorptionstonlagerstätten. Aus den meisten SE-Festgesteinslagerstätten in China werden weitere Begleitminerale abgetrennt und genutzt, in den anderen Ländern mit SE-Bergwerken ist dies nur in Russland ebenso der Fall.
- Klima: Ein Projekt/Bergwerk in gemäßigt-humidem Klima ist aufgrund der Anforderungen an Menschen und Material Projekten in arktischen, subarktischen, tropischen oder subtropischen Klimaten vorzuziehen. Als besonders negativ ist hierbei das Projekt Tomtor/Russland nahe des Kältepolars aller bewohnten Gebiete der Erde zu nennen. Auf der anderen Seite stechen mehrere SE-Projekte in zentralen Gebieten Australiens durch besonders hohe Temperaturen und jahreszeitliche Nichteignbarkeit innerhalb der Regenzeit hervor.

- Infrastruktur: Die sehr schlechte bis völlig fehlende Infrastruktur im näheren und häufig auch weiteren Umkreis fast aller projektierten SE-Bergwerke stellt eines der größten Hindernisse in ihrer Entwicklung dar, da sie hohe Kapitalkosten und meist auch hohe Betriebskosten bedingt. Von den ganz wenigen Projekten mit besserer Infrastruktur sind Eneabba und Dubbo, beide Australien, sowie besonders Fen/Norwegen und Per Geijer/Schweden hervorzuheben.
- Transportkosten: Liegen SE-Projekte weitab von Straßen, Eisenbahnlinien oder Schifffahrtswegen bedingt dies hohe Transportkosten für die zu erbauenden Anlagen, die zur Aufbereitung/Separation benötigten Chemikalien, die abzutransportierenden Produkte sowie die An-/Abreise des Personals. Besonders negativ treten hier die SE-Projekte Tomtor/Russland, Ngualla/Tansania, Nechalecho und Strange Lake/beide Kanada, sowie Browns Range und Nolans Bore/beide Australien, hervor.
- Konzept: Bei den Konzepten der zahlreichen SE-Bergbauprojekte fällt der sehr unterschiedliche Wertschöpfungsgrad der Produkte auf. Dieser reicht von SE-Mineralkonzentraten (z. B. Browns Range/Australien oder Kringlerne/Grönland) über SE-Mischprodukte (z. B. Zandkopsdrift/Südafrika oder Lofdal/Namibia) oder einem Gemisch von SE-Misch- und separierten SE-Produkten (z. B. Bear Lodge/USA oder Longonjo/Angola) bis hin zu separierten SE-Produkten (z. B. Dubbo oder Eneabba/beide Australien). Viele SE-Projekte befinden sich jedoch noch in so einem frühen Entwicklungsstadium, dass sich die Betreiber über das potenziell zu erzeugende Produkt noch keine tieferen Gedanken gemacht haben. Für Investoren aus der deutschen Industrie sind eigentlich nur Projekte mit einem hohen angedachten Wertschöpfungsgrad von Interesse.
- Länderrisiko: Für Interessenten und Investoren aus demokratischen Ländern sollte die Regierungsführung des Produktionslandes von Bedeutung sein. Eine Einstufung der Regierungsführung ist durch Heranziehung des sog. Länderrisikowertes möglich. Dieser Länderrisikowert ergibt sich aus dem Mittelwert der sechs „Worldwide Governance Indicators“ der Weltbank (WORLD BANK GROUP 2024), die jährlich die Regierungsführung von über 200 Staaten weltweit bewertet. Gemessen werden (1) Mitspracherecht und Rechenschaftspflicht, (2) politische Stabilität und Abwesenheit von Gewalt, (3) Leistungsfähigkeit der Regierung, (4) Regulierungsqualität, (5) Rechtsstaatlichkeit und (6) Korruptionsbekämpfung. Von den Ländern mit SE-Projekten hatten im Jahr 2023 Afghanistan (-1,73), Myanmar (-1,67) und Burundi (-1,26) die schlechtesten Länderrisikowerte. Die besten Werte besaßen Norwegen (+1,67) und Schweden (+1,55), gefolgt von Australien (+1,44) (Anm.: Deutschland +1,32) (zur Bewertung s. auch Anhang V).
- Bergbaugesetzgebung: Für die zielgerichtete und zügige Entwicklung von Bergbauprojekten ist die Bergbaugesetzgebung eines Landes von Bedeutung. Eine subjektive Bewertung der Bergbaugesetzgebung aller relevanten Bergbauländer erfolgt jährlich durch das kanadische Fraser Institute in seinem Annual Survey of Mining Companies (MEJIA & ALIKABARI 2024). Von den Ländern mit SE-Projekten hatten im Jahr 2023 China (14,35), Mongolei (19,89) und Indien (20,57) die schlechtesten Werte. Die besten Werte besaßen Nevada (91,77), Quebec (91,13) und Arizona (89,26) (Anm.: Deutschland k. A.).
- Umwelt-/Sozialrisiken: Eine Bewertung der potenziellen Umwelt- und/oder Sozialrisiken eines Bergbauprojektes ist häufig nur den Lizenzinhabern, Einheimischen oder durch intensive Beschäftigung mit den Projektunterlagen – so diese denn veröffentlicht sind – möglich. Zu den häufigsten Umwelt- und Sozialrisiken gehören die potenziell negativen Auswirkungen auf wertvolle Ökosysteme und Lebensräume (z. B. Kringlerne/Grönland), eine radioaktive Kontamination (z. B. Kvanefjeld/Grönland oder Pitinga/Brasilien)

- oder auch eine Kontamination durch Chemikalien (Ionenadsorptionstone/SE-Asien, Brasilien). Zu den wichtigsten Sozialrisiken gehört die fehlende Akzeptanz eines SE-Projektes durch die lokale (z. B. Mrima Hill/Kenia) bzw. indigene Bevölkerung.
- Aufwand für die Gewinnung: Eine bergbauliche Gewinnung von SE-Erzen kann im sehr teuren Untertagebergbau (z. B. Nechalecho basal zone/Kanada), im aufwändigen selektiven Festgesteinsabbau über Tage (z. B. Yangibana/Australien), im relativ günstigen Festgesteinsabbau über Tage (z. B. Zandkopsdrift/Südafrika), im günstigen Schwermineralerzabbau (z. B. Toliara/Madagaskar) oder sehr günstig aus Halden (z. B. Eneabba/Australien), durch Laugung von Ionenadsorptionstone (z. B. Pela Ema/Brasilien) oder einfach nur beibrechend (z. B. Per Geijer/Schweden) erfolgen.
 - Aufwand für die Aufbereitung: Der Aufwand für die physikalische oder physikalisch-chemische Abtrennung der SE-Minerale aus dem Erz und die Herstellung eines möglichst hoch angereicherten SE-Mineralkonzentrats zur besseren Separation ist von mehreren Faktoren, wie Korngröße und Verwachsungen der Minerale, abhängig. Im Normalfall ist dieser Aufwand beherrschbar, wobei das Ausbringen bei > 80 % liegen sollte.
 - Aufwand für die Separation: Die chemische Aufbereitung des SE-Mineralkonzentrats zur Abtrennung der SE-Fraktion und ggf. auch die Fraktionierung in einzelne SEE, SEO oder SE-Verbindungen zählt zu den komplexesten Herausforderungen bei der Entwicklung einer SE-Lagerstätte. Mit ganz wenigen Ausnahmen verfügen nur wenige Einzelpersonen außerhalb Chinas über das hierfür notwendige und v. a. praktische Knowhow. Nur sehr wenige Unternehmen verfügen über Knowhow zumindest aus großmaßstäblichen Pilotanlagen (z. B. Australian Strategic Materials Ltd.). Üblicherweise machen alle SE-Projektentwickler hierüber zu optimistische Aussagen bzw. sprechen das Thema (besser) nicht an. Sofern Aussagen gemacht werden, fallen die zum Teil sehr niedrigen Ausbringraten auf (z. B. Penco Module/Chile mit 22,8 %), vgl. Kapitel 4.3.3.
 - Projektstand: Der Entwicklungszeitraum von SE-Projekten beträgt von der Exploration bis hin zur Produktion kommerziell vermarktungsfähiger Produkte erfahrungsgemäß mehrere Jahrzehnte. Neben fehlenden Investitionszusagen mangelt es fast allen Projekten ohne chinesische Investoren an Knowhow zur Aufbereitung und v. a. zur Separation. Seit teils über zehn Jahren von SE-Projektunternehmen in regelmäßigen Abständen veröffentlichte Mitteilungen, „nun bald“ in Produktion zu gehen, belegen die Fragwürdigkeit dieser Aussagen. Auch keines der wirklich im letzten Jahrzehnt in Produktion gegangenen Projekte ohne chinesische Investoren konnte den ursprünglich avisierten Zeitrahmen einhalten.
 - Investitionskosten: Investitionskosten umfassen die einmaligen Kapitalkosten für Infrastrukturmaßnahmen, Anlagen u. v. a. m. sowie die regelmäßigen Betriebskosten für Gewinnung, Aufbereitung und ggf. Separation. Seriöse Berechnungen der Kapitalkosten für ein SE-Bergwerk mit Aufbereitung und Separation erbrachten bisher stets Ergebnisse von > 1 Mrd. Dollar (US\$, AU\$, C\$). „Mitglieder“ dieses „One-Billion-Dollar-Clubs“ sind bisher die SE-Projekte Kvanefjeld/Grönland, Strange Lake/Kanada, Nechalecho/Kanada, Eneabba/Australien, Nolans Bore/Australien sowie die SE-Bergwerke Mountain Pass/USA und Mt. Weld/Australien.
 - Finanzierung: Zur Finanzierung der oftmals sehr hohen Investitionskosten sind alle SE-Projektunternehmen auf Aktienemissionen, Zuschüsse (durch Forschungs- oder Landesinstitutionen), Darlehen, Kredite oder Beteiligungen (durch Partner oder Kunden) angewiesen. Ausreichende Eigenmittel sind fast nie vorhanden oder decken nur einen Teil der Entwicklungskosten.

- Erfahrung des Lizenzinhabers: Investitionsentscheidungen für oder gegen ein SE-Projekt sollten in Abhängigkeit von den bisherigen (praktischen) Erfahrungen des Lizenzinhabers bzw. der von ihm beauftragten Subunternehmer hinsichtlich Bergbau (häufig vorhanden), Aufbereitung von SE-Mineralen (selten vorhanden) und Separation von SEO (fast nur durch chinesische Investoren vorhanden) erfolgen.

4.3 Bergbauförderung

4.3.1 Entwicklung der Bergbauförderung

Von der Entdeckung der Seltenen Erden (1794 – 1907) bis Mitte der 1950er Jahre wurden einige der Seltenen Erden in bescheidenen Mengen aus monazithaltigen Schwermineral-

sanden, Pegmatiten und Karbonatiten sowie als Nebenprodukte der Uran- und Niobgewinnung abgetrennt.

Die bergbauliche Gewinnung und Nutzung von SE-Mineralen begann im späten 19. Jahrhundert. Mit der Erfindung des Glühstrumpfs bzw. der Gas-Mantel-Lampe wurde erstmals Ende des 19. Jahrhunderts in großen Mengen Thorium (Th) in Form von Thoriumnitrat zur Imprägnierung von Glühstrümpfen für Gasglühlampen verwendet. Als Rohstoff zur Gewinnung von Thorium diente zu Beginn ausschließlich Monazit aus Schwermineralsanden („Seifen“). Seit etwa 1886 wurde Monazit kommerziell aus Seifen in Brasilien gewonnen, etwa 1886 begann auch der Abbau in den USA und wenig später in Indien (1910/1911) (KRUSCH 1938, HOUK 1943).

Erst seit der Mitte des 20. Jahrhunderts gewann Monazit wegen seines Gehaltes an Seltenen Erden an Bedeutung. Bis Mitte der 1960er Jahre

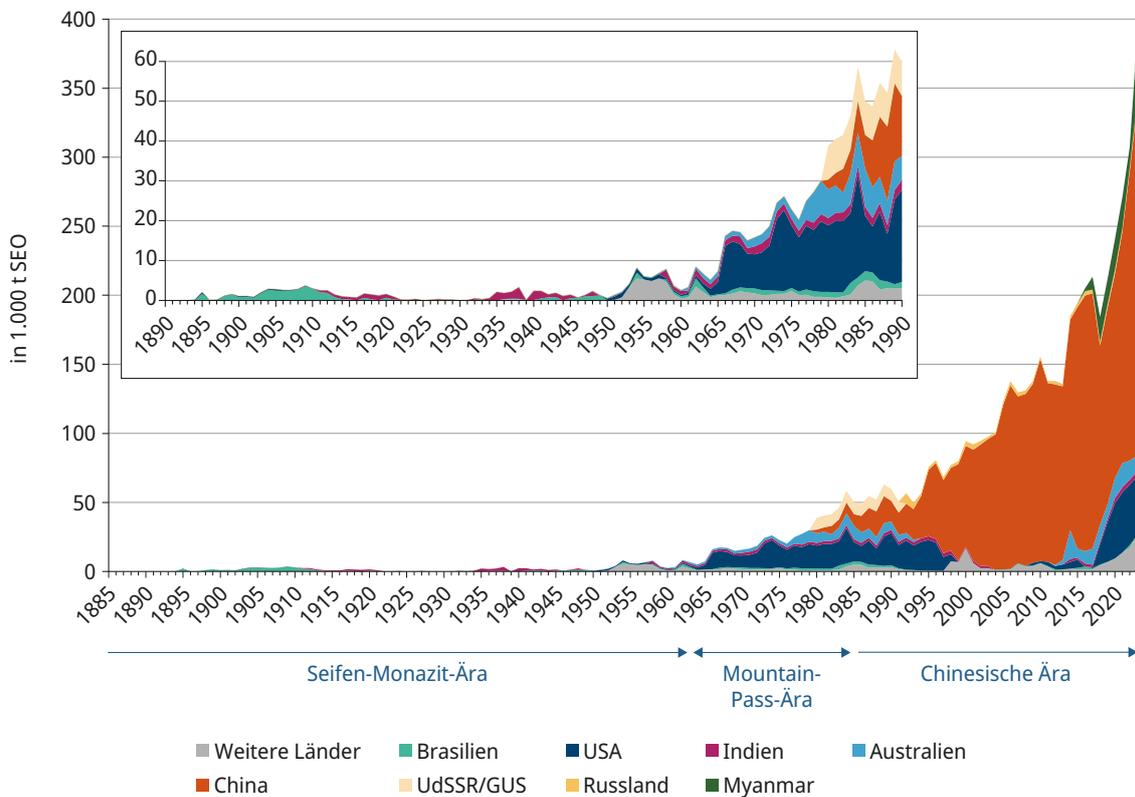


Abb. 6: Historische Bergwerksförderung von Seltenen Erden (Datenquelle: BGR-DATENBANK).

war Monazit aus Seifenlagerstätten die Hauptquelle für Seltene Erden. Eine Gewinnung von Seltenen Erden aus Karbonatiten und Pegmatiten sowie als Beiprodukt der Uran- und Niobaufbereitung fand nur weit untergeordnet statt. Während der darauffolgenden Jahrzehnte wurden allerdings Bastnäsit und Monazit aus Festgesteinslagerstätten, vor allem aus Karbonatiten (insb. Mountain Pass in den USA und Bayan Obo in China), die vorrangige SE-Quelle. Seit den 1980er Jahren spielen Ionenadsorptionstone, zuerst aus China, später auch aus Myanmar und SE-Asien, eine wichtige Rolle für die Gewinnung vor allem von schweren SE.

Im Laufe der Jahrzehnte haben sich die Rohstoffquellen der Seltenen Erden gewandelt. HAXEL et al. (2002) unterscheiden in diesem Zusammenhang – vor allem aus US-amerikanischer Sicht – eine „Seifen-Monazit-Ära“, eine „Mountain-Pass-Ära“ und eine „Chinesische Ära“ (s. Abbildung 6).

Die wichtigsten Bergbaustandorte, sortiert nach Ländern und zeitlicher Reihenfolge ihres Produktionsbeginns, sind im Folgenden aufgeführt:

Brasilien

Der Abbau von Monazit startete an den Stränden von Bahia (Strand von Cumuruxatiba) und Espirito Santo und war bis 1896 unter dem Vorwand der Entnahme als Ballast für Schiffe kostenlos. Die wichtigsten Bestimmungsorte waren damals Österreich und Deutschland (KRUSCH 1938, TAKEHARA 2015). Die wichtigsten Lagerstätten Brasiliens befanden sich in den Küstengebieten von Rio de Janeiro, Espirito Santo und Bahia. Brasilien war bis 1914 (dann Indien) weltweit führend bei der Versorgung mit Monazit und bis Anfang der 1950er Jahre einer der wichtigsten Monazitlieferanten. 1951 verbot Brasilien den Export von radioaktiven Erzen, exportiert wurden nun vermehrt SE-Produkte. 1949 startete die Gewinnung der Seltenen Erden aus Monazit im Werk Santo Amaro (USAM) durch das Unternehmen ORQUIMA S.A. (Indústria Química Ltda). Verarbeitet wurden etwa 2.000 t Monazit pro Jahr. Anfang der 1960er Jahre kam

es zur Verstaatlichung von USAM und 1975 zur Umbenennung in Nuclemon (Nuclebrás de Monazita and Associados, ab 1994 Indústrias Nucleares do Brasil, INB). 1992 wurde die Produktion eingestellt (HEIDER 2021, TAKEHARA 2015).

Zwischen den 1890er und 1980er Jahren wurden zahlreiche monazitführende Seifenlagerstätten mit Unterbrechungen entlang der zentralbrasilianischen Küste, zwischen der Stadt Campos im Bundesstaat Rio de Janeiro im Süden und dem Bundesstaat Rio Grande do Norte im Norden erschlossen. Die Nähe zu Ferienorten und anderen Bevölkerungszentren war ein wichtiger Faktor, der den Abbau der Monazitvorkommen einschränkte und Anfang der 1990er Jahre war der Standort Buena (Produktion durch INB) der einzige aktive verbliebene Monazitproduzent in Brasilien (VAN GOSEN et al. 2014).

Eine Auswahl an brasilianischen Abbaubetrieben ist im Folgenden aufgeführt:

Cumuruxatiba bei Prado, Bahia, Schwermineralseife (1886 – 1989)

Die Nutzung der brasilianischen Monazitsande begann etwa 1886 mit der Eröffnung der Cumuruxatiba-Mine durch John Gordon. Kommerzieller Abbau der Schwermineralseifen fand in Cumuruxatiba bei Prado bis 1989 durch die staatseigene Nuclebrás de Monazita Associados Ltda. (Nuclemon, heute Indústrias Nucleares do Brasil S.A. (INB) statt (TAKEHARA 2015).

Alcobaça, Bahia, Schwermineralseife (? – 1989)

Abbau der Schwermineralseife durch Nuclebrás/Nuclemon bis 1989 (TAKEHARA 2015).

Guarapari, Espirito Santo, Schwermineralseife (1898 – 1987?)

Um Guarapari, zwischen Barra de Itabapoana und Guarapari liegt das wichtigste Schwermineralvorkommen in Espirito Santo. Der erste Monazitabbau bei Guarapari begann 1898 (OVERSTREET 1967). Ab 1937 wurde durch Monazita Ilmenita do Brasil (MIBRA) und ab 1960 durch Nuclemon (Nuclebras de Monazita Associados Ltda.) Monazit gewonnen (TAKEHARA 2015).

**Boa Vista, Espirito Santo,
Schwermineralseife (1909 – 1913)**

Abbau von Schwermineralseifen und Gewinnung von Monazit.

**Anchieta, Aracruz, Espirito Santo,
Schwermineralseife (? – 1989)**

Abbau der Schwermineralseife durch Nuclebrás/Nuclemon bis 1989 (TAKEHARA 2015).

**São Francisco de Itabapoana (Buena),
Rio de Janeiro,
Schwermineralseife (seit 1940er Jahre)**

Südlich Praia wurden seit den 1940er Schwermineralseifen abgebaut und wurde Monazit gewonnen. Ende der 1940er Jahre förderte Sulba – Sociedade Comercial de Minério – Schwermineralsande in São Francisco de Itabapoana (HEIDER 2021) und lieferte diese zum Werk von Orquima S.A. In den 1960er Jahren Verstaatlichung von Sulba und Orquima aufgrund der Uran- und Thorium-Gehalte und Weiterbetrieb durch Staatsfirmen, heute Indústrias Nucleares do Brasil S.A. (INB) (früher Nuclebras de Monazita Associados Ltda., Nuclemon). Derzeit Aufbereitung der Halden (Buena und Caldas) der ehemaligen Schwermineralsandgewinnung durch INB.

**Delta do Rio Paraíba do Sul
(São João da Barra), Rio de Janeiro,
Schwermineralseife (? – 1989)**

Abbau der Schwermineralseife durch Nuclebrás/Nuclemon bis 1989 (TAKEHARA 2015).

**Pitinga, Amazonas,
Cassiteritseife/Festgesteinslagerstätte
(seit 1982)**

1982 startete Mineração Taboca S.A. (seit 2008 Tochter der peruanischen Minsur S.A., früher Tochter von Paranapanema) den Abbau der Cassiterit-Lagerstätte Pitinga. Erst Abbau der Sn-Ta-Nb-Zirkon-Xenotim-Seifen, ab 2006 auch des Festgesteins (Greisen). Xenotim wird aufgehaldet.

**Guaju, Paraíba,
Schwermineralseife (seit 1983)**

Seit 1983 erfolgt der Abbau der Schwermineral-

seife bei Matarac. Zuerst durch Rutilo e Ilmenitizado Brasil S.A. (RIB), eine Tochter der Titanio do Brasil S.A. (Tibràs), an der die Bayer AG einen Anteil von 49 % besaß. 1998 hat das US-amerikanische Unternehmen Millennium Inorganic Chemicals RIB übernommen und 2007 an die National Titanium Dioxide Company, eine Tochter der saudi-arabischen National Industrialization Company verkauft. 2013 wechselte Millennium Inorganic Chemicals do Brasil (MIC) den Namen zu Cristal Pigmentos do Brasil S.A., welche wiederum 2019 von dem australischen Unternehmen Tronox Ltd. übernommen wurde. Heute gewinnt Tronox Pigmentos do Brasil S.A. in Guaju Schwerminerale. Neben Ilmenit und Zirkon sind in der abgebauten Seife auch geringe Mengen Monazit enthalten.

**Araxá, Minas Gerais,
Festgesteinslagerstätte (2012 – 2018)**

Aus dem Karbonatitkomplex mit den weltweit größten Niobreserven wird Nb gewonnen. Zwischen 2015 und 2018 betrieb CBMM (Companhia Brasileira de Mineração e Metalurgia) eine Pilotanlage, die aus den Abgängen der Nb-Aufbereitung auch SEO produzierte. Diese war ausgelegt auf eine jährliche Produktion von 8 – 9 t SEO (TAKEHARA 2015).

USA

Aus Produktionsaufzeichnungen geht hervor, dass die Vereinigten Staaten ab 1886 Monazit produzierten (Houk 1943). Der vorläufige Höhepunkt der Produktion in den USA wurde 1895 erreicht. Ab 1895 kam brasilianischer Monazit in großen Mengen auf den Markt und brachte die amerikanische Monazitbergbauindustrie die nächsten Jahre praktisch zum Stillstand. Erst Ende der 1940er Jahre startete die Monazitproduktion wieder in größerem Umfang. Ab den 1960er Jahren bis Mitte der 1990er Jahre stammten SE vor allem aus Bastnäsitkonzentrat der Lagerstätte Mountain Pass. Seit 2010, und insbesondere seit 2018, steigt durch die erneute Inbetriebnahme der Lagerstätte Mountain Pass die SE-Förderung in den USA wieder stark an.

Eine Auswahl an US-amerikanischen Abbaubetrieben ist im Folgenden aufgeführt:

**North und South Carolina,
Schwermineralseifen(1886 – 1910, 1915 – 1917)**

Von 1886/1887 – 1910 und sporadisch von 1915 – 1917 wurden in North und South Carolina kleine fluviatile Schwermineralseifen mit Monazit abgebaut (HOUK 1943, PIRKLE et al. 2007). 1906 betrug die Monazitsandproduktion der USA rd. 400 t, die North Carolinas rd. 330 t (KRUSCH 1938).

**Jacksonville, Florida,
Schwermineralseife (1917 – 1918, 1949 – 1964,
1966 – 1967)**

1917 wurde bei Jacksonville, FL, Schwermineralsand gefunden. Das auf dem Schüttelherd gewonnene unreine Monazitkonzentrat enthielt noch Ilmenit, Rutil und Zirkon, die so weit wie möglich elektromagnetisch abgetrennt wurden. 1918 wurde der Betrieb eingestellt (KRUSCH 1938). Der Abbau von Schwermineralsanden startete erneut 1943 (Rutile Mining Co. of Florida). Zwischen 1944 und 1964 betrieb die Humphreys Gold Corp. den Abbau und ab 1949 wurde durch dieses Unternehmen erstmals auch Monazit gewonnen. Zwischen 1966 und 1967 gewann die Firma Carpc Engineering aus dem nicht rekultivierten Haldenmaterial ein Monazit- und Xenotimkonzentrat (ELSNER 1992).

**Mineral City, Florida,
Schwermineralseife (1925 – 1929)**

Der Abbau von Schwermineralseifen erfolgte zwischen 1916 und 1929 südlich Jacksonville Beach, bekannt als Mineral City, durch Buckman & Pritchard Inc. Die Produktpalette umfasste Ilmenit, Rutil, Zirkon und Monazit, wobei die erste kommerzielle Gewinnung von Monazit aus dem Jahr 1925 überliefert ist. 1929 wurde der Abbau eingestellt, da die reichsten Schwermineralseifen erschöpft waren und die Konkurrenz aus Indien zu stark war (ELSNER 1992).

**Melbourne, Florida,
Schwermineralseife (1939 – 1943)**

Mit Beginn des ersten Weltkriegs stieg die Nachfrage nach Schwermineralen. Entlang des

Indian Rivers erfolgte zwischen 1939 und 1943 der Abbau von Schwermineralseifen durch die Riz Mineral Co. Die Produktpalette umfasste Ilmenit, Rutil, Zirkon und Monazit (ELSNER 1992).

**Vero Beach, Florida,
Schwermineralseife (1943 – 1954)**

Der Abbau von Schwermineralsanden (Dünen-seifen) erfolgte zwischen 1943 und 1946 durch Riz Mineral Co. und zwischen 1948 und 1954 durch Florida Ore Processing Co. Die Produktpalette umfasste u. a. Monazit (PIRKLE et al. 2007, ELSNER 1992).

**Long Valley, Idaho,
Schwermineralseife (1950 – 1959)**

Monazit aus Schwermineralseifen wurde zwischen 1950 und 1959 im Long Valley im westlichen Zentral-Idaho mittels Schwimmbagger gewonnen. Für die fünf Jahre wird eine Produktion von 6.430 t Monazit angenommen (LONG 2010).

**Mountain Pass, Kalifornien,
Festgesteinslagerstätte (mit Unterbrechung
seit 1952)**

Der Abbau der SE-Karbonatit-Lagerstätte Mountain Pass begann 1952 durch die Molycorp Inc. (früher Molybdenum Corporation of America). Produziert wurde ein Bastnäsitkonzentrat. Ab Mitte der 1960er stieg die Produktion stark an (auf etwa 10.000 t SEO/J.) und bis Mitte der 1980er war Mountain Pass die weltweit führende Lagerstätte für leichte SE. Bis Mitte der 1990er blieb die Förderung auf hohem Niveau (meist um 17.000 – 20.000 t SEO/J.). Durch zahlreiche Zwischenfälle mit teilweise erheblichen Umweltverschmutzungen wurde 1998 die Teilgenehmigung zur Abwasserentsorgung entzogen. Von 1998 – 2002 wurde nur noch sporadisch Erz gefördert. Separierte SE wurden aus Lagerbeständen verkauft, die vor der Stilllegung der Aufbereitungsanlage produziert wurden.

2008 erwarb Molycorp Inc. die Lagerstätte und startete Ende 2010 den Abbau erneut. Durch die Insolvenz von Molycorp Inc. kam es 2015 erneut zur Einstellung des Betriebs. 2017 erwarb die MP Mine Operations LLC Mountain Pass und ebenfalls 2017 erfolgte die Wiederaufnahme der

Förderung durch MP. Das Bastnäsitkonzentrat wurde zur Weiterverarbeitung durch Shenghe Resources nach China exportiert (s. Anhang I).

**Winter Beach, Florida,
Schwermineralseife (1954 – 1956)**

Betrieben wurde dieser Seifenabbau zwischen 1954 und 1955 durch Florida Ore Processing Co. und zwischen 1955 und 1956 durch Florida Minerals Co. Die Produktpalette umfasste u. a. Monazit (ELSNER 1992).

**Bear Valley (Lowman), Idaho,
Schwermineralseife (1955 – 1959)**

Abgebaut wurden in Bear Valley im westlichen Zentral-Idaho Monazit aus einer Columbit-Euxenit-Monazit-Seifenlagerstätte (LONG 2010). Das Schwermineralvorkonzentrat wurde zur weiteren Aufbereitung nach Lowman transportiert. Von 1955 – 1960 betrieb die Porter Brothers Corporation die Aufbereitungsanlage bei Lowman, in der Columbit/Euxenit- und Monazitkonzentrate abgetrennt wurden.

**Aiken, South Carolina,
Schwermineralseife (1955 – 1958)**

Der Abbau der fluviatilen Schwermineralseifen begann 1955 nahe Clearwater in Aiken. Der Abbau erfolgte durch Marine Minerals, eine Tochterfirma der Heavy Minerals Co., zwischen 1955 und 1958. Danach Gewinnung von Kies. Zuerst wurde der Abbau kontrolliert durch den Entdecker O. H. Perry mit finanzieller Unterstützung durch die Callahan Lead and Zinc Co., später gingen die Rechte an die Crane Co., die Vitro Corporation of America, das französische Unternehmen Pechiney und schließlich die Heavy Minerals Co. über. Ilmenit, Zirkon, Rutil, Monazit und Xenotim waren die wichtigsten Wertminerale. Monazit und Xenotim machten etwa 12 % der verkaufsfähigen Minerale aus. Der Schwermineralabbau wurde 1958 eingestellt (PIRKLE et al. 2007).

**Folkston, Georgia,
Schwermineralseife (1965 – 1974)**

Der Abbau von Schwermineralsanden erfolgte durch Humphreys die Gold Corp. im Auftrag des Chemieunternehmens DuPont. Die Produktpalette umfasste u. a. Monazit (ELSNER 1992).

**Green Cove Springs, Florida,
Schwermineralseife (mit Unterbrechung
1972 – 2006)**

1966 wurde südlich von Green Cove Springs eine Schwermineralseife entdeckt. Von 1972 – 1978 wurden durch Titanium Enterprises Ilmenit, Rutil, Zirkon und Monazit gewonnen. Im Juli 1978 beendete Titanium Enterprises den Bergbaubetrieb und begann mit der Aufbereitung der Rückstände. Ab 1980 Fortsetzung des Abbaus durch Associated Minerals (USA) Inc., eine Tochtergesellschaft des australischen Bergbaukonzerns Consolidated Gold Fields Australia Ltd., später Renison Goldfields Consolidated Ltd. (RGC), und ab 1998 Fusion mit Westralian Sands zu Iluka Resources Ltd. (PIRKLE et al. 2007, ELSNER 1992). Iluka stellte den Bergbaubetrieb im Februar 2006 ein, die Wiederaufbereitung der Abbaurückstände in der Aufbereitungsanlage wurde noch bis 2009 fortgesetzt.

**Manchester Mine, New Jersey,
Schwermineralseife (mit Unterbrechung
1973 – 1990)**

Asarco, Inc. eröffnete 1973 die Manchester Mine. Die Schwermineralseife befand sich in der Nähe von Lakehurst, NJ, in Manchester. Der Bergbau wurde 1982 eingestellt, allerdings gewann Heritage Minerals Inc. von 1986 – 1990 aus den Aufbereitungsrückständen Zirkon und Monazit (PIRKLE et al. 2007).

**Boulogne, Florida,
Schwermineralseife (1974 – 1979)**

Der Abbau von Schwermineralseifen erfolgte durch Humphreys Mining Co. (Nachfolger der Humphreys Gold Corp.) im Auftrag des Chemieunternehmens DuPont. Die Produktpalette umfasste u. a. Monazit (ELSNER 1992).

**Lulaton, Georgia,
Schwermineralseife (2004 – 2006)**

2004 begann TE Consolidated, Inc. (Tochtergesellschaft von Iluka Resources, Ltd.) mit dem Abbau der Lulaton-Schwermineralseife westlich von Lulaton im Brantley County. Das Schwermineralkonzentrat wurde per LKW von Georgia zum Standort der Aufbereitungsanlage in Green Cove Springs, FL, transportiert. Der Bergbau

wurde am 30. Juni 2006 eingestellt (PIRKLE et al. 2007).

**Mission + Jesup, Georgia,
Schwermineralseife (seit 2014)**

2014 Beginn des Abbaus von Schwermineralseifen in der Mission Mine durch Southern Ionics Minerals, LLC (heute The Chemours Company). Aufbereitung und Abtrennung eines Monazitkonzentrats erfolgt im Werk Offermann. Seit 2018 Export von monazitreichen Zirkonkonzentraten nach China.

2020 Abbaubeginn der Schwermineralseife bei Jesup in Wayne County und seit 2021 Lieferung von Monazitkonzentraten (min. 2.300 t/J.) aus der Schwermineralaufbereitungsanlage in Offerman, GA zur SE-Aufbereitungsanlage von Energy Fuels Inc. (White Mesa Mill, südlich Blanding, Utah) (s. Anhang I).

Indien

Schon 1908/09 waren bedeutende Seifenlagerstätten in Indien bekannt. Ab 1911 sind Förderzahlen von Monazit vorhanden und bereits ab 1914 übertrifft die indische Monazitproduktion die brasilianische. Bis Anfang der 1960er Jahre ist Indien das bedeutendste Bergbauland für SE (etwa 1.000 – 2.000 t SEO/J.).

**Manavalakurichi, Tamil Nadu,
Schwermineralseife (mit Unterbrechung seit 1911)**

1909 wurden in Kerala und Tamil Nadu (zwischen dem Kap Comorin (Südspitze) und Kollam, damals Travancore State) monazitreiche Schwermineralseifen entdeckt. Der Abbau begann 1911 zwischen Muttom und Colachel durch das London Cosmopolitan Mining Syndicate. Die Abtrennung des Monazits erfolgte in Manavalakurichi. Von 1911 – 1913 wurde das gewonnene Konzentrat (3.202 t) nach Hamburg exportiert (KRUSCH 1938). Ab 1914 betrieben britische Unternehmen die Lagerstätte und der Schwerpunkt lag auf der Gewinnung von Ilmenit, Monazit wurde Beiprodukt. 1947 verhängte die indische Regierung ein Exportstopp von Mo-

nazit. Seit den 1950er Jahren Fortführung der Schwermineralgewinnung durch die Rare Earth IREL (India) Ltd. (heutiger Lizenzinhaber) (s. Anhang I).

**Chavara, Kerala,
Schwermineralseife (mit Unterbrechung seit 1911)**

Der Abbau der Schwermineralseifen begann 1911. Die Abtrennung des Monazits erfolgte in Chavara. Ab 1914 betrieben britische Unternehmen die Lagerstätte und der Schwerpunkt lag auf der Gewinnung von Ilmenit. 1947 verhängte die indische Regierung einen Exportstopp von Monazit. Seit 1950 erfolgt die Schwermineralgewinnung in Chavara durch IREL (India) Ltd. und der Vorgängerfirma der 1956 verstaatlichten Kerala Minerals & Metals Ltd. (KMML) (s. auch Anhang I).

**Chhatrapur, Odisha,
Schwermineralseife (seit 1980)**

Seit 1980 Abbau der Schwermineralseifenlagerstätte Chhatrapur (entlang der Küste des Ganjam Distrikts) durch die IREL (India) Ltd. (s. auch Anhang I). Die Aufbereitung der Schwerminerale und die Abtrennung des Monazits erfolgen im 1984 eröffneten Orissa Sand Complex (OSCOM) (s. auch Anhang I).

Australien

Australien war zwischen 1960 und den 1990er Jahren einer der weltweit größten Produzenten von Monazit, der fast ausschließlich aus Schwermineralsandlagerstätten (Seifen) in Western Australia (WA), New South Wales (NSW) und Queensland (QLD) stammte (HARBEN & KUŽVART 1996). In sehr geringem Umfang wurde zusätzlich Xenotim aus dem Zinnbergbau vor allem in Tasmanien gewonnen.

Der Abbau von Schwermineralseifen begann an der Ostküste (NSW, QLD). Diese wurden am Ende des 19. Jahrhunderts wegen ihres Gehaltes an Gold, Zinn und Platin abgebaut und seit den 1930er Jahren wegen Zirkon und Ilmenit/Rutil (ELSNER 1992). 1947 wurden die Schwermineral-

sande an der Ostküste u. a. auf Monazit erkundet und dieses Mineral ab Ende der 1940er Jahre aus vielen kleinen, oft wechselnden Abbaustellen gewonnen. An der Küste von New South Wales und Queensland wurden zwischen 1948 und 1980 19.080 t Monazit aus Seifenlagerstätten gewonnen. Zugenommen hat die Produktion Mitte der 1960er Jahre, in den 1970er Jahre waren es um 1.000 t jährlich (zw. 233 und 2.129 t) (MORLEY 1982).

Ab Ende der 1970er Jahre wurden in Westaustralien Schwermineralseifen in großem Umfang abgebaut. Viele der Betriebe waren relativ klein und hatten nur eine Betriebsdauer von wenigen Jahren. Von Ende der 1970er bis Anfang der 1990er Jahre produzierte Australien jährlich etwa 12.000 t Monazit und zeitweise etwa 50 t Xenotim, die größtenteils in WA anfielen (insbesondere aus Vorkommen um Eneabba). Der Monazit wurde bis Mitte der 1990er Jahre hauptsächlich nach Frankreich exportiert (JAIRETH et al. 2014). 1994 stellte Rhône-Poulenc in Frankreich die Aufbereitung jedoch ein. Die Entsorgung giftiger und radioaktiver Abfälle der Monazit-Verarbeitungsanlage wurde ein Problem. Folglich wurde die Einfuhr von Monazit gestoppt, was wiederum zur Einstellung der Gewinnung australischen Monazits im Jahr 1995 führte. Monazit wurde nun aufgehaldet oder als Bergbaurückstand in die Abbaustelle zurückgeführt. Ab 2007 wurden mit Start der Lagerstätte Mt. Weld in Australien wieder große Mengen an SE-Mineralen (hauptsächlich Bastnäsit) abgebaut und seit wenigen Jahren wurde auch wieder Monazit aus verschiedenen Seifenlagerstätten, insbesondere in WA gewonnen.

Eine Auswahl an Abbaubetrieben ist im Folgenden aufgeführt:

**Marble Bar, Cooglegong-Region,
Western Australia,
Festgesteinslagerstätte (1913, 1920)**

Aus einem Pegmatit in der Cooglegong-Region von Marble Bar wurden geringe Mengen yttriumhaltiger Erze gewonnen. Die Produktion war aufgrund geringer Gehalte und/oder Tonnen auf wenige Jahre beschränkt. 1 t Gado-

linit soll im Jahr 1913 und eine ähnliche Menge 1920 gefördert worden sein (JAIRETH et al. 2014).

**Mary Kathleen, Queensland,
Festgesteinslagerstätte (? – 1963)**

In der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts wurde in Australien eine Reihe kleinerer Festgesteinsvorkommen mit SE gefunden. Zu diesen Vorkommen gehören die Uranlagerstätten Mary Kathleen in Queensland und Radium Hill in Südaustralien (JAIRETH et al. 2014). Nach HARBEN & KUŽVART (1996) produzierten die Uranlagerstätten Mary Kathleen in Queensland eine Zeit lang Seltene Erden aus einem Erz, das sich aus 35 % Allanit, 40 % Granat und 10 % Apatit zusammensetzte.

**Byron Bay, New South Wales,
Schwermineralseife (1939 – 1975)**

Die Zircon-Rutile Ltd., ein 1934 gegründetes staatliches Unternehmen zur Gewinnung von Zirkon und Rutil aus Schwermineralseifen, hat die Lagerstätte bei Byron Bay 1936 wiedereröffnet und ab 1939 durch Erweiterung der Anlage neben Zirkon, Ilmenit/Rutil auch Monazit produziert (MORLEY 1982). 1961 hat die Associated Minerals Consolidated Ltd. Zircon-Rutile Ltd. übernommen und den Abbau bis 1975 betrieben.

**North Stradbroke Island,
Queensland, Schwermineralseife (1949 – 1994)**

Der Abbau der Schwermineralseife startete 1949 durch Titanium and Zirconium Industries Pty Ltd (TAZI), eine Tochter der Zinc Corporation Ltd. Später Abbau durch Associated Minerals Consolidated Ltd. und ab 1985 durch Consolidated Rutile Ltd. 1994 hat Consolidated Rutile Ltd. den Abbau (Abbaustelle Gordon) auf North Stradbroke Island eingestellt. Consolidated Rutile Ltd. hat die Gewinnung von Monazit in Australien aufgrund gesunkener Nachfrage und Problemen mit der Lagerung radioaktiver Materialien 1994 beendet. Schwermineralkonzentrate wurden bis 2019 gewonnen. Beispielsweise wurden von 1975 – 1988 insges. etwa 2.700 t Monazitkonzentrat produziert (JACKSON & CHRISTIANSEN 1993).

Currumbin, Queensland,**Schwermineralseife (1950er – 1970er Jahre?)**

Das Familienunternehmen Currumbin Minerals Pty Ltd. (gegründet als Pacific Minerals 1948) und Rutile Sands Pty bauten die Schwermineralseife bei Currumbin ab. Gewonnen wurde auch Monazit.

Cooloola, Queensland,**Schwermineralseife (1956 – 1975)**

Die Schwermineralseife wurde von 1956 – 1975 abgebaut und Monazit mit gewonnen. Beispielsweise wurden 1975 700 t Monazitkonzentrat produziert (JACKSON & CHRISTIANSEN 1993).

Capel, Western Australia,**Schwermineralseife (1956 – 1994?)**

Cable Sands Pty Ltd. (1989 übernommen von Nissho Iwai Corp.) und Westralian Sands Ltd. (ab 1998 Iluka Resources Ltd.) haben aus Schwermineralseifen bei Capel Monazit gewonnen. Zwischen 1956 und 1974 wurden dort 16.500 t Monazitkonzentrat produziert, 1984 waren es nur noch 500 t (JACKSON & CHRISTIANSEN 1993).

Wonnerup Beach, Western Australia,**Schwermineralseife (1959 – ?)**

Der Abbau der Schwermineralseife erfolgte durch Cable Sands Pty Ltd. (später Cristal Australia Pty Ltd., eine Tochter von The National Titanium Dioxide Company Ltd.).

Munmorah, New South Wales,**Schwermineralseife (1969 – 1977)**

Die Schwermineralseife wurde von Associated Minerals Consolidated Ltd. abgebaut und Monazit mitgewonnen.

Fraser Island, Queensland,**Schwermineralseife (1971 – 1976)**

Die Schwermineralseife wurde von Queensland Titanium Mines (QTM) abgebaut. Beispielsweise wurden 1976 geschätzt 1.000 t Monazitkonzentrat produziert (JACKSON & CHRISTIANSEN 1993).

Tomago, New South Wales,**Schwermineralseife (1972 – 1995)**

Bis 1995 wurde aus der Schwermineralseife durch Rutile & Zircon Mines Pty. Ltd. (RZM) (1989

übernommen von Nissho Iwai Corp.) Monazit gewonnen.

Yoganup, Western Australia,**Schwermineralseife (1972 – 1995)**

Westralian Sands Ltd. (heute Iluka Resources Ltd.) gewann in Yoganup aus der dortigen Schwermineralseife bis 1995 auch Monazit. Beispielsweise wurden 1988 1.800 t Monazitkonzentrat produziert (JACKSON & CHRISTIANSEN 1993).

Cooljarloo/Jurien Bay, Western Australia,**Schwermineralseife (1975 – 199?)**

Der Abbau der Schwermineralseife bei Cooljarloo/Jurien Bay nahe Cataby begann 1975 durch WMC Mineral Sands Ltd. Im Jahr 1988 wurden 2.500 t Monazitkonzentrat produziert (JACKSON & CHRISTIANSEN 1993). Später erfolgte der Abbau bei Cooljarloo u. a. durch die TiO₂ Corp. NL und Kerr-McGee Chemical Corp. Western Australia Pty. Ltd. (heute Tronox Ltd.).

Eneabba, Western Australia,**Schwermineralseife (1975 – 1995?)**

Zwischen 1975 und 2013 wurde die Schwermineralseife bei Eneabba durch die Associated Minerals Consolidated Ltd. (AMC), später Renison Goldfields Consolidated Ltd. (RGC) und ab 1998 Iluka Resources Ltd. abgebaut. Die Aufbereitung des Schwermineralsandes erfolgte im Werk Narngulu zu Monazit, Xenotim, Zirkon und Ilmenit. Eneabba war mit einer Jahreskapazität von bis zu 10.000 t Monazit einer der weltweit größten Monazitproduzenten (HARBEN & KUŽVART 1996). 1987 wurden 8.900 t Monazitkonzentrat produziert (JACKSON & CHRISTIANSEN 1993). 1995 endete in Australien die damalige Monazitgewinnung aus Seifen, Monazit galt nun als Aufbereitungsrückstand.

Waroona, North and South,**Western Australia,****Schwermineralseife (1984 – ?)**

Cable Sands Pty hat Schwermineralkonzentrate bei Waroona gewonnen und an die Anlage in Bunbury geliefert, wo auch ein Monazitkonzentrat separiert wurde (HARBEN & KUŽVART 1996).

**Stockton Bight, New South Wales,
Schwermineralseife (1985 – ?)**

Die Schwermineralseife wurde von Mineral Deposit Ltd. (BHP-Utah Minerals International) abgebaut.

**Minninup, Western Australia,
Schwermineralseife (1986 – Mitte 1990er)**

Die Schwermineralseife Minninup südlich von Bunbury wurde von Cable Sands Pty Ltd. bis Mitte der 1990er Jahre abgebaut.

**Mt. Weld, Western Australia,
Festgesteinslagerstätte (seit 2007)**

Anreicherung von SE-Mineralen (Bastnäsit, Parisit, Synchronit, Monazit) im Karbonatit und einer mächtigen Verwitterungsschicht. Der Abbau der SE-Lagerstätte Mt. Weld (35 km südöstlich von Laverton) startete 2007 durch die Lynas Rare Earths Ltd. Seit 2011 erfolgt die Aufbereitung des in Abbaukampagnen gewonnenen und aufgehaldeten Erzes vor Ort zu einem SE-Mineralkonzentrat (Kapazität 66 kt/J.) (Ø 35 – 40 % SEO). Seit 2013 findet die Aufbereitung des SE-Mineralkonzentrats zu SEO in der Lynas' Advanced Materials Plant (LAMP) in Kuantan/Malaysia statt (Gesamtkapazität: 22 kt SE-Produkte/J.) (s. Anhang I).

**Jacinth-Ambrosia, South Australia,
Schwermineralseife (seit 2009)**

Iluka Resources Ltd. gewinnt seit 2009 Schwermineralsande aus der Seifenlagerstätte Jacinth-Ambrosia in Südaustralien. Als Beiprodukt fallen geringe Mengen Monazit an.

**Cataby, Western Australia,
Schwermineralseife (seit 2019)**

Seit 2019 gewinnt Iluka Resources Ltd. aus der Schwermineralseife Cataby ein Schwermineralkonzentrat (2023: 552.000 t @ 3.300 t Monazit-/Xenotim-Inhalt), das in Narngulu/WA u. a. auf Monazit und Xenotim hin aufbereitet wird.

**Eneabba-Halde, Western Australia,
Halde (seit 2020)**

Aufbereitung der Halde aus der ehemaligen Schwermineralsandgewinnung bei Eneabba sowie den historischen radioaktiven Abgängen

des Werks Narngulu im Werk Narngulu u. a. auf Monazit und Xenotim durch Iluka Resources Ltd. In den Jahren 2020/2021 wurden rd. 100.000 t eines Schwermineral-Monazit-Konzentrats (@ 20 % Monazit) gewonnen und verkauft. Seitdem Produktion eines Monazitkonzentrats (@ 90 % Monazit) für die spätere Weiterverarbeitung zu SE im eigenen Werk (s. Anhang II).

China

In China stammt der Großteil der Produktion seit Ende der 1950er Jahre aus der Bastnäsit-Lagerstätte Bayan Obo in der Inneren Mongolei. Seit den 1960er Jahren werden zudem Seifen mit Monazit in der Provinz Guangdong im äußersten Süden des Landes abgebaut und Monazit wird gesichert seit den 1970er Jahren gewonnen. In den 1980er Jahren hat die kommerzielle Erschließung von Lagerstätten von Ionenadsorbentionen (IAT), zunächst in der Provinz Jiangxi, die SE-Produktion in China erhöht, insbesondere die der schweren SE. Während die Produktion von SE aus Bastnäsit und IAT gestiegen ist, ist die von Monazit zurückgegangen. In den 1990er und frühen 2000er Jahren entstand eine fragmentierte Industrie mit Tausenden von Bergwerken, von denen viele rücksichtslos Bergbau und illegale Produktion betrieben. Diese wurde in den letzten Jahren stark bekämpft.

**Bayan Obo, Innere Mongolei,
Festgesteinslagerstätte (seit 1957)**

Die seit 1957 im Abbau befindliche SE-Lagerstätte Bayan Obo wurde 1927 als Eisenerz-Lagerstätte entdeckt. 1959 erfolgte die erste Produktion von SE-haltigen Stahllegierungen. Gewonnen werden ein Bastnäsit-Monazit-Mischkonzentrat aus verschiedenen Fe-SE-Nb-Erzkörpern (CASTOR & HEDRICK 2006). Betrieben wird das nach Produktion weltweit größte SE-Bergwerk (chin. Produktionsquote 2024: 188.650 t SEO) durch die Baotou Iron and Steel (Group) Co., Ltd. (China Northern Rare Earth Group) (s. auch Anhang I).

Guangdong, Hainan, Hunan, Guangxi, Yunnan, Seifenlagerstätten (seit 1960er Jahre)

Entlang der Südküste Chinas, vor allem in den Provinzen Guangdong und Hainan, gibt es Seifenvorkommen mit Monazit. Des Weiteren findet man Flusseifenvorkommen in den Provinzen Hunan, Guangxi und Yunnan (ZHAO et al. 2020).

In den 1960er Jahre startete in Guangdong aus mehreren Seifenlagerstätten die Produktion (bekannte Monazitproduktion 1982: 75 t). In Guangxi startete 1966 der Abbau von Beihai (bekannte Monazitproduktion 1982: 70 t) (JACKSON & CHRISTIANSEN 1993). 1970 ging in Guangdong eine Seifenlagerstätte (Nanshanhai) zur Gewinnung von Monazit in Abbau. Von den 1980er bis 1990er Jahren wurde Monazit hauptsächlich aus den Seifenlagerstätten in Guangdong und Guangxi gewonnen, allerdings nur geringe Mengen (ZHAO et al. 2020). 2012 hat die chinesische Regierung in ihren „Rare Earth Industry Entry Conditions“ den Abbau von Monazit aus inländischen Seifenlagerstätten aufgrund dessen Radioaktivität verboten (MIIT 2012).

Noch in Betrieb befindliche Seifenlagerstätten mit Monazitproduktion finden sich in den Provinzen Guangxi und Hunan (BAI et al. 2022) (s. Anhang II).

Jiangxi, Guangdong, Guangxi, Fujian, Hunan, Yunnan,

Ionenadsorptionstone (seit 1980er Jahre)

Über Jahrzehnte die bedeutendste Quelle von schweren SE weltweit waren die Lagerstätten der Ionenadsorptionstone (bspw. Longnan, Xunwu) im Süden Chinas, vor allem in den Provinzen Jiangxi, Hunan, Guangdong, Fujian, Guangxi, Yunnan. Diese Vorkommen wurden erstmals 1970 in Ganzhou, China entdeckt (DUSHYANTHA et al. 2020). In den 1980er Jahren hat die kommerzielle Erschließung von Lagerstätten in Ionenadsorptionstone in der Provinz Jiangxi südwestlich von Shanghai begonnen. Die älteste in China entdeckte Ionenadsorptionstonlagerstätte ist Zudong, Longnan, Provinz Jiangxi der Ganzhou Rare Earth Group Co., Ltd. Nach LI et al. (2019) standen bis zum Beginn der

Umweltinspektionen im Jahr 2015 mehr als 170 dieser Lagerstätten im Süden Chinas in Abbau. Aufgrund von Umweltproblemen wurde die Produktion aus Ionenadsorptionstonlagerstätten seitdem stark zurückgefahren (s. Anhang II).

Weishanhu (Weishan Lake, Chishan, Xishan), Weishan County, Provinz Shandong, Festgesteinslagerstätte (seit 1982)

Der Abbau (untertage) startete 1982. Produziert werden verschiedene Bastnäsitkonzentrate. Lizenzinhaber ist die Shandong Weishan Lake Rare Earth Co., Ltd. (CHALCO), heute Teil der China Rare Earth Group (CREG) (s. Anhang II).

Maoniuping, Mianning County, Provinz Sichuan, Festgesteinslagerstätte (seit 1989)

Exploration seit 1985, Abbau seit 1989. Abgebaut werden Karbonatitgänge und -adern, aus denen verschiedene Bastnäsitkonzentrate produziert werden. Heutiger Lizenzinhaber ist die Sichuan Jiangxi Copper Rare Earth Co., Ltd. (Eigentümer: 51 % CREG, 39 % Sichuan Shuyu Mining Investment Co., Ltd., 10 % Mianning County Investment Development Co., Ltd.) (s. Anhang II).

Dalucao (Daluxiang), Dechang County, Provinz Sichuan, Festgesteinslagerstätte (seit 2003?)

Die Festgesteinslagerstätte (karbonatitische Brekzienerz in Schloten) wurde erst durch die Hanxin Mining abgebaut, die Abbaurechte wurden später übernommen von Leshan Shenghe Rare Earth Co., Ltd./Chinalco Sichuan Rare Earth Co., Ltd., heute Teil der China Rare Earth Group (CREG) (ROSKILL 2021) (s. Anhang II).

Muluozhai (Muluoliangzi, Mulu), Mianning County, Provinz Sichuan, Festgesteinslagerstätte (2007?)

Abgebaut werden Karbonatitgänge und ein Bastnäsitkonzentrat wird produziert. Betreiber ist die Sichuan Wankaifeng Rare Earth New Energy Technology Co., Ltd., (gehört der China Southern Rare Earth Group, die wiederum ist seit 2021 Teil der China Rare Earth Group, CREG) (s. Anhang II).

Weitere Länder

Thailand, Malaysia, Schwermineralseifen (seit ?)

In diesen beiden südostasiatischen Ländern gibt es mehrere kleine Bergbauunternehmen, die Cassiteritseifen gewinnen und aufbereiten. Das dabei anfallende Schwermineral-Restkonzentrat („amang“) wird von spezialisierten Aufbereitungsunternehmen erworben, welche daraus die einzelnen Wertminerale, darunter auch Monazit und Xenotim, separieren. Die Produktionsmengen variieren in beiden Ländern sehr stark zwischen wenigen 100 t/J. und mehreren 1.000 t/J.

Indonesien, Schwermineralseifen (seit ?)

Das Unternehmen PT Timah Tbk gewinnt in seiner Hütte in Mentok, West Bangka, Monazit als Nebenprodukt der Aufbereitung von Cassiteritseifen. Pyx Resources Ltd. gewinnt in Mandiri auf Kalimantan ein monazithaltiges Schwermineralrestkonzentrat, welches nach China exportiert wird. Auch in den zahlreichen kleineren inoffiziellen Cassiterit-Aufbereitungsanlagen auf der Insel Bangka fallen monazithaltige und damit radioaktive Schwermineralrestkonzentrate („amang“) an. Über den historischen Abbau ist wenig bekannt.

Vietnam, Schwermineralseifen (seit ?)

Schwermineralseifen finden sich entlang der gesamten Küste Vietnams, insbesondere in den Provinzen Bình Thuận und Ninh Thuận im Südosten, von Quảng Nam bis Khánh Hòa im Süden und von Thanh Hóa bis Thừa Thiên-Huế im Norden. Über den historischen Abbau ist aber wenig bekannt.

Bentota/Kudremalai, Westküste, Sri Lanka, Schwermineralseifen (1918 – 1929)

In den 1910er Jahren entdeckte der Ceylon Government Mineral Survey beachtliche Lagerstätten von Monazitsanden bei Bentota (Südprovinz-Westprovinz) und in der Nähe von Kudremalai (Nordwestprovinz) an der Westküste Sri Lankas. Produktionsbeginn war 1918 mit

20 t Monazitkonzentrat (mit fast 10 % ThO₂). Der Monazit wurde von Ilmenit und Zirkon mittels magnetischer Aufbereitung getrennt. Die letzte Angabe (77 t) stammt aus dem Jahre 1929 (KRUSCH 1938, HOUK 1943).

Gakara, Burundi, Festgesteinslagerstätte (1947 – 1978; 2017 – 2021)

Die Bastnäsit-Lagerstätte Gakara liegt im Westen Burundis, etwa 20 km südsüdöstlich von Bujumbura, und wurde bereits Anfang der 1940er und zwischen 1947 und 1978 mit Unterbrechung abgebaut (durch SOMUKI und später SOBUMINES). Zwischen 2017 und 2021 erfolgte der Abbau durch Rainbow Rare Earths Ltd. Abgebaut wurden Karbonatitgänge und -brekzien. Die SE-Mineralisierung findet sich in Adern mit außergewöhnlich hohen Gehalten von typischerweise 50 – 60 % SEO (Lagerstättenbereiche Gasagwe, Murambi und Gomvyi). Allerdings sind Form, Mächtigkeit und Verlauf der Adern schwer vorherzusagen.

Der Höhepunkt der Förderung lag im Jahr 2018 bei über 1.000 t SE-Konzentrat (@ 54 % SEO). Der Vertrieb des produzierten SE-Mineralkonzentrats übernahm die ThyssenKrupp Metallurgical Products GmbH. Die Aufbereitung zu SEO erfolgte in China. Im Juni 2021 wurde der Betrieb auf Gakara auf Ersuchen der Regierung von Burundi eingestellt.

DVR Korea/Nordkorea, Schwermineralseife (1949 – 1985?)

Monazit aus Nordkorea wurde in Deutschland weiterverarbeitet: Aufbereitung in Bitterfeld ab 1949 und Piesteritz (s. Kapitel 4.4.1). Nähere Details zum Abbau und der Historie sind nicht bekannt.

Lovozero, Murmansk, Kola-Halbinsel, Russland, Festgesteinslagerstätte (seit 1951)

Die Festgesteinslagerstätte Lovozero (Lopariterz) auf der Kola-Halbinsel wird seit 1951 zur Gewinnung von Nb und leichten SE abgebaut. Produziert wird im Werk Karnasurt ein Loparitkonzentrat (@ 32 % SEO). Betrieben wird das

Bergwerk von der OOO Lovozersky GOK (heute zu Rosatom) (früher OAO Sevredmet). Abgebaut werden mehrere Lagerstättenteile sowohl im Tagebau als auch Untertagebau. Zwischen 1970 und 1992 erfolgte die Weiterverarbeitung des Loparitkonzentrats in Sillamäe/Estland sowie Solikamsk/Russland, ab 1992 nur noch in der Magnesiumhütte von Solikamsk, von wo die SE-Verbindungen zur Weiterverarbeitung nach Estland und untergeordnet ins russische Werk Korolev (Skygrad-Gruppe) gehen. 2020 wurden etwa 8.800 t Loparitkonzentrat gewonnen (INFOMINE 2023) (s. auch Anhang I).

Steenkampskraal, Western Cape, Republik Südafrika, Festgesteinslagerstätte (1952 – 1963)

Anglo American Corp. gewann aus der Lagerstätte Steenkampskraal zwischen 1952 und 1963 aus einem Monazit-Apatit-Gang ein Monazitkonzentrat, welches exportiert wurde. Heute hält die Steenkampskraal Holdings die Abbaulizenz.

Kutessay/Aktyuz, Kemin, Kirgisistan, Festgesteinslagerstätte (1958 – 1991)

1958/1959 Abbaubeginn von SE-Erz im Tagebau aus der Festgesteinslagerstätte Kutessay II in NW-Kirgisistan (Kemin-Region, Chu Oblast). Die Aufbereitung zu SE-Produkten erfolgte zwischen 1960 und 1991 in der Kashka Rare Earth Processing Plant (KRP) in Aktyuz. 1999 übernahm die (ehemalige) kanadische Stans Energy Corp die Bergwerke und die Aufbereitungsanlage; 2009 wurde der Stans Energy die Abbaulizenz erteilt, die aber 2012 durch die kirgisische Regierung widerrufen wurde (s. Anhang II).

Pulmoddai, Sri Lanka, Schwermineralseife (seit 1963)

Das Staatsunternehmen Lanka Minerals Sands (früher Ceylon Mineral Sands Corporation) gewinnt an der Nordostküste in Pulmoddai seit 1963 Schwermineralkonzentrate, die auch Monazit enthalten. Um 100 t Monazit werden jährlich mitgewonnen. Pulmoddai ist die größte Schwerminerallagerstätte aus Strandseifen Sri Lankas und weist das höchste Seltenerdpotenzial des Landes auf (BATAPOLA et al. 2020). Der Monazit wird in Form eines unreinen Mischkonzentrats nach China exportiert.

Elliot Lake, Ontario, Kanada, Festgesteinslagerstätte (1966 – 1970)

Die Uranminen (1977 geschlossen) in der Region Elliot Lake in Ontario, Kanada, waren von 1966 bis etwa 1970 eine Hauptquelle für Yttrium (HARBEN & KUŽVART 1996).

Obaye/Nord-Kivu, Lulingu/Süd-Kivu, Saulia, Kailo, Punia/Maniema, DR Kongo, Cassiteritseifen (1969 – 1990, seit 2022)

Von 1969 – 1990 wurde Monazit durch SOMINKI in der DR Kongo mitgewonnen (Société Minière et Industrielle du Kivu). In den 1970er Jahren wurde ein Monazitkonzentrat aus monazitreichen Cassiteritseifen in Nord Kivu produziert (1972: 225 t). Weitere Lagerstätten mit Monazitproduktion von SOMINKI waren Lulingu in Süd-Kivu sowie Saulia, Kailo und Punia in Maniema (MONTI 2012).

2022 unterzeichnete das kanadische Unternehmen Auxico Resources Canada Inc. mit Central America Nickel (CAN) (bzw. mit der kongolesischen Tochtergesellschaft Kibara Minerals SARL) einen Vertrag für die exklusiven Handelsrechte von Monazitkonzentrat, die im Kleinbergbau in Obaye gewonnen wurden. 2022 wurden 794 t, 2023 1.090 t Monazitkonzentrat aus der DR Kongo nach China exportiert.

Bukit Merah, Perak, Malaysia, Cassiteritseife (1975 – 1994)

Monazit und Xenotim wurden ab 1975 aus Abgängen („amang“) der Cassiterit-Seifenlagerstätten in Bukit Merah, Perak State durch BEH Minerals Sdn. Bhd, abgetrennt. 1982 Beginn der Gewinnung von SE aus Monazit und Xenotim. 1994 Einstellung der Monazit- und Xenotim-Produktion aufgrund von Bedenken hinsichtlich der Radioaktivität (HARBEN & KUŽVART 1996).

Cheolsan, DVR Korea/Nordkorea, Festgesteinslagerstätte (1991 – 1995)

Zwischen 1991 und 1995 fand der Abbau in zwei Bergwerken statt, das Erz wurde in der Hamghung-Anlage zu ca. 350 t Monazit-Konzentrat/J. (@ 65 % SEO) weiterverarbeitet.

**Khibiny Group, Murmansk, Russland,
Festgesteinslagerstätten (2004? – 2021)**

In der Region Murmansk wird Nephelin-Apatit-Erz für die Düngemittelproduktion abgebaut. Lizenzhalter von sieben Lagerstätten sind OOO Apatit mit dem Tochterunternehmen PAO PhosAgro (sechs Lagerstätten) und OAO Akron mit dem Tochterunternehmen ZAO North-Western Phosphorous Company (eine Lagerstätte). Als Beiprodukt des Apatitabbaus bzw. der Düngemittelherstellung wurden von OAO Intermix Met (vermutlich 2004 – 2017) und OAO Akron (2014 – 2021) SE-Konzentrate und SE-Produkte gewonnen (INFOMINE 2023).

**Kachin, Myanmar,
Ionenadsorptionstone (seit 2011?)**

SE-Zwischenprodukte (SE-Mischverbindungen) werden in Myanmar in der Kachin-Region seit etwa 2011 aus Regolith- bzw. Ionenadsorptionstone-Lagerstätten gewonnen und nach China exportiert. 2011 erschien Myanmar erstmals mit unbedeutenden Importmengen von SE-Produkten (39 t) in der Zollstatistik Chinas. Bis 2015 stieg die Importmenge nur gering (392 t) an. Im Jahr 2016 waren es dann 4.551 t, im Jahr 2017 19.958 t und im Jahr 2023 wurden > 60.000 t importiert (s. auch Anhang I).

**Kasachstan,
Festgesteinslagerstätte (2012 – 2023?)**

In Kasachstan gibt es Bergbau auf Uran, bei dem in der Vergangenheit Monazit mitgewonnen wurde. Zwischen 2012 und 2023 wurden aus Rückständen der Uranerzaufbereitung in Koshkar-Ata, Mangistau Oblast (West-Kasachstan), SE produziert (s. Kapitel 4.4.1).

**Moma, Nordostküste Mosambiks, Mosambik,
Schwermineralseife (seit 2018)**

Seit 2007 erfolgt der Abbau von Schwermineralseifenlagerstätten an der Nordostküste Mosambiks, nördlich der Stadt Moma (zwischen Moma und Mognicula) durch Kenmare Moma Mining (Mauritius) Ltd., die lokale Tochtergesellschaft der irischen Kenmare Resources plc. Wertminerale sind Zirkon und Titanminerale. Seit 2018 wird ebenfalls eine monazitreiche Zirkon-Rutil-Mischung produziert („Mineral Sands Concentrate“, jährlich etwa 10.000 – 15.000 t), die

etwa 20 % Monazit enthält (pers. Mitt. im Januar 2023). Dieses Gemisch wird zur Abtrennung u. a. von Monazit und Gewinnung von Th, U und SEO seit 2019 nach China verkauft.

**Fort Dauphin, Anosy, Madagaskar,
Schwermineralseife (seit 2018)**

Seit 2008 erfolgt der Abbau der Schwermineralseifenlagerstätte bei Madena nördlich von Fort Dauphin durch QIT Madagascar Minerals (QMM) Ltd. (Inhaber: 80 % Rio Tinto plc, 20 % Staat Madagaskar). Aufbereitungsprodukte sind Ilmenit, Leukoxen, Rutil, Zirsill (Zirkon-Sillimanit-Gemisch) und ein stark monazithaltiges Zirkonkonzentrat (@ ca. 20 % Monazit), welches seit 2018 nach China exportiert wird. Die jährlichen Exportmengen liegen bei 25.000 – 35.000 t Zirkon-Monazitkonzentrat mit einem geschätzten Monazitgehalt von ca. 20 % (s. auch Anhang I).

**Yên Phú, Yên Bái Provinz, Vietnam,
Festgesteinslagerstätte (seit 2019)**

Seit 2019 Abbau der Xenotim-Magnetit-Lagerstätte Yên Phú in einem Tagebau. Lizenzinhaber ist die Thai Duong Rare Earth Joint Stock Company. Die Aufbereitung des Erzes erfolgt zu einem Magnetitkonzentrat und einem Xenotimkonzentrat (653,5 t 2021) @ 19,4 % SEO. Bis 2023 wurde das Konzentrat in Vietnam zu SEO weiterverarbeitet (s. Anhang I).

**Kenering, Perak, Malaysia,
Ionenadsorptionstone (seit 2022)**

2016 Start der Exploration der Regolith-Ionenadsorptionstone-Lagerstätte nordwestlich von Gerik, Perak State. 2022 Abbaubeginn der Ionenadsorptionstone und Produktion eines SE-Mischkarbonats (bis Ende 2023 etwa 7.000 t) durch MCRE Resources Sdn. Bhd. und Export nach China (seit 2023) (s. Anhang I).

4.3.2 Heutige Bergbauförderung

Derzeit findet eine Bergwerksförderung von Seltenerdmineralen, soweit bekannt, in 18 Ländern (nachfolgend in Reihenfolge ihrer Bedeutung) statt. Weitergehende Informationen hierzu sind Anhang I zu entnehmen.

China

a) Festgesteinslagerstätten

- Bayan Obo, Provinz Innere Mongolei (China Northern Rare Earth (Group) High-Tech Co., Ltd.): größte SE-Lagerstätte und größte SE-Förderstätte der Welt; Erzgewinnung im Wesentlichen in drei Großtagebauen @ bis zu 12 Mio. t/J.; Produktion von Bastnäsit- und Monazitkonzentraten (2023: 357.100 t @ ca. 178.650 t SEO-Inhalt)
- Maoniuping, Provinz Sichuan (China Rare Earth Group Co., Ltd., Abbau durch Sichuan Jiangxi Copper Rare Earth Co., Ltd.): Erzgewinnung in zwei (?) Großtagebauen; Produktion von Bastnäsitkonzentraten (Kapazität: 49.000 t/J. @ 30.000 t/J. SEO-Inhalt)
- Muluozhai, Provinz Sichuan (China Rare Earth Group Co., Ltd., Abbau durch Sichuan Wankaifeng Rare Earth New Energy Technology Co., Ltd.): Erzgewinnung untertage; Produktion von Bastnäsitkonzentrat (Kapazität: 30.000 t/J.)
- Dalucao, Provinz Sichuan (China Rare Earth Group Co., Ltd., Abbau durch Chinalco Sichuan Rare Earth Co., Ltd./Leshan Shenghe Rare Earth Co., Ltd. (Erzkörper #1) sowie durch China Rare Earth (Sichuan) Rare Earth Co., Ltd. (Erzkörper #3, derzeit gestundet?): Erzgewinnung untertage; Produktion von Bastnäsitkonzentrat (Kapazität 10.000 t/J., Erzkörper #1)
- Weishan, Provinz Shandong (China Rare Earth Group Co., Ltd., Abbau durch Shandong Weishan Lake Rare Earth Co., Ltd.): Erzgewinnung untertage; Produktion von Bastnäsit- (und Monazit-?) Konzentraten (Kapazität @ 5.000 t/J. SEO-Inhalt)

b) Ionenadsorptionstone

- Zhongfang, Provinz Fujian (China Rare Earth Group Co., Ltd., Abbau durch Xiamen Tungsten Co., Ltd.)
- Nantang, Provinz Fujian (China Rare Earth Group Co., Ltd., Abbau durch Xiamen Tungsten Co., Ltd.): v. a. leichte SEO
- Dabu Wufeng, Provinz Guangdong (China Rare Earth Group Co., Ltd., Abbau durch Guangdong Rare Earth Industry Group Co.,

Ltd.): Produktion im Jahr 2022: 550 t SEO-Inhalt (leichte bis schwere SEO)

- Renju, Provinz Guangdong (China Rare Earth Group Co., Ltd., Abbau durch Guangdong Rare Earth Industry Group Co., Ltd.): Produktion im Jahr 2022: 755 t SEO-Inhalt (leichte bis schwere SEO)
- Wufang, Provinz Guangdong (China Rare Earth Group Co., Ltd., Abbau durch Guangdong Rare Earth Industry Group Co., Ltd.): v. a. schwere SEO
- Xiache, Provinz Guangdong (China Rare Earth Group Co., Ltd., Abbau durch Guangdong Rare Earth Industry Group Co., Ltd.): leichte bis schwere SEO
- Xiadong, Autonomes Gebiet Guangxi (China Rare Earth Group Co., Ltd., Abbau durch?): v. a. leichte SEO
- Qinghu, Autonomes Gebiet Guangxi (China Rare Earth Group Co., Ltd., Abbau durch?): v. a. leichte SEO
- Honghuayan, Provinz Hunan (China Rare Earth Group Co., Ltd., Abbau durch?): v. a. leichte SEO
- Ganghwa, Provinz Hunan (China Rare Earth Group Co., Ltd., Abbau durch China Rare Earth Resources and Technology Co., Ltd.): Kapazität: 2.000 t/J. SEO-Inhalt (v. a. mittelschwere bis schwere SEO)
- Zudong, Provinz Jiangxi (China Rare Earth Group Co., Ltd., Abbau durch Ganzhou Rare Earth Group Co., Ltd.): v. a. schwere SEO
- Heling, Provinz Jiangxi (China Rare Earth Group Co., Ltd., Abbau durch Ganzhou Rare Earth Group Co., Ltd.): v. a. leichte SEO

c) Schwermineralseifen

- Sanlongyan, Provinz Hunan (Monazit)
- Yiachanghe, Provinz Guangxi (Monazit, Xenotim)
- Shiyu, Provinz Guangxi (Monazit, Xenotim)
- Beiliu520, Provinz Guangxi (Monazit, Xenotim, Zirkon)
- Baima, Provinz Guangxi (Monazit, Xenotim)

Die jährlich in China aus derzeit (vermutlich) 17 Bergbaustätten (s. o., ohne Seifen) geförderte Menge an SE-Erzen sowie auch die Produktionsmenge der daraus gewonnenen (und

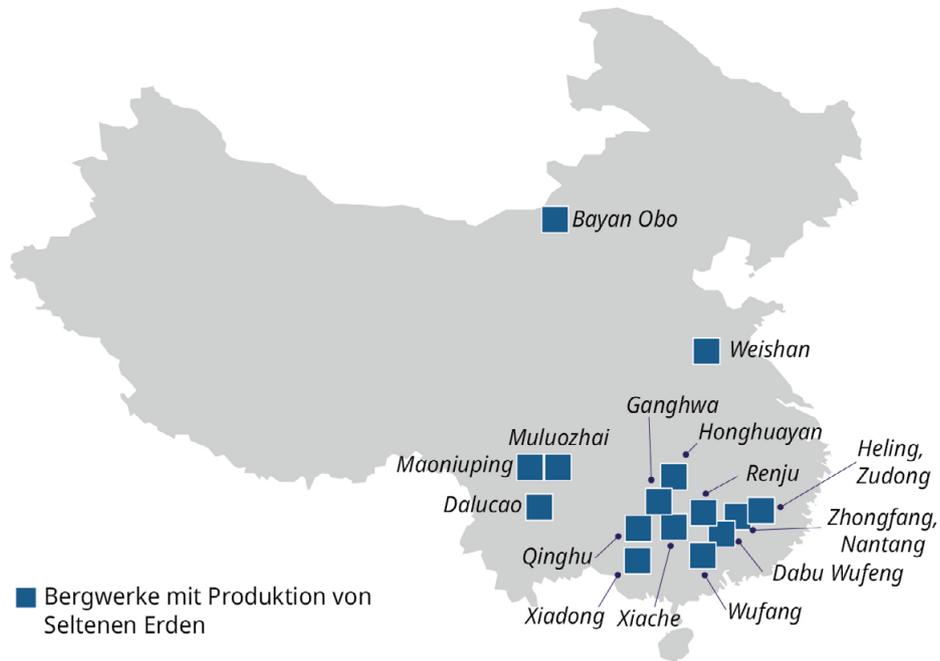


Abb. 7: Übersichtskarte der chinesischen Bergwerke mit Produktion von Seltenen Erden (ohne Monazitseifen).

vollständig im Inland weiterverarbeiteten) SE-Mineralkonzentrate ist nicht publiziert. Die vom chinesischen Ministerium für Industrie und Informationstechnologie (MIIT) der Industrie zugeteilte Quote der Bergbauproduktion lag im Jahr 2023 bei Erzen bei 255.000 t SEO-Inhalt.

Australien

a) Festgesteinslagerstätten

- Mt. Weld, Western Australia (Lynas Rare Earths Ltd.): kampagnenweise Erzgewinnung in einem Tagebau (derzeit Kapazitätserweiterung auf 1,3 Mio. t/J.); Produktion eines SE-Mineralmischkonzentrats (derzeit Kapazitätserweiterung auf 300 kt/J.); Weiterverarbeitung in Malaysia

b) Halden

- Eneabba, Western Australia (Iluka Resources Ltd.): Aufbereitung einer Halde (32 kt/J.) aus der ehemaligen Schwermineralsandgewinnung bei Eneabba sowie den historischen radioaktiven Abgängen des Werks Narngulu im Werk Narngulu u. a. auf Monazit und

Xenotim; Weiterverarbeitung in Australien in Vorbereitung

c) Schwermineralseifen

- Cataby, Western Australia (Iluka Resources Ltd.): Produktion eines Schwermineralkonzentrats (2023: 552.000 t @ 3.300 t Monazit/Xenotim-Inhalt), das in Narngulu/WA u. a. auf Monazit und Xenotim hin aufbereitet wird (s. o.)
- Jacinth-Ambrosia, South Australia (Iluka Resources Ltd.): Produktion eines Schwermineralkonzentrats (2023: 346.000 t), das in Narngulu/WA u. a. auf Monazit und Xenotim hin aufbereitet wird (s. o.)
- Coburn, Western Australia (Strandline Resources Ltd.): Produktion eines Schwermineralkonzentrats (2023: 114.141 t), das größtenteils in nicht-separierter Form nach China zur dortigen Aufbereitung und Abtrennung u. a. von Monazit/Xenotim verkauft wird

Im Jahr 2023 wurden durch Malaysia aus Australien 28.615 t SE-Mineralmischkonzentrate importiert.

USA

a) Festgesteinslagerstätten

- Mountain Pass, Kalifornien (MP Materials Corp.): Erzgewinnung in einem Tagebau; Produktion eines Bastnäsitkonzentrats (2023: @ 41.557 t SEO-Inhalt); Weiterverarbeitung (derzeit noch fast vollständig) in China

b) Schwermineralseifen

- Mission + Jesup, Georgia (The Chemours Company TT, LLC): Produktion eines Schwermineralkonzentrats, aus dem im Werk Offermann, GA u. a. ein Monazitkonzentrat separiert wird; Weiterverarbeitung in den USA

Im Jahr 2023 wurden durch China aus den USA 66.249 t Bastnäsitkonzentrat importiert.

Vietnam

a) Festgesteinslagerstätten

- Yen Phu, Yên Bái Provinz (Thai Duong Rare Earth JSC): Erzgewinnung in einem Tagebau; Produktion eines Xenotimkonzentrats (Ende 2023 zwangsweise stillgelegt); Weiterverarbeitung in Vietnam (Ende 2023 zwangsweise stillgelegt)

b) Schwermineralseifen

- Cát Thánh und Cat Hai Villages (2 x), Bình Định Provinz (Binh Dinh Minerals Company): Produktion eines Schwermineralkonzentrats, aus dem u. a. ein Monazitkonzentrat (Kapazität: 400 t/J.) separiert wird
- Hong Chinh Village, Bình Thuận Provinz (GPM Binh Thuan Ltd.): Produktion eines Schwermineralkonzentrats, aus dem u. a. ein Monazitkonzentrat (Kapazität: 300 t/J.) separiert wird
- My Thanh Village, Bình Định Provinz (Biotan Mineral Joint Stock Company): Produktion eines Schwermineralkonzentrats, aus dem u. a. ein Monazitkonzentrat (Kapazität: 2.000 t/J.) separiert wird

- Zone 6 – Thien Ai, Binh Than Provinz (Hung Thinh Titanium Slag Plant One Member Co., Ltd.): Produktion eines Schwermineralkonzentrats, aus dem in einem Werk in Hong Thang Village u. a. ein Monazitkonzentrat (Kapazität: 800 t/J.) separiert wird

Im Jahr 2023 wurden durch China aus Vietnam (offiziell) 507 t Monazitkonzentrate importiert.

Russland

Festgesteinslagerstätten

- Lovozero, Murmansk Oblast (Kola-Halbinsel) (OOO Lovozersky GOK (Rosatom)): Erzgewinnung in zwei Tagebauen und zwei Untertagebergwerken, dritter Tiefbau in Auffahrung; Produktion eines Loparitkonzentrats.

Im Jahr 2023 wurden in Russland 7.107 t Loparitkonzentrat aus Lovozero weiterverarbeitet.

Brasilien

a) Ionenadsorptionstone

- Pela Ema, Goiás (Serra Verde Pesquisa e Mineração Ltda.): Regolithabbau in sehr flachen Tagebauen (Ø 1,1 Mio. t/J.); vor Ort Produktion eines SE-Mischkarbonats (leichte bis schwere SEO) (Ø 30.000 t/J. @ Ø 7.200 t SEO-Inhalt), Weiterverarbeitung in China

b) Halden

- Buena, Rio de Janeiro (Indústrias Nucleares do Brasil S.A.): Aufbereitung einer Halde der ehemaligen Schwermineralsandgewinnung/-aufbereitung bei Buena in der Gemeinde São Francisco de Itabapoana/RJ zu einem verkaufsfähigen Schwermineralkonzentrat (2022: 79.000 t @ 4 % Monazit); Weiterverarbeitung in China

Im Jahr 2023 wurden durch China aus Brasilien 37.079 t Schwermineralkonzentrate (@ 4 % Monazit) sowie 381 kg SE-Mischkarbonate importiert.

Indien

Schwermineralseifen

- Chavara, Kerala (IREL (India) Ltd.): Produktion von Schwermineralkonzentraten, aus denen im Werk Chavara u. a. ein Monazitkonzentrat (Kapazität: 4.500 t/J.) separiert wird
- Chavara, Kerala (Kerala Minerals and Metals Ltd.): Produktion eines Schwermineralkonzentrats, aus dem im Werk Sankarmangalam u. a. ein Monazitkonzentrat (Kapazität: 240 t/J.) separiert wird
- Chhatrapur, Odisha (IREL (India) Ltd.): Produktion von Schwermineralkonzentraten, aus denen im Werk OSCOM u. a. ein Monazitkonzentrat (Kapazität: 4.000 t/J.) separiert wird
- Manavalakurichi, Tamil Nadu (IREL (India) Ltd.): Produktion von Schwermineralkonzentraten, aus dem im Werk Manavalakurichi u. a. ein Monazitkonzentrat (Kapazität: 6.000 t/J.) separiert wird

Im Jahr 2020 wurden in Indien 6.975 t Monazitkonzentrate (zur geplanten Weiterverarbeitung im Inland) produziert. Aktuellere Daten liegen noch nicht vor.

Malaysia

a) Cassiteritseifen

- verschiedene (Firmen und Kleinbergbau-betriebe): Produktion von Cassiteritkonzentraten und Amang, wobei aus letzterem in Spezialbetrieben u. a. Monazit- und Xenotimkonzentrate separiert werden; Weiterverarbeitung in China

b) Ionenadsorptionstone

- Kenering, Perak State (MCRE Resources Sdn. Bhd.): In-situ-Laugung von Regolithen; vor Ort Produktion eines SE-Mischkarbonats (leichte bis schwere SEO); Weiterverarbeitung in China
- Sik, Kedah State; Lipis, Pahang State, Pengkalan Hulu, Perak State; Kuala Kangsar, Perak State; Meranti, Negri Sembilan State; Jelebu, Negri Sembilan State (illegale Betriebe): In-situ-Laugung von Regolithen; vor Ort Produktion von SE-Mischkarbonaten; Weiterverarbeitung in China

Im Jahr 2023 wurden durch China aus Malaysia 165 t Monazit- und Xenotimkonzentrate sowie 8.423 t SE-Mischkarbonate importiert.

Laos

Ionenadsorptionstone

- vier in den Provinzen Xieng Khouang und Houaphanh (BSL Sengsawang Sole & Kuang Jirvin Industry and Trade Co. Ltd.; LMD & Tang Lizeng Industry Development Co., Ltd.; Phadeng Huanghueng & Beijing Platinum World Technology; China Investment Mining (Laos) Sole Co., Ltd): In-situ-Laugung von Regolithen; vor Ort Produktion von SE-Mischkarbonaten (leichte bis schwere SEO); Weiterverarbeitung in China

Im Jahr 2023 wurden durch China aus Laos 5.675 t SE-Mischkarbonate importiert.

Myanmar

Ionenadsorptionstone

- 500 – 600 in Kachin Staat (Kleinbergbau-betriebe): In-situ-Laugung von Regolithen; vor Ort Produktion von SE-Mischoxiden und SE-Verbindungen (v. a. mittelschwere und schwere SEO); Weiterverarbeitung in China

Im Jahr 2023 wurden durch China aus Myanmar 41.678 t SE-Mischoxide sowie 30.396 t SE-Verbindungen importiert.

Madagaskar

Schwermineralseifen

- Fort Dauphin, Anosy (QIT Madagascar Minerals (QMM) Ltd.): Produktion u. a. eines monazitreichen Schwermineralkonzentrats (@ ca. 20 % Monazit) (2021: 26.080 t)

Im Jahr 2023 wurden durch China aus Madagaskar 26.400 t Monazitkonzentrat importiert.

Mozambik

Schwermineralseifen

- Moma (Kenmare Resources plc.): Produktion eines Schwermineralkonzentrats, aus dem vor Ort u. a. ein monazitführendes Zirkonkonzentrat und ein monazitreiches Schwermineralkonzentrat (Summe 2023: 45.700 t) separiert werden; Weiterverarbeitung in China

Im Jahr 2023 wurden durch Kenmare Resources plc. zusammen 47.000 t monazitführendes Zirkonkonzentrat und monazitreiches Schwermineralkonzentrat (@ 18 % Monazit) aus Mosambik nach China exportiert.

Demokratische Republik Kongo

Cassiteritseifen

- Obaye, Provinz Nord-Kivu (Kibara Minerals SARL): Aufbereitung von monazitreichen Cassiteritseifen, aus denen vor Ort u. a. ein Monazitkonzentrat separiert wird; Weiterverarbeitung in China

Im Jahr 2023 wurden durch China aus der Demokratischen Republik Kongo 1.090 t Monazitkonzentrat importiert.

Sri Lanka

Schwermineralseifen

- Pulmoddai (Lanka Mineral Sands Ltd.): Produktion eines Schwermineralkonzentrats, aus dem vor Ort u. a. ein Monazitkonzentrat separiert wird

Im Jahr 2023 wurden durch China aus Sri Lanka 500 t Monazitkonzentrat importiert.

Nigeria

Schwermineralseifen

- verschiedene (Kleinbergbaukooperativen): Produktion von Schwermineralkonzentra-

ten, aus denen vor Ort u. a. Monazitkonzentrate separiert werden

Im Jahr 2023 wurden durch China aus Nigeria 11.897 t Monazitkonzentrat sowie 26.655 t monazitführende Zirkonkonzentrate (@ 3 % Monazit) importiert.

Thailand

Cassiteritseifen

- verschiedene (Kleinbergbaubetriebe): Produktion von Cassiteritkonzentraten und Amang, wobei aus letzterem durch die Firma Ratanarungsawat Co. Ltd. in einem Werk in Amphur Kapong, Phang-nga Provinz u. a. Monazit- und Xenotimkonzentrate (Ø 100 t/J.) separiert werden

Im Jahr 2023 wurden durch China aus Thailand 6.126 t Monazit- und Xenotimkonzentrate importiert. Davon stammte ein Großteil jedoch aus dem Werk Prachuab Khirikhan des Unternehmens Sakorn Minerals Ltd., in dem ausschließlich importierte Schwermineralekonzentrate separiert werden.

Indonesien

a) Cassiteritseifen

- Bangka Belitung (PT Timah Tbk): Produktion von Cassiteritkonzentraten und Amang, wobei aus letzterem u. a. Monazitkonzentrat separiert wird; bisher keine Weiterverarbeitung

b) Cassiterit- und Goldseifen

- Bangka Belitung, Kalimantan u. a. (Kleinbergbaubetriebe): Produktion von Cassiterit- oder Goldkonzentraten und Amang, wobei aus letzterem u. a. Monazitkonzentrate separiert werden; Weiterverarbeitung in China

Im Jahr 2023 wurden durch China aus Indonesien 824 t Monazitkonzentrat importiert.

Spanien**Kiessande**

- Salvaterra do Miño, Galizien (Áridos Do Mendo, S.L.): Produktion von Sand und Kies sowie beibrechend Schwermineralkonzentrat, aus denen u. a. ein Monazitkonzentrat separiert wird; keine Weiterverarbeitung

Kasachstan**Rückstände der Uranerzaufbereitung**

- Koshkar-Ata, Mangistau Oblast (West-Kasachstan): Aufbereitung von Rückständen der Uranerzaufbereitung, 2023 Produktion eingestellt
- Stepnogorsk, Akmola Oblast (Nord-Kasachstan): (Plan zur) Aufbereitung von Rückständen der Uranerzaufbereitung

Im Jahr 2023 wurden durch China aus Kasachstan 1.226 t SE-Verbindungen importiert.

Tab. 14: Übersicht der weltweiten Bergwerksförderung (in t) von Seltenen Erden im Zeitraum 2020 – 2023. IAT = (aus) Ionenadsorptionstonen, HMC = Schwermineralkonzentrat, n. v. = nicht verfügbar.

Land	Produkt	2020	2021	2022	2023
China	SEO-Inhalt ¹⁾	140.000	168.000	210.000	255.000
Australien	SE-Mineralkonzentrat ²⁾	23.409	26.762	34.172	28.615
	Monazitkonzentrat ³⁾	8.880	11.540	0	0
USA	Bastnäsitkonzentrat ⁴⁾	71.407	75.521	76.751	66.249
	Monazitkonzentrat ⁵⁾	2.500	2.500	2.500	2.000
Vietnam	Xenotimkonzentrat	n. v.	653	n. v.	n. v.
	Monazitkonzentrat ⁶⁾	1.152	725	6.351	507
Russland	Loparitkonzentrat ⁷⁾	9.530	7.747	8.000	7.107
	SEO-Inhalt (Apatit/Uran) ⁸⁾	130	110	200	0
Burundi	SE-Mineralkonzentrat ⁹⁾	363	641	0	0
Brasilien	SE-Mischkarbonat (IAT)	0	0	0	< 1
	Monazitkonzentrat/Inhalt	708	n. v.	3.160	n. v.
Indien	Monazitkonzentrat	6.975	n. v.	n. v.	n. v.
Malaysia	Monazit-/Xenotimkonz. ¹⁰⁾	21	23	77	165
	SE-Mischkarbonat (IAT) ¹¹⁾	1.365	1.808	535	8.423
Laos	SE-Mischkarbonat (IAT) ¹¹⁾	0	0	0	5.675
	Monazitkonzentrat ¹¹⁾	0	0	0	22
Myanmar	SE-Oxide (IAT) ¹¹⁾	17.488	19.459	11.425	41.629
	SE-Verbindungen (IAT) ¹¹⁾	11.802	14.987	12.210	30.444
	SE-Mischkarbonat (IAT) ¹¹⁾	6.225	224	116	0
Madagaskar	„Monazitkonzentrat“ ¹²⁾	28.527	26.080	24.970	26.400
Mosambik	Monazit in HMC ¹³⁾	1.900	2.500	2.400	2.500

Land	Produkt	2020	2021	2022	2023
DR Kongo	Monazitkonzentrat ¹¹⁾	0	0	794	1.090
Sri Lanka	Monazitkonzentrat ¹¹⁾	18	0	0	500
Nigeria	Monazitkonzentrat ¹¹⁾	209	587	2.334	11.879
	Mo in Zirkonkonzentrat ¹⁴⁾	100	160	250	800
Thailand	Monazit-/Xenotimkonz.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.
Indonesien	Monazitkonzentrat ¹¹⁾	0	0	753	824
Spanien	Monazitkonzentrat	< 1	< 1	< 1	< 1
Kasachstan ¹⁵⁾	SE-Verbindungen ¹¹⁾	127	537	740	1.226
	SE-Mischkarbonat ¹¹⁾	< 1	43	0	0
	SE-Oxide ¹¹⁾	34	48	0	0

¹⁾ Bergbauförderquote

²⁾ im jeweiligen Jahr durch Malaysia aus Australien importiertes SE-Mineralkonzentrat (@ 35 – 40 % SEO-Inhalt)

³⁾ Produktion von Monazitkonzentrat (@ 20 % Monazit) durch Iluka Resources Ltd.

⁴⁾ Import von Bastnäsitkonzentrat durch China aus den USA

(2020: 38.503 t SEO-Inhalt, 2021: 42.413 t SEO-Inhalt, 2022: 42.499 t SEO-Inhalt, 2023: 41.557 t SEO-Inhalt)

⁵⁾ Schätzung

⁶⁾ Import durch China von Monazitkonzentrat aus Vietnam

⁷⁾ Verarbeitungsmenge von Loparitzkonzentrat (@ Ø 32,4 % SEO-Inhalt) durch OAO Solikamsk

(2020: 2.663 t SEO-Inhalt, 2021: 2.276 t SEO-Inhalt, 2022: geschätzt 2.160 t SEO-Inhalt, 2023: 2.411 t SE-Produkte = ca. 2.060 t SEO-Inhalt)

⁸⁾ geschätzter SEO-Inhalt der Produkte von OAO Apatit und OAO Intermix-Met (aus der Düngemittelproduktion aus Apatiterzen)

⁹⁾ Produktion von SE-Mineralkonzentrat (@ 54 % SEO) durch Rainbow Rare Earths Ltd.

¹⁰⁾ Import von Monazit-/Xenotimkonzentraten durch China aus Malaysia

¹¹⁾ Importe durch China

¹²⁾ 2020 + 2021: Produktion von „Monazitkonzentrat“ (@ ca. 20 % Monazit-Inhalt), 2022 + 2023: Importe von „Monazitkonzentrat“ durch China aus Madagaskar

¹³⁾ ungefähre Inhalt an Monazit in den von Kenmare Resources Ltd. produzierten monazitreichen Schwermineralkonzentraten (@ 18 % Monazit-Inhalt)

¹⁴⁾ ungefähre Monazitinhalt der durch China aus Nigeria importierten Zirkonkonzentrate (@ 3 % Monazit)

¹⁵⁾ bis 2023 Produktion aus Rückständen der Uranerzaufbereitung in Koshkar-Ata, Mangistau Oblast (West-Kasachstan), Vorräte aufgebraucht

Tab. 15: Übersicht der weltweiten Bergwerksförderung von Seltenen Erden (umgerechnet und gerundet in t SEO-Inhalt) im Zeitraum 2020 – 2023 (s. Tab. 14), IAT = (aus) Ionenadsorptionstonen, HMC = Schwermineralkonzentrat, n. v. = nicht verfügbar, in kursiv = Schätzung

Land	Produkt	t SEO			
		2020	2021	2022	2023
China	SEO-Inhalt	140.000	168.000	210.000	255.000
Australien	SE-Mineralkonzentrat	9.400	10.700	13.700	11.500
	Monazitkonzentrat	5.200	6.700	0	0
USA	Bastnäsitkonzentrat	38.500	42.400	42.500	41.600
	Monazitkonzentrat	1.300	1.300	1.300	1.100
Vietnam	Xenotimkonzentrat	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>
	Monazitkonzentrat	600	400	3.300	300

Land	Produkt	t SEO			
		2020	2021	2022	2023
Russland	Loparitkonzentrat	2.700	2.300	2.300	2.100
	SEO-Inhalt (Apatit/Uran)	100	100	200	0
Burundi	SE-Mineralkonzentrat	200	300	0	0
Brasilien	SE-Mischkarbonat (IAT)	0	0	0	0
	Monazitkonzentrat/Inhalt	400	400	1.800	1.500
Indien	Monazitkonzentrat	3.600	3.600	3.600	3.600
Malaysia	Monazit-/Xenotimkonzent.	0	0	100	100
	SE-Mischkarbonat (IAT)	600	800	200	3.800
Laos	SE-Mischkarbonat (IAT)	0	0	0	2.500
	Monazitkonzentrat	0	0	0	0
Myanmar	SE-Oxide (IAT)	14.000	15.600	9.100	33.300
	SE-Verbindungen (IAT)	5.300	6.700	5.500	13.700
	SE-Mischkarbonat (IAT)	2.800	100	100	0
Madagaskar	„Monazitkonzentrat“	3.300	3.000	2.900	3.000
Mosambik	Monazit in HMC	1.100	1.500	1.400	1.400
DR Kongo	Monazitkonzentrat	0	0	400	600
Sri Lanka	Monazitkonzentrat	0	0	0	300
Nigeria	Monazitkonzentrat	100	300	1.200	6.200
	Mo in Zirkonkonzentrat	100	100	100	500
Thailand	Monazit-/Xenotimkonzent.	0	0	0	0
Indonesien	Monazitkonzentrat	0	0	800	800
Spanien	Monazitkonzentrat	0	0	0	0
Kasachstan	SE-Verbindungen	100	300	300	600
	SE-Mischkarbonat	0	0	0	0
	SE-Oxide	0	0	0	0
Welt*		229.500	264.700	300.900	383.600

* Ohne Monazitinhalte von Schwermineral- und Zirkonkonzentraten, die durch China zur weiteren Aufbereitung/Separation aus Australien und mehreren asiatischen und afrikanischen Ländern importiert werden.

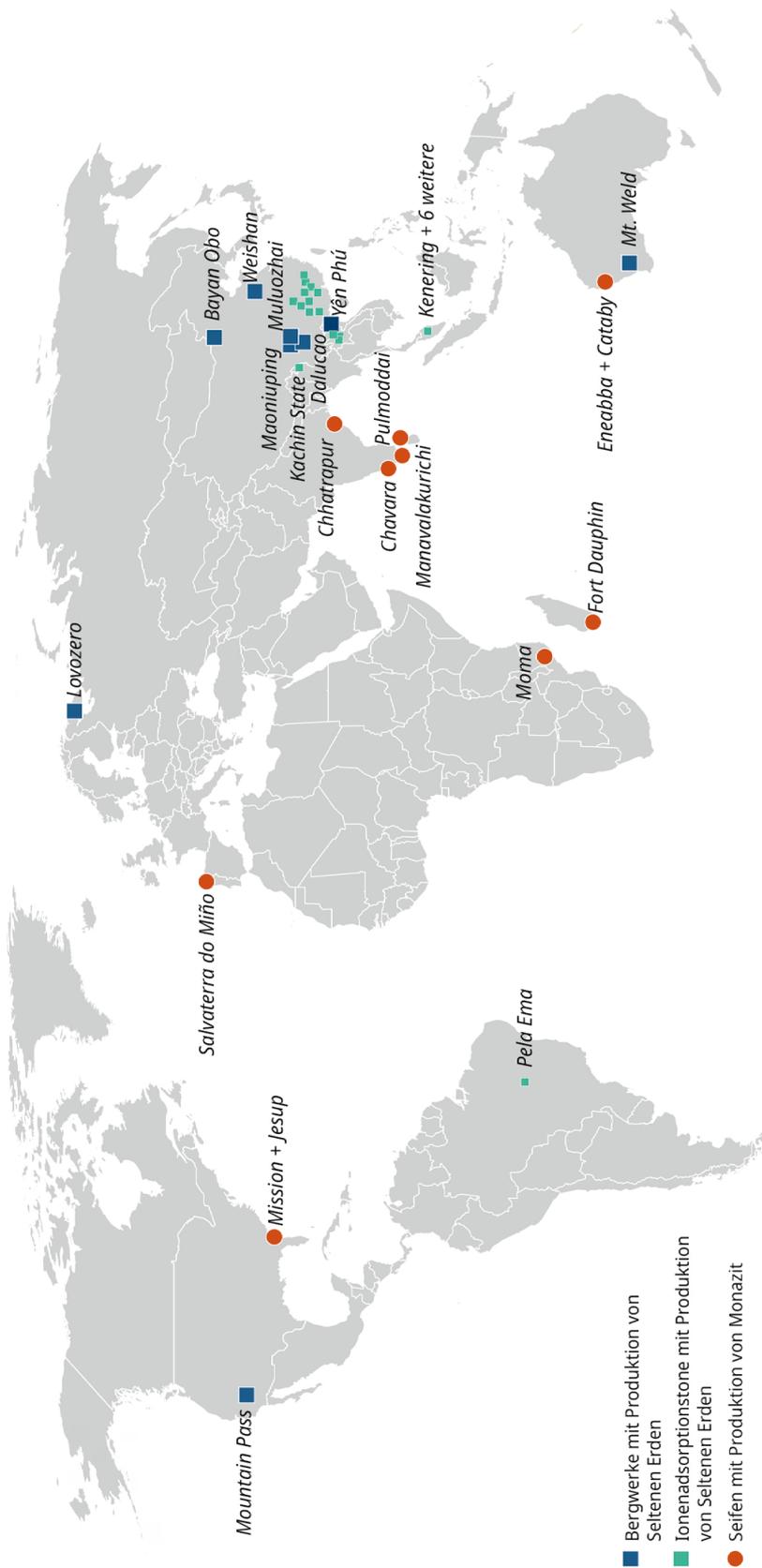


Abb. 8: Übersichtskarte der weltweiten Bergwerke mit Produktion von Seltenen Erden (für Detailkarte China s. Abb. 7).

4.3.3 Projekte

Weltweit wurde nach der Preisexplosion von Seltenen Erden im Zeitraum 2010–2012 eine Vielzahl von SE-Vorkommen exploriert und zum Teil auch näher erkundet.

Dr. Gareth Hatch, Gründer des TMR Advanced Rare-Earth Projects Index (www.techmetalsresearch.net), zählte bis zur letzten Aktualisierung seiner Daten im November 2015 weltweit insgesamt rund 440 Projekte, davon 59 mit ausgewiesenen Ressourcen, verteilt auf 53 fortgeschrittene Projekte durch 49 Unternehmen in 16 Ländern.

ZHOU et al. (2017) kamen auf 178 Projekte und Vorkommen von Seltenen Erden, davon 59 mit Wirtschaftlichkeitsstudien oder in Produktion.

FRIEDRICHS (2017) erfasste für seine Datenbank 1.190 Vorkommen und Lagerstätten von Seltenen Erden, darunter ca. 250 Lagerstätten mit Informationen zu Gehalten und Tonnagen und davon wiederum 79 Lagerstätten, zu denen auch die relative SEO-Verteilung bekannt war.

KALVIG (2022) ging einige Jahre später von 136 fortgeschrittenen SE-Projekten und 130 weiteren SE-Projekten aus, die sich noch in verschiedenen Stadien der Exploration befanden.

LIU et al. (2023) wiederum zählten 146 fortgeschrittene SE-Projekte, verteilt auf 124 Lagerstätten inkl. 17 produzierenden Bergwerken.

Eine umfangreiche Internetrecherche im Rahmen dieser Studie ergab, dass derzeit weltweit zu 379 Festgesteinslagerstätten (inkl. Regolithen) zzgl. 88 monazitführenden Seifen, inkl. 27 Lagerstätten in Produktion, Vorratsdaten zu den enthaltenen Mengen an SE-Mineralen bzw. ihrem SEO-Inhalt publiziert sind. Die Ressourcen der SE-Lagerstätte Gakara in Burundi sind nicht publiziert. Die Anzahl der Ionenadsorp-

tionstonlagerstätten in Myanmar und ihre Ressourcen sind ebenfalls nicht bekannt. Tabelle 16 enthält die darauf aufbauenden Daten zur derzeitigen weltweiten Verteilung der SE-Vorräte, getrennt nach Ressourcen und Reserven. Bei diesen Vorratsdaten ist zu berücksichtigen, dass sie untereinander nicht vergleichbar sind, da sie nach unterschiedlichen Bewertungssystemen (JORC Code, NI 43-101 Standard, russische/chinesische/indische Klassifikationen u. a. m.) entstanden sind. Zudem beinhalten sie Ressourcen völlig unterschiedlicher Zuverlässigkeitsgrade („measured/indicated/inferred“, „B/C1/C2“).

Nur von 144 der 379 Festgesteinslagerstätten (inkl. Regolithen) und 43 der 88 monazitführenden Seifen sind auch ihre absoluten Gehalte an SE-Mineralen bzw. ihre SEO-Inhalte publiziert (vgl. Abbildungen 9 und 10).

Von 88 der 379 Festgesteinslagerstätten (inkl. Regolithen) und zwölf der 88 monazitführenden Seifen liegen zudem Daten zur relativen SEO-Verteilung in ihrer SE-Mineralisation vor.

Wie aus Abbildungen 9 und 10 ersichtlich wird, sind Bayan Obo/China, gefolgt von Olympic Dam/Australien, Ryongpo/Nordkorea, den Bayan Obo Tailings/China und Kvanefjeld/Grönland mit jeweils > 10 Mio. t SEO-Inhalt die weltgrößten SE-Lagerstätten, wovon aber nur Bayan Obo in Abbau steht. Das Tomtor-Polymetallvorkommen/Russland ist mit vermuteten Ressourcen von 154 Mio. t SEO-Inhalt rund 3,5-mal so groß wie Bayan Obo, doch liegen bisher nur zum Teilfeld Tomtor-Buranny gesicherte Vorratsdaten vor.

Die bereits genannte Teillagerstätte Tomtor-Buranny gehört mit der Lagerstätte Steenkampskraal/Südafrika, gefolgt von Pea Ridge/USA und South Nam Xe/Vietnam zu den SE-Lagerstätten, die mit jeweils > 10 % SEO-Gehalt die weltweit höchsten SEO-Gehalte im Erz führen.

Tab. 16: Verteilung der weltweiten Vorräte, getrennt nach Ressourcen und Reserven, von Seltenen Erden (in kt SEO-Inhalt und prozentualer Anteil an den weltweiten Gesamt-vorräten) in Festgesteinslagerstätten (inkl. Regolithen) und monazitführenden Seifen.

Konti- nent	Land	Lager- stätten	Seifen	Ressourcen	Reserven	Anteil (%) an den	
		mit Vorratsdaten		kt SEO		Ressourcen	Reserven
	Kanada	19		19.089	329	3,88 %	0,71 %
	USA	8	2	12.132	1.995	2,70 %	4,33 %
Nordamerika		27	2	31.221	2.324	6,58 %	5,05 %
	Argentinien	1		118	0	0,02 %	0,00 %
	Brasilien	16	10	14.909	569	3,03 %	1,24 %
	Chile	1		63	0	0,01 %	0,00 %
Südamerika		18	10	15.090	569	3,07 %	1,24 %
	Norwegen	1		8.743	0	1,78 %	0,00 %
	Schweden	3		2.079	0	0,42 %	0,00 %
	Finnland	2		47	0	0,01 %	0,00 %
	Deutschland	1		20	0	0,00 %	0,00 %
	Frankreich		1	1	0	0,00 %	0,00 %
	Portugal	1		11	0	0,00 %	0,00 %
	Grönland	5		16.996	0	3,45 %	0,00 %
Europa		13	1	27.897	1.544	5,67 %	3,35 %
	Kenia	1		6.137	0	1,25 %	0,00 %
	Malawi	2		6.082	0	1,24 %	0,00 %
	Namibia	4		5.224	0	1,06 %	0,00 %
	Südafrika	4		1.617	910	0,33 %	1,98 %
	Tansania	2		4.696	887	0,95 %	1,93 %
	Marokko	3		10.576	0	2,15 %	0,00 %
	Gabun	2		2.000	0	0,41 %	0,00 %
	Uganda	2		1.070	146	0,22 %	0,32 %
	Madagaskar	1	2	2.006	766	0,41 %	1,66 %
	Saudi-Arabien	1		508	0	0,10 %	0,00 %
	Sambia	1		255	0	0,05 %	0,00 %
	Mosambik	2		352	0	0,07 %	0,00 %
	Burundi	1		n. v.		n. v.	n. v.
	DRC		1	590		0,12 %	0,00 %
	Angola	1		4.476	767	0,91 %	1,67 %
Afrika		27	3	44.999	3.476	9,26 %	7,55 %

Kontinent	Land	Lagerstätten	Seifen	Ressourcen	Reserven	Anteil (%) an den	
		mit Vorratsdaten		kt SEO		Ressourcen	Reserven
Australien		22	26	52.279	4.297	10,62 %	9,34 %
	Afghanistan	1		1.113	0	0,23 %	0,00 %
	Kirgistan	1		43	0	0,01 %	0,00 %
	Kasachstan	2		224	0	0,05 %	0,00 %
	Mongolei	4		1.748	0	0,36 %	0,00 %
	Türkei	1	1	2.524	0	0,51 %	0,00 %
	Laos	1		600	25	0,12 %	0,05 %
	Malaysia	1		33		0,01 %	0,00 %
	Vietnam	11		4.884	527	1,00 %	1,14 %
	Myanmar	n. v.		n. v.		n. v.	n. v.
	Indien	1		8.701	0	1,77 %	0,00 %
	DVR Korea	2		16.900	0	3,43 %	0,00 %
	Russland	11	1	170.255	1.701	34,60 %	3,70 %
	China	236	44	111.870	31.570	22,73 %	68,58 %
Asien		272	46	318.895	33.823	64,80 %	73,48 %
Welt		379	88	490.381	46.033	100,00 %	100,00 %

n. v. = nicht verfügbar

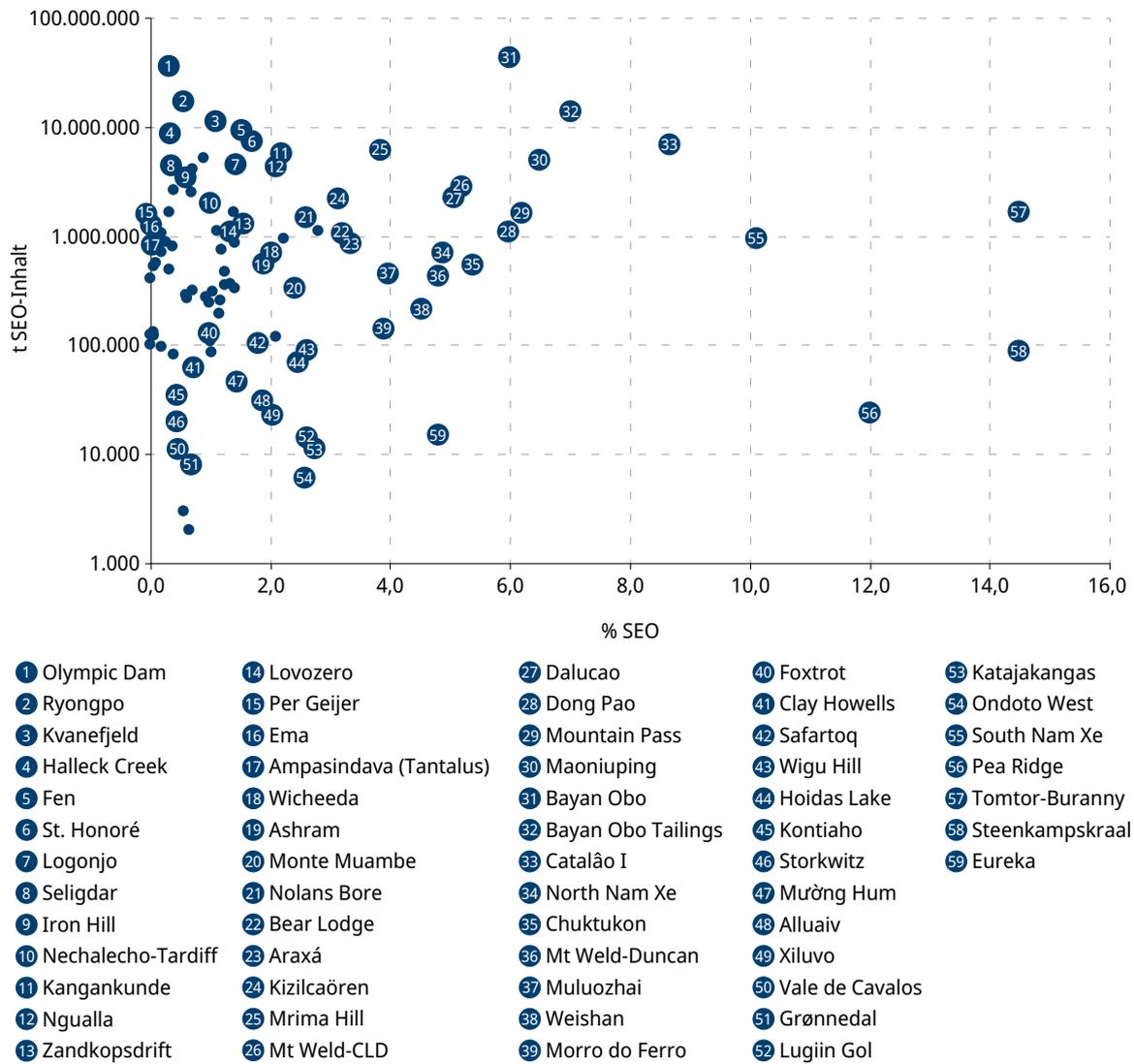


Abb. 9: Inhalte (in t SEO, logarithmisch) im Vergleich zu absoluten Gehalten (in % SEO) von Seltenen Erden in Festgesteinslagerstätten mit Dominanz von leichten Seltenen Erden.

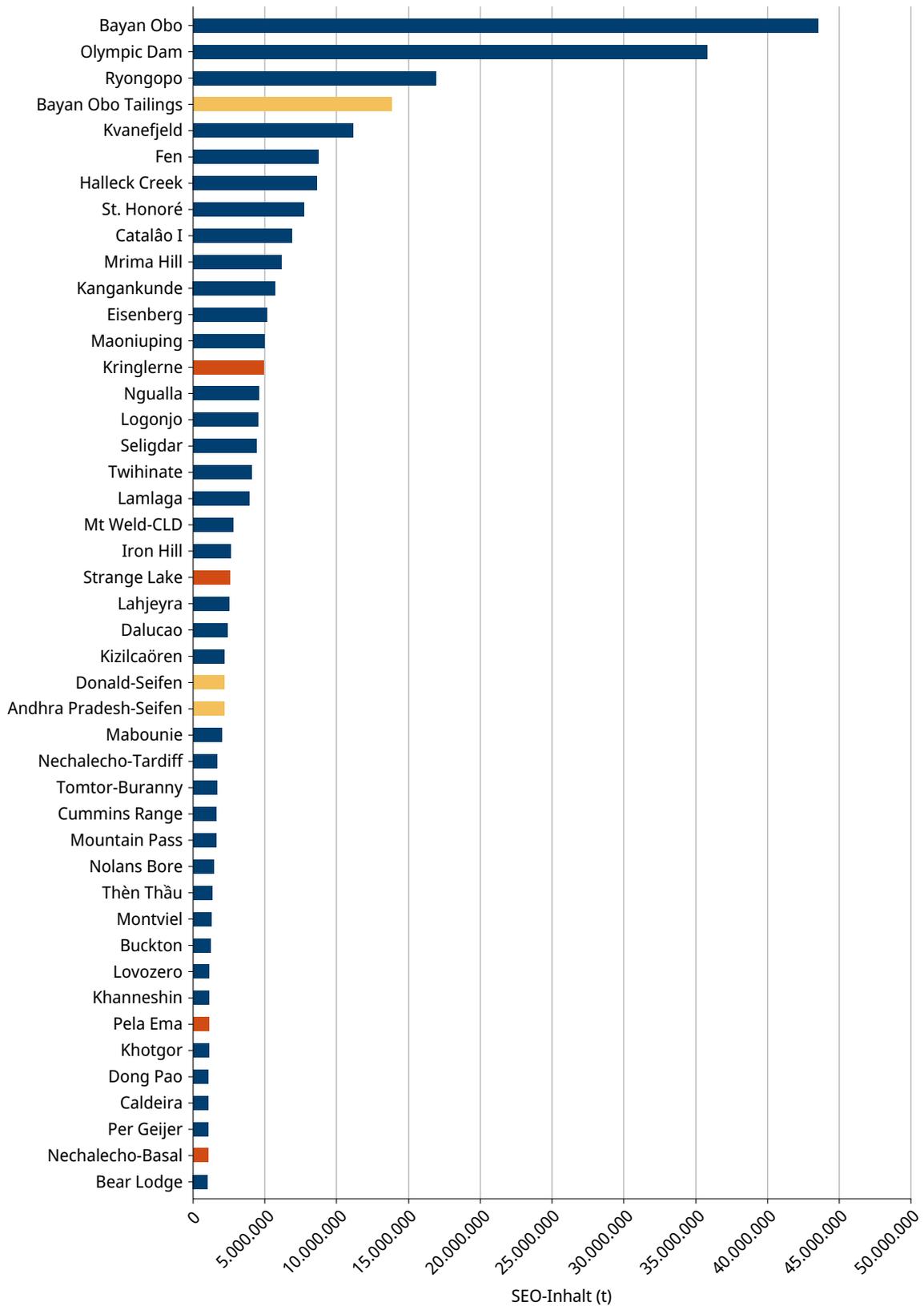


Abb. 10: Weltweite SE-Lagerstätten mit Ressourcen > 1 Mio. t SEO-Inhalt (n = 46). In Blau Festgesteinslagerstätten, in Gelb Seifen, Schlammteiche und Halden, in Rot Lagerstätten mit Dominanz (> 25 % relativer Anteil) von mittelschweren/schweren Seltene Erden.

Von weltweit 15 Festgesteinslagerstätten mit Dominanz von mittelschweren/schweren Seltenen Erden (> 25 % relativer Anteil) sind sowohl die absoluten Inhalte als auch die relativen Gehalte an Seltenen Erden publiziert (s. Abbildung 11). Danach stellt Kringlerne/Grönland mit

4,9 Mio. t SEO-Inhalt die mit Abstand weltgrößte Lagerstätte mit Dominanz von mittelschweren/schweren Seltenen Erden dar. Diese Tatsache ändert sich nicht, wenn man Ionenadsorptions-tonlagerstätten und Halden mit in die Auswertung einbezieht (s. Abbildung 12).

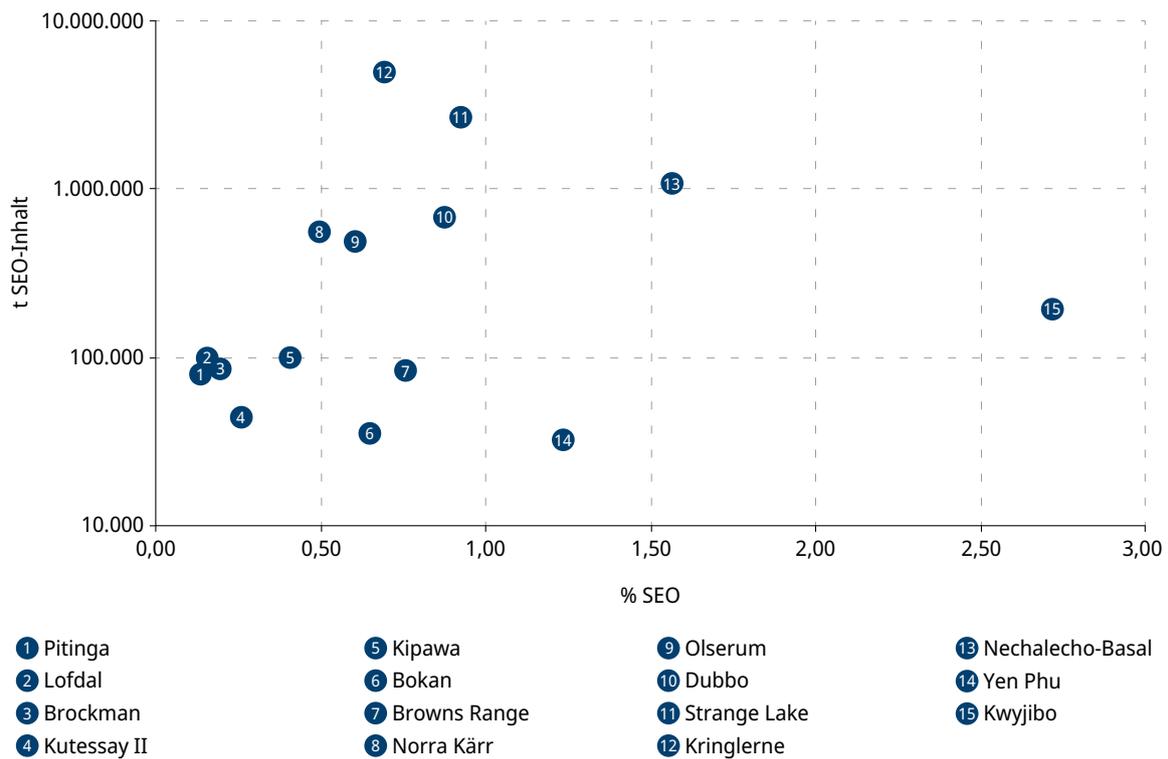


Abb. 11: Inhalte (in t SEO, logarithmisch) im Vergleich zu absoluten Gehalten (in % SEO) von Seltenen Erden in Festgesteinslagerstätten mit Dominanz von mittelschweren/schweren Seltenen Erden.

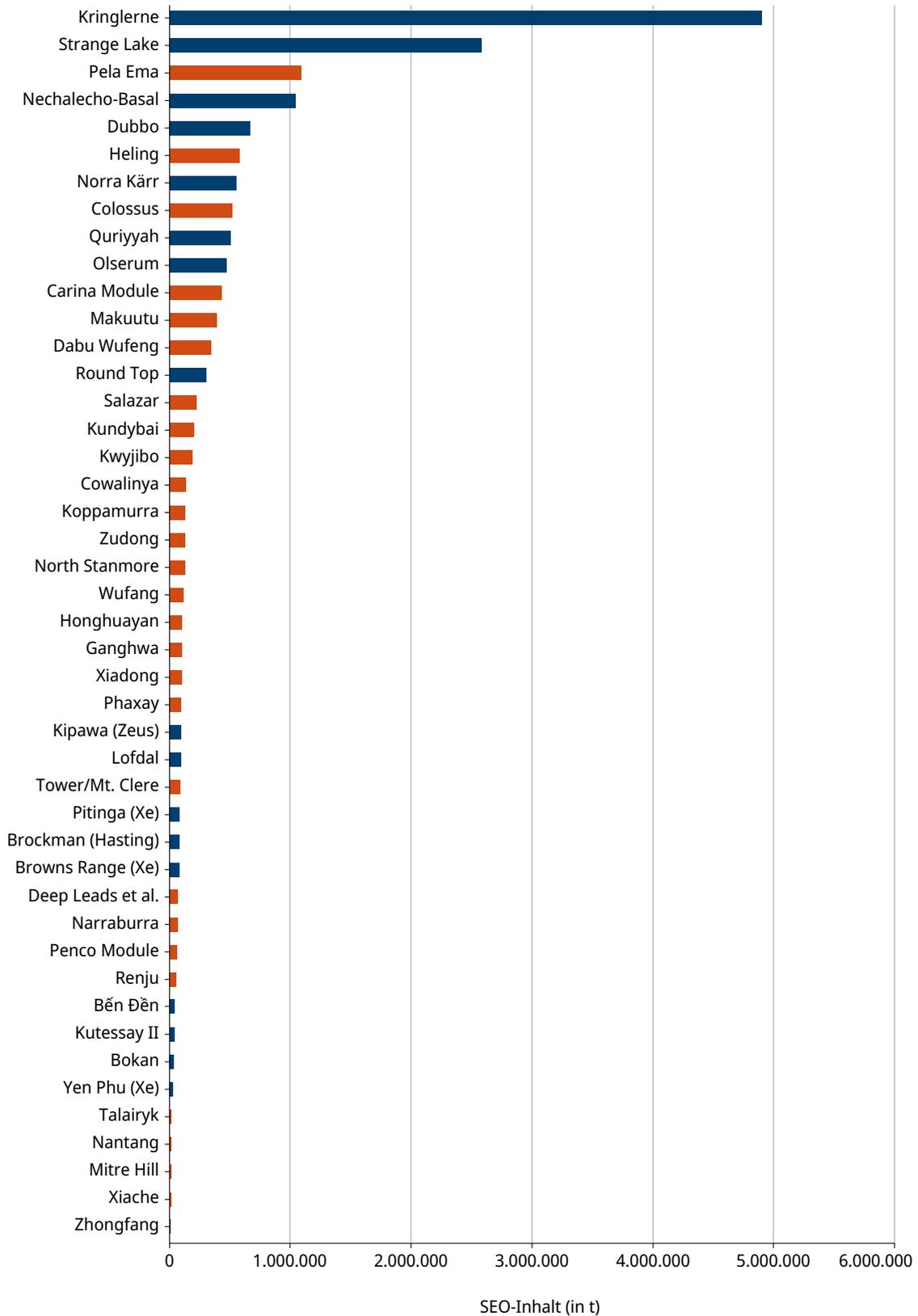


Abb. 12: Absolute Inhalte (in t SEO) der weltweiten SE-Lagerstätten mit Dominanz (> 25 % relativer Anteil) von mittelschweren/schweren Seltenen Erden. In Blau Festgesteinslagerstätten, in Rot Ionenadsorptionstone.

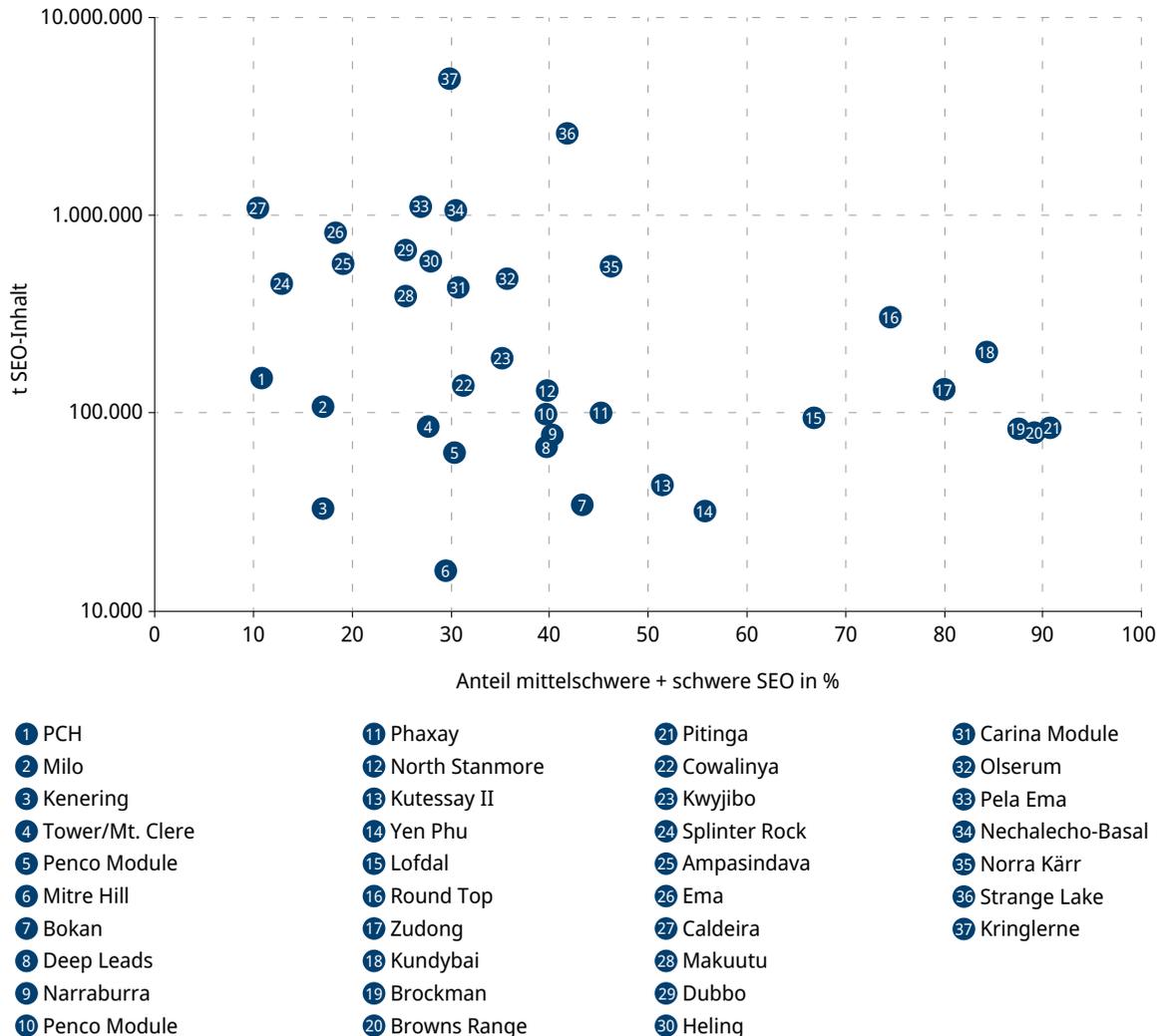


Abb. 13: Inhalte (in t SEO) im Vergleich zu den relativen Gehalten (in %) von mittelschweren/schweren Seltenen Erden in Lagerstätten, die mit einer Dominanz von mittelschweren/schweren Seltenen Erden in Verbindung gebracht werden.

Wie Abbildung 13 zeigt, enthalten von den bekannten weltweiten SE-Projekten bzw. Vorkommen mit vermeintlicher Dominanz von mittelschweren/schweren Seltenen Erden verschiedene Ionenadsorptionstonvorkommen keineswegs besonders hohe relative Anteile an mittelschweren und schweren Seltenen Erden.

In Südchina sind nur rund 10 % aller Ionenadsorptionstonlagerstätten durch eine Dominanz von mittelschweren/schweren Seltenen Erden geprägt. Als diesbezüglich bedeutendste Lagerstätte gilt Zudong in der Provinz Jiangxi. Betrachtet man die Ionenadsorptionstonprojekte

im Rest der Welt (Abbildung 14), kann in dieser Hinsicht nur Kundybai/Kasachstan mithalten.

Andererseits enthalten die Ionenadsorptionstonvorkommen außerhalb Südchinas zum Teil wesentlich höhere absolute Inhalte an SEO (Abbildung 15). Diesbezüglich zählen die brasilianischen Vorkommen Pela Ema (seit 2023 in Abbau) und Caldeira (in Entwicklung) zu den bedeutendsten Lagerstätten dieser Art und übertreffen, soweit bekannt, die vergleichbaren südchinesischen Lagerstätten an SEO-Inhalten um ein Vielfaches.

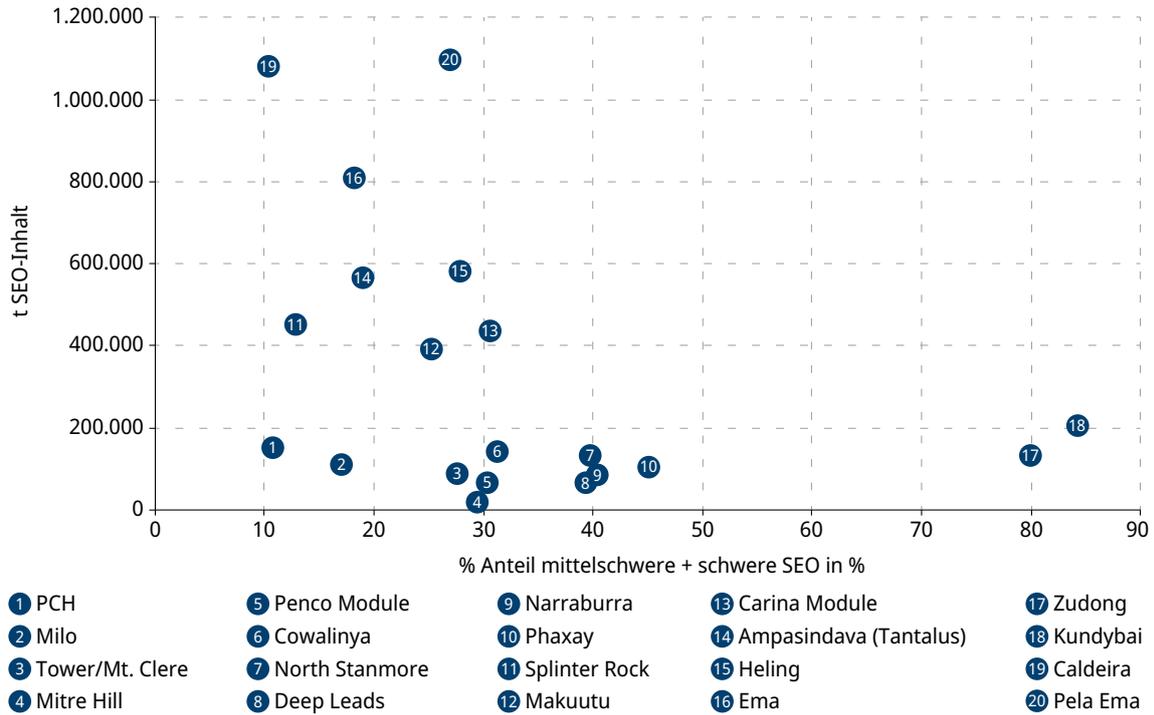


Abb. 14: Inhalte (in t SEO) im Vergleich zu den relativen Gehalten (in %) von mittelschweren/schweren Seltenen Erden in Ionenadsorptionstonlagerstätten.

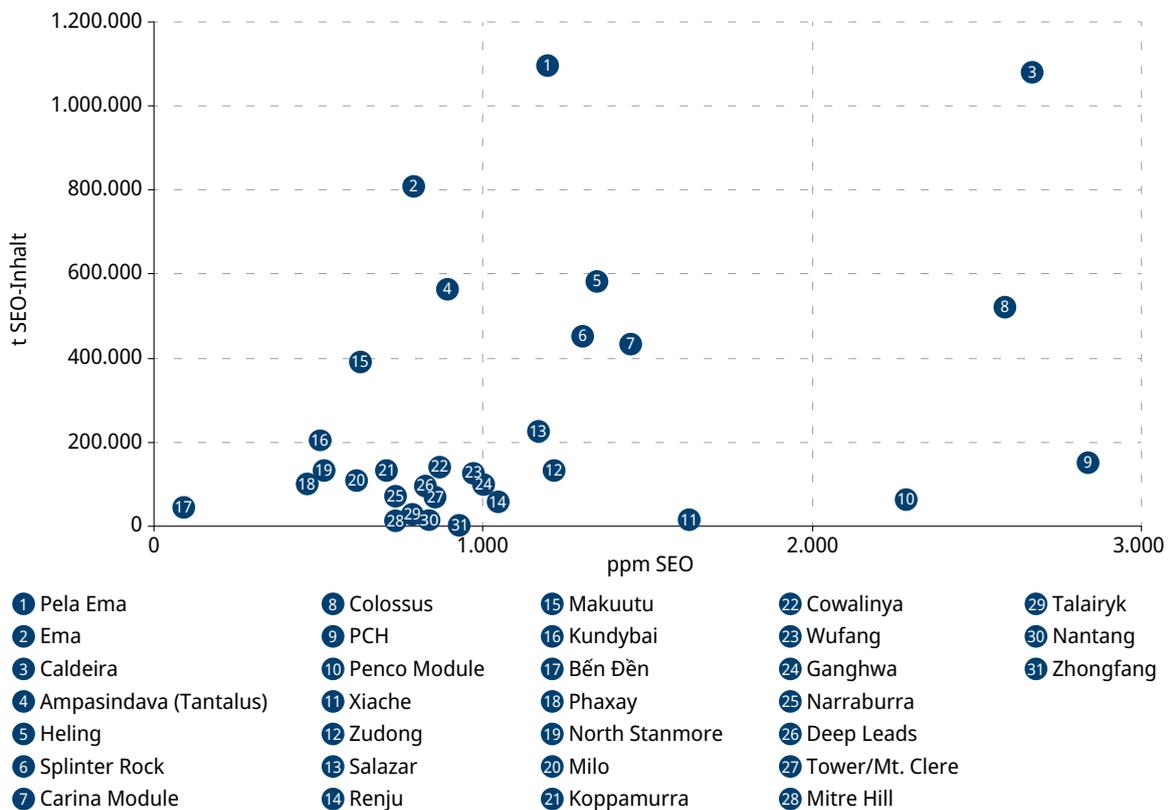


Abb. 15: Inhalte (in t SEO) im Vergleich zu den absoluten Gehalten (in ppm SEO) von Seltenen Erden in Ionenadsorptionstonlagerstätten.

Von besonderem wirtschaftlichem Interesse ist die Identifikation und die Entwicklung von SE-Vorkommen mit hohen absoluten Inhalten von mittelschweren und schweren Seltenen Erden. Wie Abbildung 16 zeigt, führt hier erneut Kringlerne/Grönland die Rangfolge der entsprechenden weltgrößten Vorkommen an. Mit Inhalten > 1 Mio. t mittelschweren und schweren SEO folgen Kvanefjeld/Grönland (keine Abbaugenehmigung durch die grönländische Regierung abgelehnt), Olympic Dam/Australien (keine Gewinnung von SEO geplant), Strange Lake/Kanada (in Entwicklung) und Halleck Creek/USA (Entwicklung geplant, unrealistischer cut-off grade für die Bewertung angesetzt).

Bayan Obo, als weltgrößte SE-Lagerstätte, folgt trotz sehr geringer relativer Gehalte an mittelschweren/schweren SEO allein aufgrund seiner immensen Gesamtgröße. Trotz der relativ geringen Gehalte von nur 2,1 % mittelschweren/schweren SEO lohnt sich damit auch in Bayan Obo die Abtrennung dieser selteneren SEO.

Das Karbonatitvorkommen Mrima Hill/Kenia an achter Rangfolge ist aufgrund seines sehr frühen Projektstadiums wesentlich weniger interessant als das an siebter Rangfolge, jedoch nur unwesentlich größere Vorkommen Pela Ema/Brasilien. Pela Ema stellt vermutlich die weltweit größte bisher identifizierte Ionenadsorptionstonlagerstätte in Bezug auf ihren absoluten Inhalt an mittelschweren/schweren SEO dar und steht seit Ende 2023 in Produktion.

Wie bereits erwähnt, sollte bei der Bewertung von SE-Lagerstätten mit Dominanz mittelschwerer/schwerer SEO wesentlich mehr darauf geachtet werden, um welche Seltenen Erden es sich genau handelt. Vor allem Yttrium ist weltweit stark verbreitet und stellt daher kein besonders hochpreisiges schweres SE-Element dar. Abbildung 17 zeigt diesbezüglich die relativen Gehalte an mittelschweren/schweren SEO in verschiedenen Lagerstätten mit und ohne Y_2O_3 . Besonders auffällig ist der hohe Gehalt an mittelschweren/schweren SEO in allen Xenotim-Lagerstätten, wobei in ihnen jedoch ebenfalls Yttrium dominiert.

Betrachtet man nur die Lockergesteinslagerstätten von Seltenen Erden (Seifen, Halden) (s. Abbildung 18), wird das große Potenzial ersichtlich, dass in diesen sehr leicht gewinn- und aufbereitbaren Lagerstätten liegt. Meist beinhalten sie zudem neben Monazit und Xenotim noch weitere, im Volumen jedoch wesentlich wertvollere Schwerminerale, so dass die Gewinnung von Monazit und Xenotim beibehaltend und somit quasi kostenfrei erfolgen kann. Mit sehr wenigen Ausnahmen haben sich die SE-verarbeitenden Unternehmen IREL (India) Ltd./Indien, Energy Fuels Inc./USA, Shenghe Resources Holding Co., Ltd./China und Iluka Resources Ltd./Australien den Zugang zu diesen Seifen und Halden gesichert und planen deren Nutzung bzw. sind damit bereits tätig.

Von 65 Lagerstätten (inkl. Regolithen und Seifen) weltweit liegen Informationen zu ihrer Radioaktivität vor (s. Abbildung 19). Während Ionenadsorptionstone meist nur sehr geringe Gehalte an Uran und Thorium führen, überschreiten rund die Hälfte aller bekannten SE-Vorkommen mit publizierten Gehalten den „Grenzwert“ von 500 ppm U+Th (s. Kapitel 4.2.1). Hochradioaktiv sind alle Seifen bzw. die in ihnen enthaltenen SE-Minerale Monazit und Xenotim sowie vor allem die Monazitlagerstätte Steenkampskraal/Südafrika.

Ähnlich wie bei den Angaben der Unternehmen zu SEO-Gehalten und SEO-Verteilungen, die nur auf Einzelanalysen beruhen, sind Angaben zu den Gehalten an Uran und Thorium im Erz (so sie denn überhaupt publiziert werden) wenig aussagekräftig, wenn es sich nicht um qualifizierte Reihenanalysen handelt.

Zu beachten ist zudem, dass auch beim Abbau bzw. bei der Aufbereitung von SE-Erzen mit niedrigen oder sogar sehr niedrigen Gehalten an Uran und Thorium aufgrund der sehr großen Abbaumengen und langen Abbaueiträume immer bedeutende Mengen an radioaktiven Abfallstoffen anfallen, die es entweder sehr kostenintensiv zu entsorgen oder wirtschaftlich zu nutzen gilt.

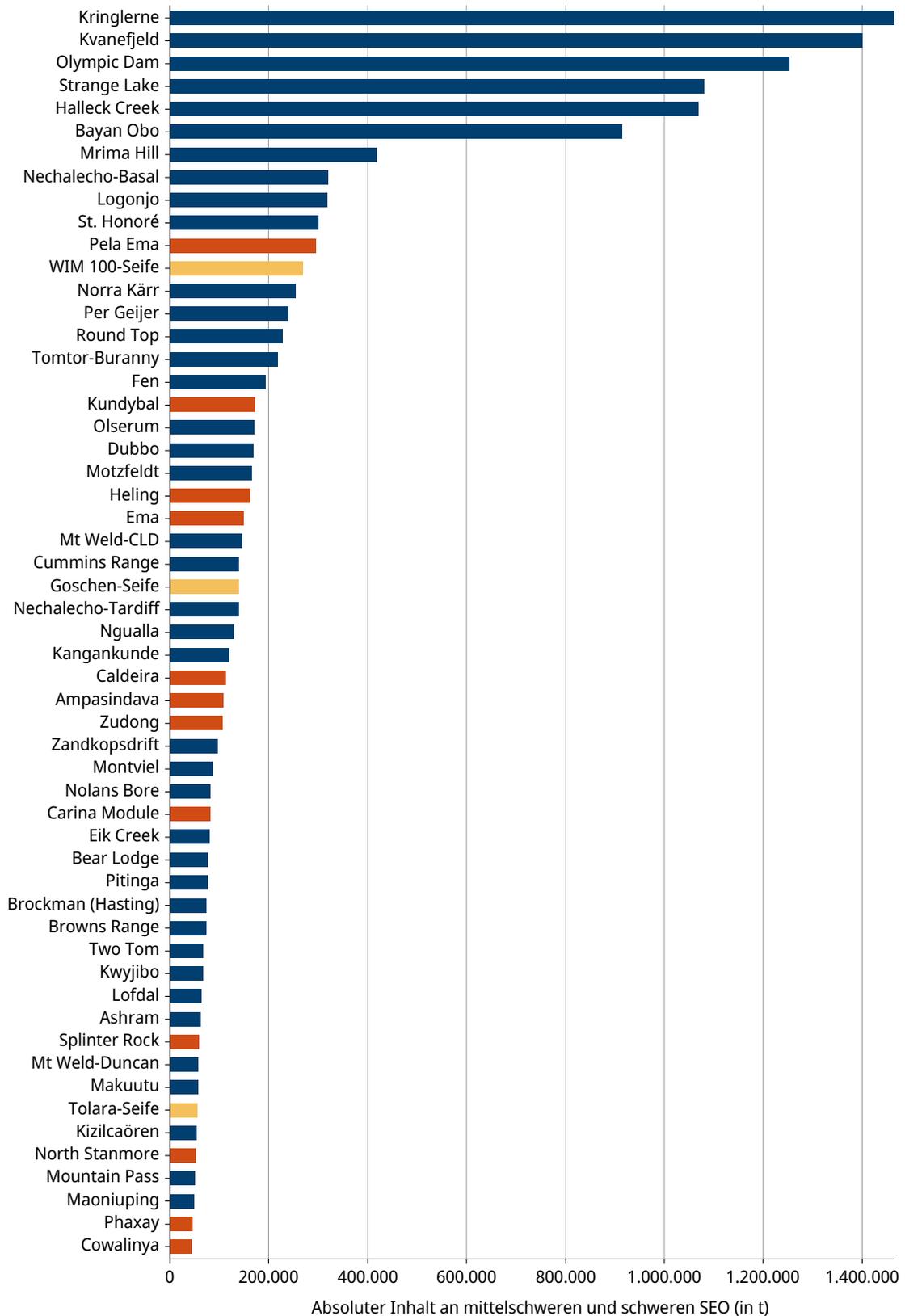


Abb. 16: Übersicht der weltweit bedeutendsten SE-Lagerstätten in Bezug auf ihre Ressourcen an mittelschweren und schweren Seltenen Erden (in t SEO-Inhalt). In Blau Festgesteinslagerstätten, in Gelb Seifen, in Rot Ionenadsorptionstone.

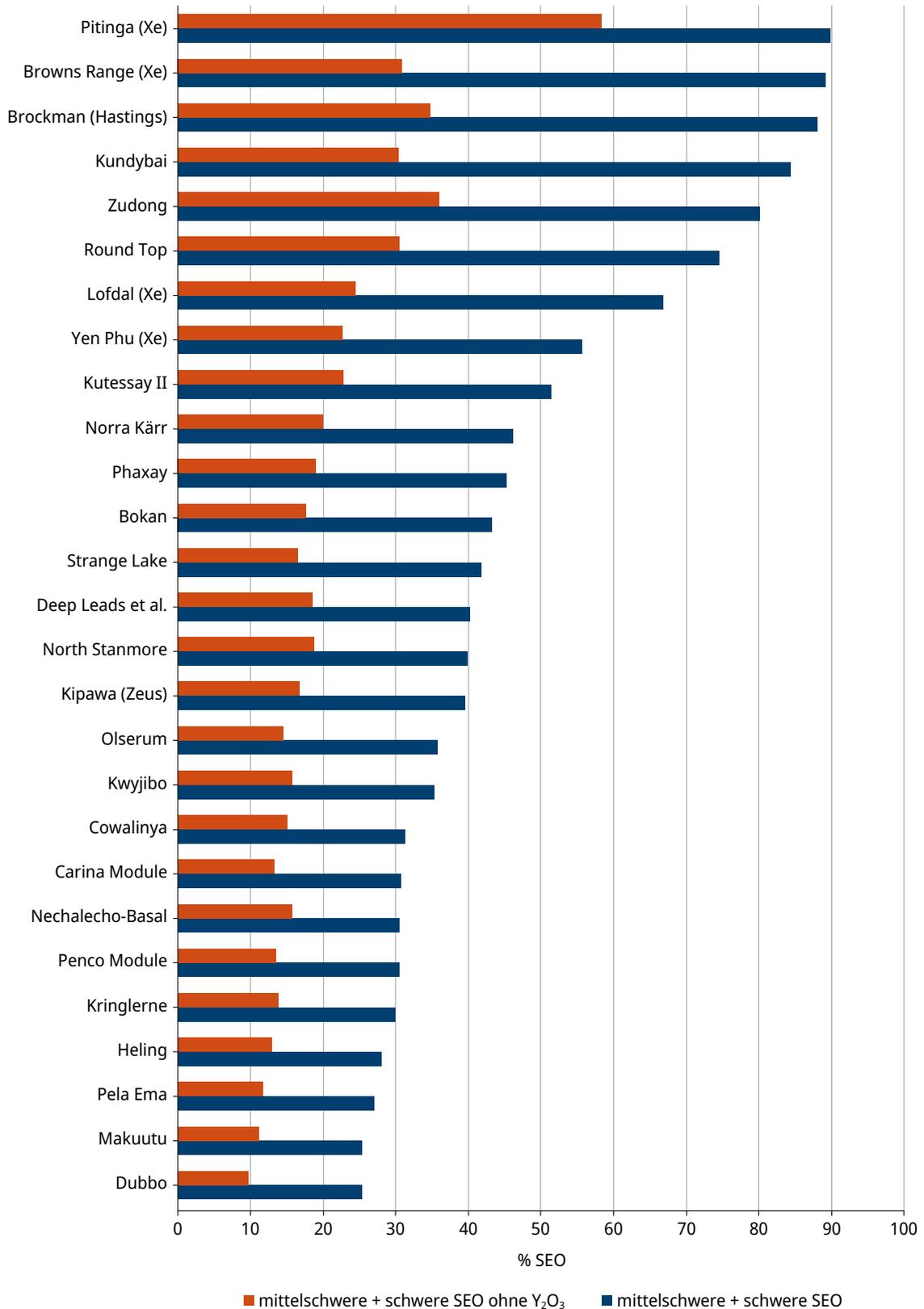


Abb. 17: Relative Gehalte (in %) von mittelschweren und schweren SEO sowie im Vergleich dazu mittelschweren und schweren SEO abzgl. Yttriumoxid (Y₂O₃) in bekannten SE-Lagerstätten, in denen mittelschwere/schwere Seltene Erden dominieren (> 25 %).

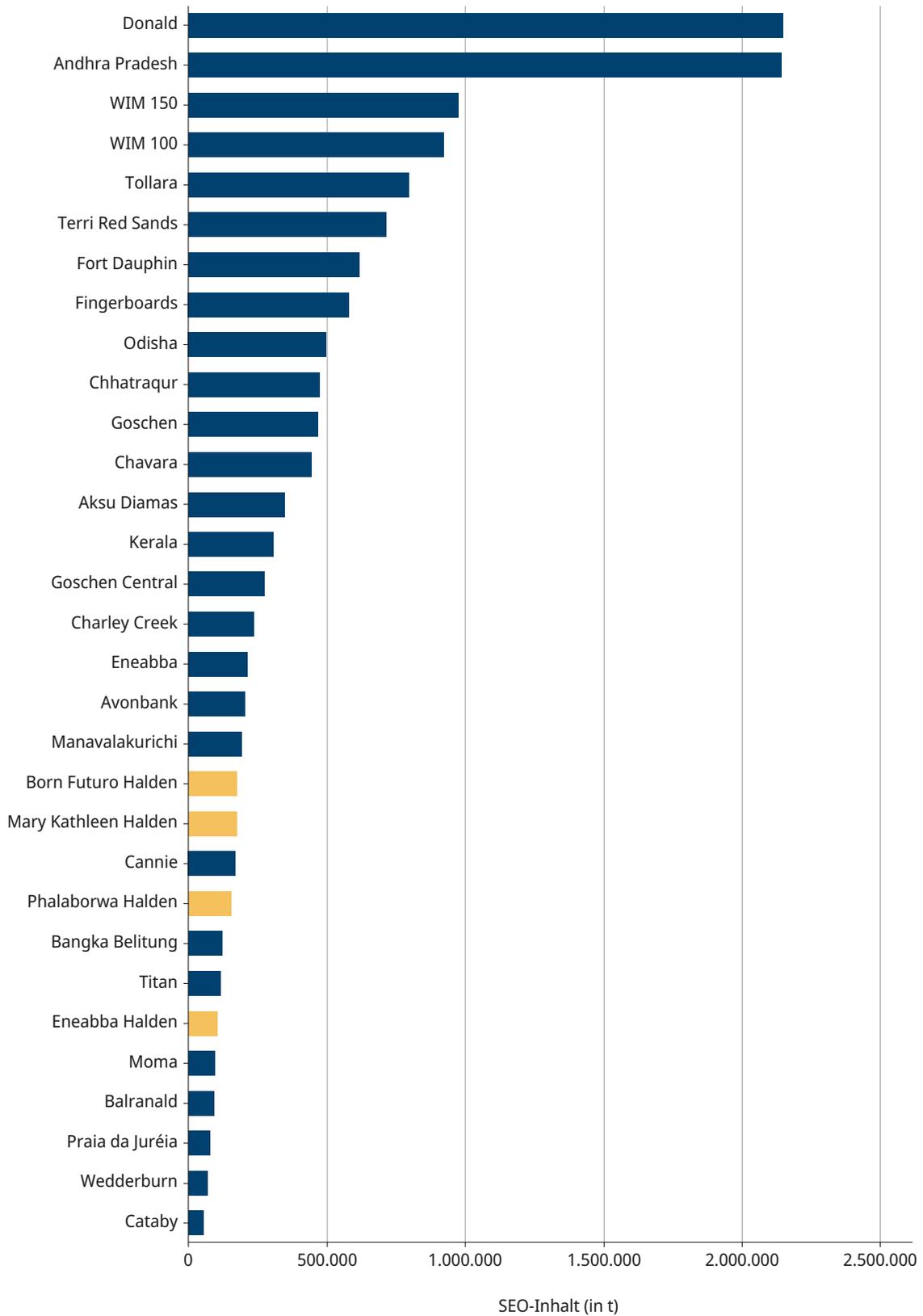
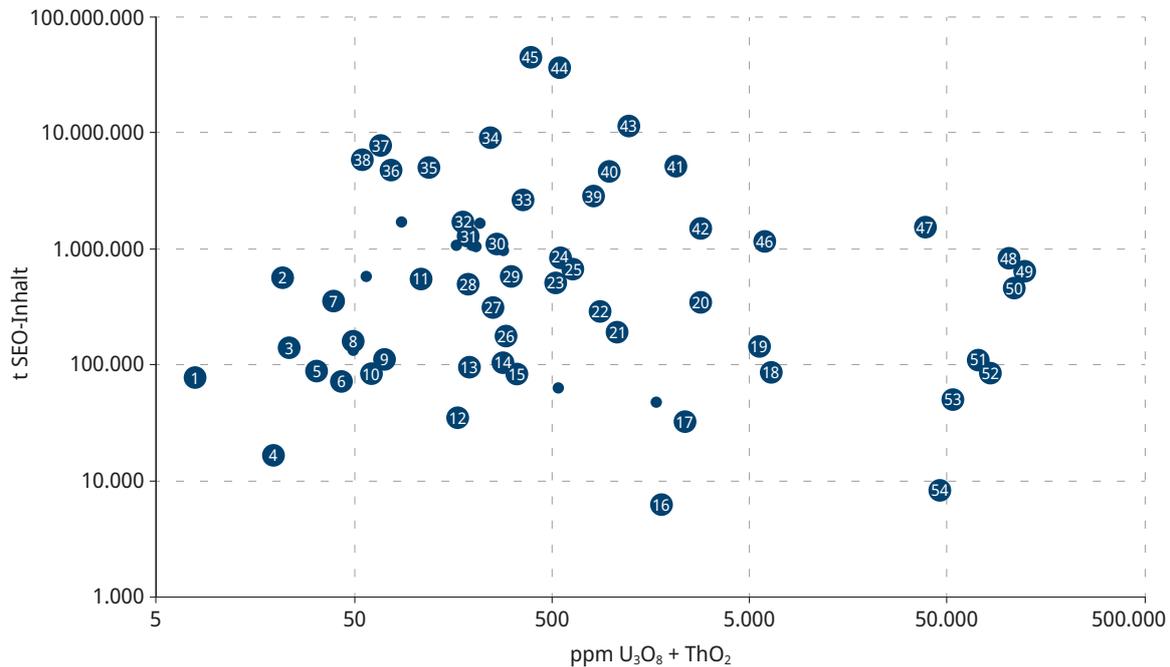


Abb. 18: Bedeutende Seifen (in Blau) und Halden (in Gelb) mit Monazit und Xenotim (Mineralinhalt umgerechnet in t SEO-Inhalt).



- | | | | |
|---------------------|-----------------|------------------------|----------------------|
| ① Deep Leads et al. | ⑩ Browns Range | ⑲ Morro do Ferro | ⑳ Strange Lake |
| ② Norra Kärr | ⑪ Chuktukon | ⑳ Mushgai Khudag | ⑳ Fen |
| ③ Cowalinya | ⑫ Bokan | ㉑ Kwyjibo | ㉑ Kringlerne |
| ④ Mitre Hill | ⑬ Lofdal | ㉒ Yangibana | ㉒ Ngualla |
| ⑤ Tower/Mt. Clere | ⑭ Kipawa (Zeus) | ㉓ Eik Creek | ㉓ Halleck Creek |
| ⑥ Narraburra | ⑮ Clay-Howells | ㉔ Two Tom | ㉔ Mt Weld-CLD |
| ⑦ Aksu Diamas | ⑯ Ondoto West | ㉕ Dubbo | ㉕ Logonjo |
| ⑧ Zudong | | ㉖ Mary Kathleen-Halden | ㉖ Maoniuping |
| ⑨ Milo | | ㉗ Round Top | ㉗ Nolans Bore |
| | | ㉘ Olserum | ㉘ Kvanefjeld |
| | | ㉙ Ashram | ㉙ Olympic Dam |
| | | ㉚ Dong Pao | ㉚ Bayan Obo |
| | | ㉛ Nechalecho-Basal | ㉛ Lovozero |
| | | ㉜ Mountain Pass | ㉜ Massangana Halden |
| | | | ㉜ Toliara-Seife |
| | | | ㉜ Fort Dauphin-Seife |
| | | | ㉜ Chavara-Seife |
| | | | ㉜ Eneabba-Halden |
| | | | ㉜ Steenkampskraal |
| | | | ㉜ Krasnoufimsk-Halde |
| | | | ㉜ Mission-Seife |

Abb. 19: Gesamtinhalte an Seltenen Erden (in t SEO, logarithmisch) im Vergleich zur Radioaktivität von SE-Mineralen (in ppm $U_3O_8 + ThO_2$, logarithmisch) in den SE-Vorkommen, zu denen entsprechende Daten publiziert sind.

Neben den genannten Punkten und den in den Kapiteln 4.2.1 und 4.2.2 aufgeführten Bewertungskriterien ist bei der Bewertung von SE-Projekten zudem zu berücksichtigen, dass sowohl die absoluten SEO-Inhalte (in t) als auch die relative SEO-Verteilung im Mineral/Erz (in %) häufig nur wenig mit den letztendlich ausgebrachten Mengen/SEO-Verteilungen zu tun hat.

Dies ist weniger durch die Gewinnungs- und Anreicherungsprozesse als durch die darauffolgenden komplexen hydrometallurgischen und chemischen Aufbereitungsprozesse bedingt. Die Tabellen 17–20 zeigen die relativen SEO-Verteilungen in den Erzen verschiedener SE-Lagerstätten sowie das Ausbringen (engl.: „recovery grade“) der einzelnen SEO in der Flotation

bzw. nach den hydrometallurgischen Tests sowie, sofern publiziert, die SEO-Verteilung in den sich daraus ergebenden finalen SE-Produkten.

Aus diesen Daten wird erkennbar, dass

- das Gesamtausbringen der absoluten SEO-Inhalte einzelner Erze sehr unterschiedlich ist und bei < 30 % (bei Ionenadsorptionstonen) bis 85 % liegen kann
- die Ausbringverluste bei einzelnen SEO 80 % übersteigen können, d. h., teils nur 20 % einzelner SEO letztendlich ausgebracht werden können

- die Ausbringverluste im Allgemeinfall umso höher sind, desto schwerer die SEO sind, d. h., schwere SEO lassen sich nur schwer aufbereiten und separieren
- die relative SEO-Verteilung im Endprodukt sich teils deutlich von der SEO-Verteilung im Erz unterscheidet

Wertberechnungen von Unternehmen, die in ihren Projekten ein durchschnittliches, zudem häufig viel zu hohes Ausbringen der SEO („basket price“) ansetzen, sind daher kritisch zu hinterfragen.

Tab. 17: Relative SEO-Verteilung im Erz sowie Ausbringen in der Flotation und Hydrometallurgie (in %) in ausgewählten Karbonatiten, nach Firmenberichten.

Projekt	Montviel			Ngualla	
	Erz	Ausbringen Flotation	Ausbringen Hydromet.	Erz	Ausbringen Flotation
La ₂ O ₃	26,5	92,9	97,7	27,6	47,2
CeO ₂	48,6	92,7	94,8	48,3	38,9
Pr ₆ O ₁₁	5,1	92,2	98,0	4,8	46,4
Nd ₂ O ₃	16,2	93,0	97,6	16,5	44,0
Sm ₂ O ₃	1,7	91,0	95,0	1,6	43,1
Eu ₂ O ₃	0,3	89,9	95,2	0,3	
Gd ₂ O ₃	0,6	88,6	89,6	0,6	
Tb ₄ O ₇	0,1	83,8	89,5	< 0,1	34,2
Dy ₂ O ₃	0,2	74,1	83,3	0,1	
Ho ₂ O ₃	< 0,1	67,2	94,8	< 0,1	
Er ₂ O ₃	< 0,1	57,0	73,5	< 0,1	
Tm ₂ O ₃	< 0,1	52,3	41,8	< 0,1	
Yb ₂ O ₃	< 0,1	68,5	76,8	< 0,1	
Lu ₂ O ₃	< 0,1	n. v.	n. v.	< 0,1	
Y ₂ O ₃	0,6	52,3	93,8	0,2	
Summe	1,51			4,88	42,7

Tab. 18: Relative SEO-Verteilung a.) im Erz, SE-Mischkarbonat und SE-Mischoxalat sowie jeweiliges Ausbringen (in %) der Lagerstätte Deep Fox-Foxtrot, NL, Kanada sowie b.) im Loporiterz von Lovozero und im daraus hergestelltem SE-Mischchlorid in Solikamsk, nach Firmenberichten.

Projekt	Deep Fox – Foxtrot					Lovozero	Solikamsk
	Erz	Ausbringen	Mischkarbonat	Ausbringen	Mischoxalat	Loporiterz	Mischchlorid
La ₂ O ₃	18,4	87,9	21,7	81,5	16,5	25,2	26,8
CeO ₂	37,6	85,3	33,8	78,8	38,6	54,6	53,8
Pr ₆ O ₁₁	4,4	88,5	4,7	82,0	4,6	5,4	5,1
Nd ₂ O ₃	16,2	86,1	16,5	78,5	18,3	13,8	13,2
Sm ₂ O ₃	3,0	85,0	2,6	78,9	2,6	0,7	0,9
Eu ₂ O ₃	0,1	83,7	0,1	77,3	0,1	0,1	0,1
Gd ₂ O ₃	2,3	86,1	2,4	77,9	2,4	0,2	0,2
Tb ₄ O ₇	0,4	83,9	0,4	76,9	0,4	< 0,1	< 0,1
Dy ₂ O ₃	2,2	83,9	2,1	75,8	2,2	< 0,1	< 0,1
Ho ₂ O ₃	0,4	80,7	0,4	75,2	0,4	< 0,1	< 0,1
Er ₂ O ₃	1,2	75,5	1,1	73,2	1,1	< 0,1	< 0,1
Tm ₂ O ₃	0,2	70,4	0,1	69,4	0,1	< 0,1	< 0,1
Yb ₂ O ₃	1,0	49,8	0,7	64,3	0,9	< 0,1	< 0,1
Lu ₂ O ₃	0,2	50,1	0,1	53,9	0,1	< 0,1	< 0,1
Y ₂ O ₃	12,6	77,3	13,2	76,5	11,6	0,1	< 0,1
Summe	1,06	84,7	58,0		55,5	1,12	

Tab. 19: Relative SEO-Verteilung im Erz sowie Ausbringen (in %) in ausgewählten SE-Lagerstätten mit Dominanz mittelschwerer/schwerer SE, nach Firmenberichten.

Projekt	Nechalecho Basal			Lofdal		Kipawa	
	Erz	Ausbringen	Konzentrat	Erz	Konzentrat	Erz	Ausbringen
La ₂ O ₃	15,1	83	17,1	9,2	0,5	14,3	66,8
CeO ₂	33,5	81	38,1	16,0	0,8	29,1	57,6
Pr ₆ O ₁₁	4,2	82	4,7	1,7	0,1	3,6	62,6
Nd ₂ O ₃	16,7	75	18,9	6,3	0,3	13,4	63,5
Sm ₂ O ₃	3,8	62	3,1	2,2	0,5	3,0	68,5
Eu ₂ O ₃	0,5	66	0,5	1,1	0,5	0,4	72,7
Gd ₂ O ₃	3,6	65	3,3	4,3	3,5	2,9	75,1

Projekt	Nechalecho Basal			Lofdal		Kipawa	
	Erz	Ausbringen	Konzentrat	Erz	Konzentrat	Erz	Ausbringen
Tb ₄ O ₇	0,6	64	0,5	0,9	1,1	0,5	76,0
Dy ₂ O ₃	3,3	60	2,7	6,2	9,1	3,6	77,7
Ho ₂ O ₃	0,6	54	0,4	1,3	2,0	0,8	78,5
Er ₂ O ₃	4,7	45	0,9	3,8	6,3	2,5	78,5
Tm ₂ O ₃	0,2	37	0,1	0,6	0,9	0,4	77,7
Yb ₂ O ₃	1,3	31	0,5	3,5	4,6	2,3	75,1
Lu ₂ O ₃	0,2	25	< 0,1	0,5	0,8	0,3	65,1
Y ₂ O ₃	14,8	50	9,1	42,4	67,9	23,0	77,7
Summe	1,70		14,06	0,16		0,41	

Tab. 20: Relative SEO-Verteilung im Erz und Konzentrat sowie hydrometallurgisches Ausbringen (in %) in ausgewählten brasilianischen Ionenadsorptionstonlagerstätten, nach Firmenberichten.

Projekt	Carina Module			Caldeira		Ema		Pela Ema	
	Erz	Ausbringen	Konzentrat	Erz	Ausbringen	Erz*	Ausbringen	Erz	Konzentrat
La ₂ O ₃	18,6	41	25,6	46,8	62	24,8	43	22,6	32,1
CeO ₂	31,0	3	3,5	18,3	4	29,7	13	32,9	4,2
Pr ₆ O ₁₁	4,3	41	6,0	6,5	52	6,4	50	4,1	5,9
Nd ₂ O ₃	15,2	43	21,9	17,9	64	20,8	51	13,4	19,3
Sm ₂ O ₃	3,0	42	4,4	2,0	52	3,0	47	2,4	3,3
Eu ₂ O ₃	0,1	46	0,2	0,5	54	0,6	20	0,2	0,2
Gd ₂ O ₃	2,5	40	3,5	1,4	56	2,2	43	2,2	3,2
Tb ₄ O ₇	0,4	43	0,6	0,2	47	0,3	40	0,4	0,5
Dy ₂ O ₃	2,7	41	3,7	0,8	39	1,6	37	2,4	3,2
Ho ₂ O ₃	0,5	37	0,6	0,1	26	0,3	38	0,5	0,7
Er ₂ O ₃	1,7	35	1,8	0,3	29	0,8	38	1,6	2,0
Tm ₂ O ₃	0,3	32	0,2	< 0,1	25	0,1	74	0,2	0,3
Yb ₂ O ₃	1,7	31	1,8	0,3	18	0,8	40	1,6	1,8
Lu ₂ O ₃	0,3	33	0,2	< 0,1	21	0,1	35	0,2	0,3
Y ₂ O ₃	17,5	44	25,8	4,7	37	8,5	37	15,3	23,0
Summe	1.452 ppm			4.917 ppm		731 ppm		1.500 ppm	

* Auswahl an Bohrungen

4.4 Raffination

4.4.1 Entwicklung der Raffination

In den letzten Jahrzehnten gab es weltweit zahlreiche Unternehmen, die in der Aufbereitung von Erzen oder Mineralen zu Seltenen Erden tätig waren bzw. noch sind. Die wichtigsten Produktionsstandorte dieser Unternehmen in der zeitlichen Reihenfolge ihres Produktionsbeginns sind im Folgenden aufgeführt:

Atzgersdorf bei Wien, Österreich (1892 – 1928)

Aufbereitung von Monazitsand aus Brasilien, später Indien, durch Schwefelsäureaufschluss zu einer $\text{Th}(\text{NO}_3)_4\text{-Ce}(\text{NO}_3)_3$ -Lösung („Fluid“) für die Gasglühlampenproduktion („Auer-Glühstrumpf“ aus 99 % ThO_2 und 1 % CeO_2), durch Dr. Carl Johann Joachim (Freiherr) Auer von Welsbach, 1903 Patentierung von pyrophoren Legierungen (optimale Zusammensetzung 70 % Ce und 30 % Fe), 1906 Gründung der Firma OSRAM, 1907 Gründung der „Treibacher Chemische Werke GmbH“ zur Erzeugung von Ce-Fe-Zündsteinen.

Gloucester, NJ, USA (1896 – 1940)

Produktion von $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$ und Ce-Verbindungen aus Monazit aus South Carolina (später aus importierten Monazitkonzentraten) durch die 1887 gegründete Welsbach Incandescent Gas Light Company, eine Tochterfirma der United Gas Improvement Company (weitere SE-Verbindungen wurden zu Testzwecken separiert, aber mangels Nachfrage wieder verworfen).

Berlin/Oranienburg, Deutschland (1903 – 1945)

Produktion von CeO_2 , ThO_2 , $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$ und ^{228}Ra (für die Gasglühlampenproduktion) sowie ab 1936 auch weiterer SE-Verbindungen (für Katalysatoren in deutschen Hydrierwerken zur Kohleverflüssigung – „Fischer-Tropsch-Anlagen“) durch die Chemische Fabrik Germania GmbH (1905 übernommen durch die 1892 gegr. Deutsche Gasglühlicht-Aktiengesellschaft) in der Thoriumfabrik „Germania“ in Berlin/Oranienburg aus brasilianischem und indischem Monazit.

São Paulo, Brasilien (1946 – 1992)

1946 – 1956 durch die Indústrias Químicas Reunidas S.A. (ORQUIMA) im Werk Santo Amaro (USAM), in einem Stadtteil von São Paulo, Produktion von SE-Chloriden aus Monazitkonzentraten (\varnothing 2.000 t/J.) aus Espírito Santo und Rio de Janeiro, Mitte 1950er Produktionsbeginn von Eu_2O_3 ; 1956 Verstaatlichung der ORQUIMA und Fortführung der SE-Produktion durch den brasilianischen Staat (Administração da Produção de Monazita); 1960er Jahre Produktion von Y-Konzentraten; ab 1962 Fortführung der SE-Produktion durch die Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear (CBTN); Ende 1960er Jahre Produktion von Nd-Konzentraten; ab 1974 Fortführung der SE-Produktion durch die Nuclebrás de Monazita and Associados Ltda. (Nuclemon); seit 1986 Produktion von $\text{Nd}_2(\text{CO}_3)_3$.

Pompton Plains/Wayne, NJ, USA (1948 – 1971)

1948 Beginn der Aufbereitung von Monazit zur Separation von SEO durch die Rare Earths Inc., ab 1956 nach Übernahme durch die Davison Chemical Division der W.R. Grace Company Fortführung der Aktivitäten bis 1971.

Bitterfeld/Deutschland (1949 – 1977)

Produktion von Mischmetall (ca. 9 t/J.) und Seltenen Erden aus nordkoreanischem Monazit (zuvor ab 1911 aus zugekauftem Ceritchlorid).

Piesteritz/Deutschland

(mit Unterbrechungen 1964 – 1985)

Ab 1951 probeweise, dann ab 1964 kommerziell, jedoch mit jahrelangen Unterbrechungen, Aufbereitung von Schlacken der Bitterfelder Mischmetallproduktion, von Ceritchlorid aus der UdSSR und China sowie bis 1985 von nordkoreanischem Monazit zu max. 12 t/J. CeO_2 , 10 t/J. $\text{La}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$, 10 t/J. $(\text{NdPr})_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$ sowie schon von Beginn an geringen Mengen fast aller SEO (99,9 – 99,99 % Reinheit).

Udyogamandal nahe Aluva, Indien

(mit Unterbrechungen seit 1952)

1952 Beginn der Produktion von SE-Verbindungen aus Monazit aus Manavalakurichi (Verarbeitungskapazität: 3.600 t/J. Monazit) durch die Rare Earths Division der IREL (India) Ltd. in Udyoga-

mandal nahe Aluva/Kerala; 2005 – 2014 weitgehender Stopp der Primärproduktion aufgrund der Notwendigkeit zur vorrangigen Aufbereitung großer Halden unreinen Thoriumoxids, SEO und unlöslicher Monazitanteile; aktuell (nach Modernisierung) aus SE-Mischchloriden Produktion von La- und Ce-Karbonaten, Nd/Pr-, Sm-, Gd-, Dy- und Y-Oxalaten (jeweils > 99 % Reinheit) sowie Ammoniumdiuranat (s. Kapitel 4.4.2).

West Chicago, IL, USA (1955 – 1973)

1955 Beginn der Produktion hochreiner SEO aus Monazit (Verarbeitungskapazität 9.000 t/J.) in der Rare Earths Facility (REF) als Beiprodukt der Produktion von $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$ durch die Lindsay Chemical Company, später ein Unternehmen der Kerr McGee Corporation.

St. Louis, MI, USA (1956 – 1973)

1956 Beginn der Produktion sämtlicher SEO durch die Michigan Chemical Corporation aus Monazit; 1966 Übernahme der Lowman Columbit-Euxenit-Monazit-Seifenlagerstätte in Idaho; 1967 – 1971 SE-Metallproduktion.

Chattanooga, TN, USA (1956 – 1983)

1956 – 1965 Produktion von Th-Metall, ThO_2 und ThF_4 sowie SE-Verbindungen durch die Vitro Corporation of America aus Monazit, z. T. aus eigenem Schwermineralabbau in Aiken, SC, nach Firmenübernahme 1965 durch die W.R. Grace Company Fortführung der Aktivitäten bis 1983.

La Rochelle, Frankreich (1957 – 1994)

1948 Beginn der Produktion von Zündsteinen aus Auermetall; 1958 Beginn der Aufbereitung von Monazit (und Xenotim) zu SE-Chloriden und daraus zu SEO; 1972 Übernahme durch die Rhône-Poulenc S.A.; 1985 Umstellung der Produktion von SE-Chloriden auf SE-Nitrate; 1994 Einstellung der Verarbeitung von Monazit; 1998 Eingliederung in die neu gegründete Rhodia S.A.; 2001 Beginn der Herstellung von Autokatalysatoren; 2011 Übernahme durch die Solvay S.A.

Aktyuz, Kirgisistan (1960 – 1991)

1960 Eröffnung der Kashka Rare Earth Processing Plant (KRP) zur Aufbereitung der seit 1958 im Tagebau gewonnenen SE-Erze aus der Lager-

stätte Kutessay II in NW-Kirgisistan; bis 1991 Verarbeitung von 5,45 Mio. t Erz @ Ø 0,41 SE @ Ø 64,5 % Ausbringen zu 22.109 t SE in Form von rund 120 Produkten (leichte bis schwere SEO, Oxide, Metalle, Legierungen, Verbindungen); 1991 Demontage von Teilen der Aufbereitungsanlage und Abtransport nach Russland; 1999 Übernahme von Bergwerken und der verbliebenen Aufbereitungsanlage durch die (ehemalige) kanadische Stans Energy Corp.; 2009 Erteilung der Abbaulizenz an Stans Energy, 2012 Widerruf der Abbaulizenz durch die kirgisische Regierung.

Mountain Pass, CA, USA

(mit Unterbrechungen seit 1965)

1952 Beginn der Produktion von Bastnäsitkonzentrat (ohne weitere Aufbereitung) für die US-Regierung durch die Molybdenum Corporation of America (seit 1974 Molycorp Inc.) in Mountain Pass, danach bis 1965 Produktion von SE-Chloriden in York, PA (1996 geschlossen), 1965 am Standort Louviers, CO (1996 geschlossen), Beginn der Produktion von Eu_2O_3 (für Farbfernseher), 1966 von CeO_2 und La_2O_3 , 1967 von $(\text{GdSm})_2\text{O}_3$, 1968 von Gd_2O_3 und Sm_2O_3 , 1969 von Pr_6O_{11} , 1982 von Sm_2O_3 und Gd_2O_3 mit 99,999 % Reinheit und kurz danach von Tb_4O_7 1989 Beginn der Produktion von Dy_2O_3 .

1998 Entzug der Teilgenehmigung für die Abwasserentsorgung in Mountain Pass nach zahlreichen Leckagen seit 1984, daraufhin Einstellung der SE-Weiterverarbeitung; 2007 – 2012 Produktion von La-Verbindungen aus noch vorhandenen Konzentraten; 2012 – 2015 (Insolvenz) Produktion verschiedener SEO; seit 2023 Wiederaufnahme der Separation, zuerst von $(\text{NdPr})_2\text{O}_3$ (s. Kapitel 4.4.2).

Sillamäe, Estland (seit ca. 1970)

1970 Beginn der Produktion von Ta- und Nb-, später auch SE-Verbindungen aus Loparitzkonzentrat aus Lovozero/Russland in einem 1926 zur Verarbeitung von Ölschiefer erbauten Werk (1946 – 1990 vorrangig genutzt zur Produktion von UO_2 und U_3O_8); aktuell Verarbeitung von SE-Mischkarbonaten aus Solikamsk/Russland und New Mesa/Utah, USA in der NPM Sillmet OÜ der Neo Performance Materials Inc.

zu verschiedenen SE-Produkten (Ce_2O_3 , CeO_2 , $\text{Ce}_2(\text{CO}_3)_3$, $(\text{LaCe})_2\text{CO}_3$, $(\text{NdPr})_2\text{O}_3$, Pr_6O_{11} , $\text{Pr}_2(\text{CO}_3)_3$, $(\text{SmEuGd})_2\text{O}_3$, Nd_2O_3 , NdF_3 , SE-Fluoride, SE-Nitrat-Lösungen, Ni-basierte SE-Legierungen, Nd-Fe-Legierungen, Nd-Fe-B-Legierungen) (Kapazität 3.000 t/J. SEO-Inhalt) (s. Kapitel 4.4.2).

Solikamsk, Russland (seit 1977)

1977 Beginn der Verarbeitung von Loparitkonzentrat aus Lovozero/Russland durch die 1936 gegründete Solikamsk Magnesium Plant OJSC bis 1995 ausschließlich zu SE-Chloriden, SE-Nitratlösungen und CeO_2 , nach 1995 auch zu SE-Mischkarbonaten (Kapazität: 3.600 kt/J. SEO-Inhalt); 2013 – 2016 zudem Weiterverarbeitung von CeCO_3 und La_2O_3 der Irtysh Rare Earth Company (IRESCO)/Kasachstan; aktuell Plan zur Eigenproduktion von 2.050 t/J. Ce- und La-Produkten sowie 450 t/J. Nd_2O_3 und Pr_6O_{11} ab 2026 zur eigenen Magnetproduktion (s. Kapitel 4.4.2).

Bayan Obo, China (seit 1978?)

1975 Inbetriebnahme der Baotou-Steel-Aufbereitungsanlage durch die China Northern Rare Earth (Group) High-Tech Co., Ltd. zur Produktion von Bastnäsit- und Monazitkonzentraten; 1978? Produktionsbeginn von SE-Produkten in Bayan Obo; seit 1986 weltgrößte Produktionsstätte für SE-Produkte; gruppeninterne Weiterverarbeitung der SE-Mineralkonzentrate durch 16 Tochterunternehmen bzw. -beteiligungen in mehreren Provinzen zu > 50 Arten von SE-Karbonaten, SE-Chloridlösungen, SE-Verbindungen und SE-Oxiden (Gesamtkapazität 120 kt/J.) bzw. SE-Metallen (Kapazität 16 kt/J.) in knapp 1.000 Spezifikationen; gruppeninterne Weiterverarbeitung der SE-Produkte durch 18 Tochterunternehmen bzw. -beteiligungen in acht Provinzen zu SE-Magneten (Kapazität 41 kt/J., Produktion 2023: 49.691 t), SE-Poliermitteln (Kapazität 32 kt/J., Produktion 2023: 26.147 t), SE-Katalysatoren (Kapazität 12 kt/J.), NiMH-Batterien (Gesamtkapazität 1 Mio. Stück/a), Leuchtmitteln, Wasserstoffspeicherlegierungen u. a. m. (s. Kapitel 4.4.2).

Freeport, TX, USA (1981 – 1998)

Produktion von SEO (99 – 99,995 % Reinheit) aus Monazit aus Florida (Verarbeitungskapazität zu Beginn 4.000 t/J., später 8.000 t/J.) durch Rhone-Poulenc Inc.

Bukit Merah, Malaysia (1982 – 1994)

1982 Beginn der Aufbereitung von Monazit, der seit 1975 aus Amang in Bukit Merah, Perak State, abgetrennt wurde, durch die 1979 durch Mitsubishi Chemical Industries Ltd. (35 %), BEH Minerals Sdn. Bhd (35 %), Lembaga Urusan dan Tabung Ha [islamischer Pensionsfond] (20 %) und lokalen Geschäftsleuten (10 %) gegründete Asia Rare Earth Sdn Bhd (ARE) (Kapazität 4.200 t/J. LREO, 550 t/J. HREO und 4.400 t/J. Tricalciumphosphat); zusätzlich Aufbereitung von Xenotim in der Malaysian Rare Earth Corporation Plant (MAREC, Kapazität 200 t/J. Y_2O_3); seit Beginn der Produktion erhebliche Umweltschutzprobleme; 1994 Schließung aufgrund von Bürgerprotesten und Gerichtsurteilen.

Chhatrapur, Indien (seit 1992)

1992 Beginn der Verarbeitung von im 1984 durch die IREL (India) Ltd. eröffneten Orissa Sand Complex (OSCOM) abgetrennten Monazit aus der Schwermineralseifenlagerstätte Chhatrapur zu Thoriumnitrat und später auch zu SE-Mischchloriden; 2015 Eröffnung der Monazite Processing Plant (MoPP) im OSCOM mit einer Verarbeitungskapazität von 10.000 t/J. Monazit zu Na_3PO_4 und SE-Mischchloriden (Kapazität: 11.200 t/J. @ 7.100 t/J. SEO-Inhalt); Weiterverarbeitung der SE-Mischchloride nahe Aluva/Indien (s. dort) sowie in der 2016 eröffneten Rare-Earth Extraction Plant (REEP, Verarbeitungs(?)kapazität: 10.000 t/J.) im Dorf Moturupalem, Visakhapatnam Distrikt, Andhra Pradesh (300 km südwestlich Chhatrapur) der Toyotsu Rare Earths (India) Pvt. Ltd. zu La-, Ce-, Pr-, Nd-, Pr/Nd-Oxiden, Ce-Karbonat sowie einem mittelschweren/schweren SE-Mischkarbonat (s. Kapitel 4.4.2).

Caldas/Brasilien (2004)

1993 – 1996 in einer Pilotanlage in Buena, Gemeinde Sao Francisco de Itabapoana, RJ, durch die Indústrias Nucleares do Brasil S.A. (INB) aus Monazit Produktion von $\text{Ce}(\text{CO}_3)_2$ (99 %), $(\text{NdPr})_2\text{O}_3$, $\text{Nd}_2(\text{CO}_3)_3$ (99,9 %), Sm_2O_3 (99,9 %), $\text{Sm}_2(\text{CO}_3)_3$ (99,9 %), $(\text{GdEu})_2\text{O}_3$, Gd_2O_3 , Eu_2O_3 sowie schweren SEO; 1997 – 2004 Aufbau einer kommerziellen SE-Separationsanlage in Caldas, MG (Kapazität 1.560 t/J. LaCl_3 -Lösung @ min. 40 % La_2O_3 und 360 t/J. $\text{Ce}(\text{OH})_2$ @ min. 90 % CeO_2), 2004 Inbetriebnahme und Verarbeitung

von 300 t Monazit, danach Schließung aufgrund von Unwirtschaftlichkeit.

Lermontov, Russland (2004? – 2017)

2004? – 2017 Produktion von SE-Produkten (SE-Mischoxide, $\text{Nd}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{Nd}_2(\text{CO}_3)_2$, $\text{Pr}_2(\text{CO}_3)_3$, $\text{Sm}_2(\text{CO}_3)_3$, $\text{Y}_2(\text{CO}_3)_3$, leichte SE-Karbonate, $\text{Ce}(\text{OH})_2$, $\text{La}(\text{OH})_3$, $\text{Ce}(\text{PO}_4)$, Al-Y-Verbindungen, Kapazität ca. 250 t/J. SEO-Inhalt) durch die OAO Intermix Met als Beiproduktion der Düngemittelherstellung aus Apatiterzen.

Araxá, Brasilien (2012 – 2018)

2012 bis 2018 Produktion von Ce-, La-, Pr-, Nd- und mittelschweren/schweren SE-Sulfaten sowie -hydroxiden (Kapazität 1.000 t/J. SEO-Inhalt, Produktionsmenge wesentlich geringer) durch die Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) aus den Abgängen der Nb-Aufbereitung sowie zwischen 2014 und 2018 in einer Pilotanlage auch von CeO_2 , La_2O_3 , $(\text{NdPr})_2\text{O}_3$ und schweren SEO (Kapazität 15 – 20 t/J.).

Stepnogorsk, Kasachstan (seit 2012)

2010 Gründung der JV SARECO LLP (Summit Atom Rare Earths Company) durch die Sumitomo Corp. (49 %) und die KazAtomProm JSC (51 %) mit dem Ziel der Aufbereitung von Rückständen der Uranerzaufbereitung in West- und Nordkasachstan (5 % SEO, 3.000 t SEO-Inhalt) sowie von Monazit aus Ostkasachstan (4.000 t SEO-Inhalt); 2012 Eröffnung einer Aufbereitungsanlage nahe Stepnogorsk mit einer Kapazität von 1.500 t/J. SEO (in Form von 1.200 t/J. leichten SE- +300 t/J. schweren SE-Karbonaten); 2019 Verkauf von SARECO an die Tau-Ken Samruk National Mining Company; 2022 Weiterverkauf von SARECO an den Sc-Produzenten MAST LLP mit Sitz in Stepnogorsk (s. Kapitel 4.4.2).

Phủ Lý, Vietnam (2012 – 2023)

2012 Inbetriebnahme einer SE-Aufbereitungsanlage (Kapazität 18.000 t/J. SEO, davon 2.000 t/J. schwere SEO) der Vietnam Rare Earth JSC (VTRE) zur Aufbereitung von Xenotimkonzentrat aus der Lagerstätte Yên Phú u. a. zu CeO_2 , La_2O_3 , $(\text{NdPr})_2\text{O}_3$, Nd_2O_3 , Pr_6O_{11} , Gd_2O_3 , Tb_2O_3 , Dy_2O_3 , Y_2O_3 und $(\text{SmEuGd})_2\text{O}_3$, 2023 wegen Steuerhinterziehung der Betreiberfirma stillgelegt.

Nowgorod, Russland (2014 – 2021)

2014 – 2021 Produktion von SE-Produkten (CeO_2 , Nd_2O_3 , $(\text{NdPr})_2\text{O}_3$, $\text{Ce}(\text{CO}_3)_2$, $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$, SE-Nitratlösungen, leichte SE-Mischkarbonate, mittelschwere SE-Mischkarbonate, Kapazität ca. 200 t/J. SEO-Inhalt) durch die OAO Apatit als Beiproduktion bei der Düngemittelherstellung aus Apatiterzen.

4.4.2 Heutige Raffination

Derzeit findet eine Raffination von Seltenen Erden aus Erzen bzw. Mineralkonzentraten bzw. eine Weiterverarbeitung von SE-Zwischenprodukten, soweit bekannt, in acht Ländern statt. Weitergehende Informationen hierzu sind Anhang I zu entnehmen.

China

Nach ROSKILL (2021) erfolgte im Jahr 2020 die Aufbereitung von SE-Erzen in China durch 58 Unternehmen mit einer Jahreskapazität von geschätzt zusammen 307.000 t/J. SEO. Im gleichen Jahr lag die Gesamtaufbereitungsquote der 54 Unternehmen mit zugeteilten Aufbereitungsquoten bei 135.000 t SEO. Diese gilt jedoch nur für im Inland geförderte Erze, so dass die Aufbereitung der importierten Monazitkonzentrate sowie Monazit enthaltenen anderen Schwermineralkonzentrate (nach LIEDTKE et al. (2024) > 20.000 t SEO-Inhalt) sowie der aus den benachbarten Ländern importierten SE-Zwischenprodukte, größtenteils SEO und SE-Mischkarbonate aus Ionenadsorptionstonen (ca. 54.000 t SEO-Inhalt) sowie von Bastnäsitkonzentrat aus Mountain Pass/USA mit 42.000 t SEO-Inhalt, zusätzlich zu berücksichtigen ist.

Nach ASIAN METAL (2023) arbeiteten im Jahr 2022 in China 46 größere Aufbereitungsunternehmen (angeführt von Gansu Rare Earth Group Co., Ltd. und Baotou Huamei Rare-Earth High-Tech Co., Ltd., s. u.) mit einer Gesamtkapazität von 334.000 t/J. SEO, verteilt auf die Innere Mongolei (23,2 %), Sichuan (19,2 %), Jiangxi (12,8 %), Jiangsu (9,2 %), Guangdong (5,0 %), Guangxi (2,7 %) und andere Provinzen (27,9 %):

Zur China Northern Rare Earth Group High-Tech Co., Ltd. (CNREG) gehören:

- Gansu Rare Earth New Materials Co., Ltd., Provinz Gansu, Kapazität 54.000 t SEO/J.
- Baotou Huamei Rare Earth High-Tech Co., Ltd., Provinz Innere Mongolei, Kapazität 40.500 t SEO/J. (Erweiterung auf 107.000 t SEO/J. in Vorbereitung) in Form von SE-Chloridlösungen
- Zibo Baosteel Lingzhi Rare Earth Hi-Tech Co., Ltd., Provinz Shandong, Kapazität 21.600 t SEO/J.
- China Northern Rare Earth Group High-Tech Co., Ltd., Provinz Innere Mongolei, Kapazität 15.800 t SEO/J.
- Inner Mongolia Baogang Hefa Rare Earth Co., Ltd., Provinz Innere Mongolei, Kapazität nicht bekannt, Produktion 2022: 17.100 t SEO
- Wuyuan County Runze Rare Earth Co., Ltd., Provinz Jiangxi, Kapazität unbekannt, Produktion 2022: 11.242 t (unklar ist, von was)
- Northern Rare Earth SYL High-Tech Co., Ltd., Provinz Innere Mongolei, Kapazität 5.400 t SEO/J.
- Baotou Huaxing Rare Earth Technology Co., Ltd., Provinz Innere Mongolei, Kapazität nicht bekannt, Eigenproduktion 2022: 48 t Pr/Nd-Metall, Auftragsproduktion 2022: 2.125 t Pr/Nd-Metall, 5.395 t SEO, 651 t SE-Karbonate
- Baotou Feida Rare Earth Co., Ltd., Provinz Innere Mongolei, Kapazität 5.000 t SEO/J.
- Baotou Jinmeng Rare Earth Co., Ltd., Provinz Innere Mongolei, Kapazität 3.600 t SEO/J., Produktion 2022: 3.271 t separierte SE-Produkte

– Xinfeng County Baotou Steel Xinli Rare Earth Co., Ltd., Provinz Jiangxi, Kapazität 3.500 t SEO/J.

– Baotou Hongtianyu Rare Earth Magnetic Materials Co., Ltd., Provinz Innere Mongolei, Kapazität nicht bekannt, Produktion 2022: 22.558 t SE-Mischkarbonat

– Baotou Xinlong Rare Earth New Material Co., Ltd., Provinz Innere Mongolei, Kapazität 800 t SEO/J.

Laut Geschäftsbericht der China Northern Rare Earth Group High-Tech Co., Ltd. lag im Jahr 2023 die Gesamtproduktion des Unternehmens inkl. aller Tochterunternehmen bei 16.700 t SE-Oxiden, 127.387 t SE-Verbindungen und 30.800 t SE-Metallen.

Zur China Rare Earth Group Co., Ltd. (CREG) gehörten nach Asian Metal im Jahr 2022 33 Aufbereitungs- und Weiterverarbeitungsanlagen, von denen 29 in Betrieb waren. Die derzeitigen zur CREG gehörenden Aufbereitungsunternehmen sind (soweit bekannt):

– Sichuan Leshan Rich Fortune Metallurgical Co., Ltd., Provinz Sichuan, Kapazität 27.000 t SEO/J.

– China Rare (Liangshan) Rare Earth Co., Ltd., Provinz Sichuan, Kapazität 17.500 t SEO/J.

– Dechang Zhineng Rare Earth Co., Ltd., Provinz Sichuan, SE-Aufbereitungsanlage zur Aufbereitung von Bastnäsiterz aus der SE-Lagerstätte Dalucao, Kapazität 9.700 t SEO/J.

– Baoding Mancheng Huabao Rare Earth Co., Ltd., Provinz Hebei, Kapazität 7.200 t SEO/J.

– Lianyungang Ligang Rare Earth Industry Co. Ltd., Provinz Jiangsu, Kapazität 6.000 t SEO/J.

– Yiyang Hongyuan Rare Earth Co., Ltd., Provinz Hunan, Kapazität 5.600 t/J. SEO (La₂O₃, LaCl₃, La(OH)₃, CeO₂, Ce₂(CO₃)₃, CeOHCO₃, CeCl₃, Ce(NO₃)₃, Ce(SO₄)₂, Ce₂(C₂O₄)₃, Pr₆O₁₁,

- Nd₂O₃, Eu₂O₃, Gd₂O₃, Tb₄O₇, Dy₂O₃, Ho₂O₃, Er₂O₃, Yb₂O₃, Lu₂O₃, Y₂O₃), Ce-Metall, La-Metall, La-Ce-Metall, Pr-Nd-Metall
- Guangxi Guosheng Rare Earth New Materials Co., Ltd. (Chalco), Autonomes Gebiet Guangxi, Kapazität 5.500 t SEO/J.
 - Fujian Changting Golden Dragon Rare-Earth Co., Ltd. (Xiamen Tungsten Co., Ltd.), Changting, Provinz Fujian, Kapazitäten 5.000 t SEO/J. aus Ionenadsorptionstonen, 3.000 t SE-Metalle/J. (La, Ce, Nd, Sm, Tb, Dy, Y, Pr, Eu, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Gd, Legierungen von La-Ce, Gd-Fe, Pr-Nd, Dy-Fe, Ho-Fe, Mg-SE, Al-Fe, Cu-SE), Leuchtstoffe, SE-Fluoride, 2.000 t separierte SEO/J. hoher Reinheit (99 – 99,999 %), 12.000 t NdFeB-Magnetmaterial/J.
 - Ganxian Hongjin Rare Earth Co., Ltd. (China Rare Earth Resources and Technology Co., Ltd.), Provinz Jiangxi, Kapazität 4.600 t SEO/J. (v. a. mittelschwere bis schwere SEO) aus Ionenadsorptionstonen
 - Guangdong Fuyuan Rare Earth New Material Co., Ltd. (Guangdong Rising Nonferrous Metal Group), Provinz Guangdong, Kapazität 4.600 t SEO/J.
 - Dingnan Dahua New Material Resources Co., Ltd. (China Rare Earth Resources and Technology Co., Ltd.), Provinz Jiangxi, Kapazität 4.400 t hochreine SEO/J. aus Ionenadsorptionstonen
 - Longnan County Heli Rare Earth Smelting Co. Ltd. (Rising Nonferrous Metals Share Co., Ltd.), Betriebseinstellung aufgrund behördlicher Anordnung im Jahr 2024
 - China Rare Metals and Rare Earth (Guangxi) Jinyuan Rare Earth New Material Co., Ltd., Provinz Guangxi, Kapazität 3.500 t SEO/J.
 - Deqing Xinbang New Materials Co., Ltd. (Guangdong Rising Nonferrous Metal Group), Provinz Guangdong, Kapazität 3.000 t SEO/J.
 - Dingnan Nanfang Rare Earth Co., Ltd., Provinz Jiangxi, Kapazität 3.000 t SEO/J.
 - Ganzhou Rare Earth (Longnan) Nonferrous Metals Co., Ltd., Provinz Jiangxi, Kapazität 3.000 t SEO/J.
 - Guangdong Zhujiang Rare Earth Co., Ltd., Provinz Guangdong, Kapazität 3.000 t SEO/J.
 - Guangzhou Jianfeng Rare Earth Co., Ltd. (China Rare Earth Resources and Technology Co., Ltd.), Provinz Guangdong, Kapazität 3.000 t SEO/J.
 - Sichuan Mianning Fangxing Rare Earth Co., Ltd., Provinz Sichuan, Verarbeitungskapazität 7.000 t Bastnäsitkonzentrat/J., Produktionskapazität ca. 1.600 t La₂O₃/J., 350 t CeO₂/J. 580 t (NdPr)₂O₃/J. (SmGdEu)₂O₃, 400 t NdPr-Metall/J.
 - Jiangxi Golden Century Advanced Materials Co., Ltd., Provinz Jiangxi, Kapazität 3.000 t SEO/J.
 - Qiandong Rare Earth Group Co., Ltd., Provinz Jiangxi, Kapazität 3.000 t SEO /J.
 - Qingyuan Jiahe Rare Metal Co., Ltd. (61 % Guangdong Rising Nonferrous Metal Group), Guangdong Provinz, Kapazität 3.000 t SEO/J.
 - Zhongxi (Changzhou) Rare Earth New Material Co., Ltd. (Chalco), Provinz Jiangsu, Kapazität 3.000 t SEO/J.
 - Ganzhou Rare Earth Longnan Nonferrous Metals Co., Ltd., Provinz Jiangxi, Kapazität 2.500 t SEO/J.
 - Ganzhou Xinlongkang Rare Earth Co., Ltd., Provinz Jiangxi, Kapazität 2.500 t SEO/J.

- Changshu Shengchang Rare Earth Materials Co., Ltd. (Chalco), Provinz Jiangsu, Kapazität 2.500 t SEO/J.
- Funing Rare Earth Industry Co., Ltd. (Chalco), Kapazität 2.500 t SEO/J. aus Ionenadsorptionstonen (99 – 99,999 %, inkl. $(\text{Ce,Tb})\text{xOy}$, $(\text{Y,Eu})\text{xOy}$), zudem SE-Verbindungen $(\text{Ce}_2(\text{CO}_3)_3)$, CeCl_3 , $\text{Ce}(\text{OH})_4$, $\text{Ce}(\text{CH}_3\text{COO})_3$, $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{La}_2(\text{CO}_3)_3$, $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Nd}_2(\text{CO}_3)_3$, NdF_3 , $\text{Nd}(\text{OH})_3$, $\text{Pr}_2(\text{CO}_3)_3$, PrF_3) und Metalle (Nd, Pr)
- Jiangsu Guosheng Rare Earth New Materials Company (Chalco), Provinz Jiangsu, Kapazität 2.000 t SEO/J.

Zu Shenghe Resources Holding Co., Ltd. gehören:

- Leshan Shenghe Rare Earth Co., Ltd., Provinz Sichuan, Kapazitäten 9.800 t SEO/J. aus Bastnäsiterz bzw. > 30.000 t SE-Produkte/J.
- Zibo Jiahua Advanced Material Resources Co., Ltd., Provinz Shandong (Ganzhou Chenguang Rare Earths New Materials Co., Ltd., ex: Neo Performance Materials), ex: SE-Aufbereitungsanlage zur Aufbereitung von Bastnäsiterzen und SE-Vorprodukten zu SEO (Kapazität 5.800 t/J.), Plan: Umbau zur Produktion von katalytischen SE-Produkten (Kapazität 8.000 t/J.)
- Quannan Advanced New Resources Rare Earth Co., Ltd., Provinz Jiangxi, Kapazität 4.200 t SEO/J.
- Jiangyin Jiahua Advanced Material Resources Co., Ltd., Provinz Jiangsu (86 % Shenghe Resources Holding Co., Ltd., 9 % Neo Performance Materials Inc.), Kapazität 3.500 t SEO/J. aus Ionenadsorptionstonen (99,5 – 99,999 %, inkl. $(\text{Y,Eu})_2\text{O}_3$, $(\text{Ce,Tb})_2\text{O}_3$) und SE-Verbindungen $(\text{Ce}_2(\text{CO}_3)_3)$, $\text{La}_2(\text{CO}_3)_3$)

Zur China National Nuclear Corporation (CNNC) gehört die China Nuclear Huachuang Rare Materials Co., Ltd., deren Tochtergesellschaft Hunan

Zhonghe Jinyuan New Material Co., Ltd. jährlich aus rund 18.000 t Monazit aus importierten Schwermineralkonzentraten durch Säureaufschluss rund 15.000 t SE-Chloride produziert.

Ebenfalls mehr oder weniger „unabhängig“, durch Unternehmenssitz in Hongkong oder Macau agieren zudem:

- Yixing Xinwei Leeshing Rare Earth Co., Ltd. (China Rare Earth Holdings Ltd., ex: Yixing Xinwei Holdings Ltd.), Provinz Jiangsu, Kapazität: 6.500 t SE-Produkte/J. (La_2O_3 , CeO_2 , $\text{Ce}_2(\text{CO}_3)_3$, Pr_6O_{11} , Nd_2O_3 , NdF_3 , Sm_2O_3 , Eu_2O_3 , Gd_2O_3 , Tb_4O_7 , Ho_2O_3 , Er_2O_3 , Tm_2O_3 , Yb_2O_3 , Lu_2O_3 , Y_2O_3 , $(\text{Y,Eu})_2\text{O}_3$, $(\text{Ce,Tb})\text{xOy}$, La-Metall, Pr-Metall, Nd-Metall, Sm-Metall, Dy-Metall, SE-Leuchtstoffe) aus selbst produzierten SE-Chloriden aus importierten SE-Vorprodukten, Verkäufe im Jahr 2023 von ca. 470 t v. a. von Dy_2O_3 , Tb_4O_7 und $(\text{NdPr})_2\text{O}_3$, im Jahr 2023 2 % Exportanteil v. a. nach Japan
- Changzhou (Jintan) Hailin Rare Earth Co., Ltd. (ViaGold Rare Earth Resources Holdings Ltd.), Provinz Jiangsu, Kapazität 3.500 t SEO/J. aus Ionenadsorptionstonen

Die jährlich in China aus derzeit (vermutlich) 46 Aufbereitungsanlagen produzierte Gesamtmenge an Seltenen Erden bzw. SE-Produkten ist nicht publiziert. Die vom chinesischen Ministerium für Industrie und Informationstechnologie (MIIT) der Industrie zugeteilte Quote für Verhüttung und Separation lag im Jahr 2024 bei Konzentraten mit 254.000 t SEO-Inhalt.

Nach ASIAN METAL (2023) lieferten im Jahr 2022 die chinesischen Aufbereitungsunternehmen (aus heimischen Erzen) Produkte mit 172.000 t SEO-Inhalt – davon stammten 136.400 t aus Bastnäsit-/Monazitkonzentraten, 29.100 t aus Ionenadsorptionstonen und 6.500 t aus Seifenmonazitkonzentraten. Im gleichen Jahr lag die der Industrie zugeteilte Quote für Verhüttung und Separation bei Konzentraten bei 202.000 t SEO-Inhalt.

USA

- Mountain Pass, Kalifornien (MP Materials Corp.):
seit Q3 2023 Umsetzung des Plans zur Eigenproduktion von 20.000 t SE-Produkten/J. aus Bastnäsitkonzentrat: a) $(\text{NdPr})_2\text{O}_3$ (99,5 %, Plan: 6.075 t/J.), b) mittelschweres/schweres SE-Oxalat/-Konzentrat (99 %), c) $\text{La}_2(\text{CO}_3)_3$ (99 %), d) LaCeCl_3
- White Mesa Mill, Utah (Energy Fuels Inc.):
seit H1 2024 Umsetzung des Plans zur Eigenproduktion von 10.000 t SE-Produkten/J. aus Monazit bzw. SE-Mischkarbonaten, 1. Phase: Produktion von 35 t Nd/Pr-Oxalat, ab 2025/26 Produktion von 800 – 1.000 t/J. $(\text{NdPr})_2\text{O}_3$, 2. Phase ab 2026/27 Produktion bis zu 3.000 t $(\text{NdPr})_2\text{O}_3$ /J. sowie schweren SEO

Im Jahr 2023 wurden in den USA 200 t $(\text{NdPr})_2\text{O}_3$ produziert.

Vietnam

- Phú Lý, Hà Nam Provinz (Vietnam Rare Earth JSC (VTRE), seit Oktober 2023 stillgelegt):
SE-Aufbereitungsanlage (Kapazität 18.000 t SEO/J., davon 2.000 t schwere SEO/J.); Aufbereitung von Xenotimkonzentrat u. a. zu CeO_2 , La_2O_3 (beide 99 – 99,99 %), $(\text{NdPr})_2\text{O}_3$, Nd_2O_3 , Pr_6O_{11} , Gd_2O_3 , Tb_2O_3 , Dy_2O_3 , Y_2O_3 und $(\text{SmEuGd})_2\text{O}_3$ (alle 99 – 99,9 %)
- Thanh Khuong, Bac Ninh Provinz (Vietnam Rare Earth Co. Ltd., 100 % Shenghe Resources Holding Co., Ltd.):
Aufbereitung von SE-Magneten und SE-Erzen (Kapazität: 15.000 t/J.?) sowie Raffinade der SEO (Kapazität: 12.000 t/J.?). Details nicht publiziert
- Hải Phòng City, Hải Phòng Provinz (Shin-Etsu Magnetic Materials Vietnam Co., Ltd.):
Aufbereitung von SE-Magneten und SE-Erzen sowie Raffinade der SEO (Kapazität

1.000 t/J., Details nicht publiziert) für die angegliederte SE-Magnetproduktion

Im Jahr 2023 wurden aus Vietnam durch China, untergeordnet auch Japan und weiteren Ländern, insgesamt 3.634 t SE-Verbindungen importiert.

Japan

- Echizen, Fukui Präfektur (Shin-Etsu Chemical Co., Ltd.):
SE-Aufbereitungsanlage (Werk Takefu); Aufbereitung von SE-Vorprodukten und Rezyklaten zu SE-Oxiden aller SEE in verschiedenen Korngrößen und Qualitäten (99,9 – 99,9999 %), verschiedenen Y-Produkten (YF_3 , YOF, Y-Al-Granat), Yb-Silikaten, SE-Metallen sowie SE-Magneten
- Tosen, Omuta, Präfektur Fukuoka (Nippon Yttrium Co., Ltd., 100 % Mitsui Mining & Smelting Co., Ltd.):
SE-Aufbereitungsanlage; Aufbereitung von SE-Vorprodukten und Rezyklaten (?) zu SE-Oxiden aller SEE in verschiedenen Korngrößen und Qualitäten (99,9 – 99,999 %), SE-Chloriden, -Acetaten, -Fluoriden, -Oxyfluoriden, -Sulfaten und -Nitraten, SE-Metallen sowie SE-Magnetgrundstoffen

Russland

- Solikamsk, Perm Oblast (OOO Lovozersky GOK, 100 % ROSATOM):
SE-Ti-Ta-Nb-Aufbereitungsanlage; Aufbereitung von Loparitkonzentrat u. a. zu SE-Chloriden und daraus zu SE-Mischkarbonaten sowie untergeordnet SE-Nitratlösungen und CeO_2 (Gesamtkapazität: 3.600 t SEO-Inhalt/J.); Plan zur Eigenproduktion von Ce- und La-Produkten, Nd_2O_3 , Pr_6O_{11} sowie einem mittelschweren SE-Konzentrat ab 2026

Im Jahr 2023 wurden in Russland SE-Produkte, v. a. SE-Mischkarbonate, mit einem SEO-Inhalt

von ca. 2.060 t produziert. Im gleichen Jahr wurden aus Russland durch Estland, untergeordnet auch weiteren Ländern, insgesamt 4.274 t SE-Verbindungen importiert.

Estland

- Sillamäe (NPM Silmet OÜ, 100 % Neo Performance Materials Inc.): SE-Aufbereitungsanlage (Kapazität 3.000 t SEO/J.); Aufbereitung von SE-Mischkarbonaten zu separierten SEO bzw. verschiedenen SE-Produkten (Ce_2O_3 , CeO_2 , $\text{Ce}_2(\text{CO}_3)_3$, $(\text{LaCe})_2\text{CO}_3$, $(\text{NdPr})_2\text{O}_3$, Pr_6O_{11} , $\text{Pr}_2(\text{CO}_3)_3$, $(\text{SmEuGd})_2\text{O}_3$, Nd_2O_3 , NdF_3 , Nd/Pr-Metall, SE-Fluoriden, SE-Nitrat-Lösungen, Ni-basierten SE-Legierungen, Nd-Fe-Legierungen, Nd-Fe-B-Legierungen

Im Jahr 2023 wurden aus Estland insgesamt 2.322 t SE-Produkte, davon knapp 73 % auf Cer-Basis, exportiert.

Indien

- Udyogamandal nahe Aluva/Kerala State (IREL (India) Ltd.): SE-Aufbereitungsanlage (Verarbeitungskapazität: 3.600 t Monazit/J.); Aufbereitung von Monazit sowie Weiterverarbeitung von SE-Chloriden aus Chhatrapur (s. u.) zu SE-Mischchloriden und daraus zu La- und Ce-Karbonaten, Nd/Pr-, Sm-, Gd-, Dy- und Y-Oxalaten (jeweils > 99 %)
- Moturupalem, Visakhapatnam Distrikt, Andhra Pradesh State (Toyotsu Rare Earths (India) Pvt. Ltd.): SE-Aufbereitungsanlage (Rare-Earth Extraction Plant (REEP), Verarbeitungs(?)kapazität: 10.000 t/J.); Aufbereitung von SE-Mischchloriden der Monazite Processing Plant (MoPP) der IREL (India) Ltd. in Chhatrapur, Odisha State, zu La-, Ce-, Pr-, Nd-, Pr/Nd-Oxiden, Ce-Karbonat sowie einem mittelschweren/schweren SE-Mischkarbonat

Im Jahr 2019 wurden in Indien SE-Produkte, v. a. SE-Chloride, mit einem SEO-Inhalt von 2.381 t produziert. Aktuellere Daten wurden noch nicht publiziert. Im Jahr 2023 wurden aus Indien insgesamt 1.830 t SE-Produkte importiert.

Malaysia

- Kuantan (Lynas Rare Earths Ltd.): SE-Aufbereitungsanlage (Lynas' Advanced Materials Plant (LAMP), Gesamtkapazität: 22.000 t SE-Produkte/J.); Aufbereitung von SE-Mineralkonzentrat aus Mt. Weld/Australien zu $(\text{NdPr})_2\text{O}_3$, CeO_2 , La/Ce-Oxid, mittelschweren SE-Mischoxiden (SEG) sowie Ce- und La/Ce-Karbonaten

Im Jahr 2023 wurden in Malaysia in der LAMP SE-Produkte mit einem SEO-Inhalt von 13.980 t produziert.

Kasachstan

- Stepnogorsk, Akmola Oblast (MAST LLP): SE-Aufbereitungsanlage (SARECO Plant); Aufbereitung von Rückständen der Uranerzaufbereitung in West- und Nordkasachstan (Kapazität: 1.500 t SEO/J. (in Form von 1.200 t leichten SE- + 300 t schweren SE-Karbonaten/J.)), 2023 Produktion eingestellt

Im Jahr 2023 wurden aus Kasachstan durch China 1.556 t SE-Metallverbindungen importiert.

Tab. 21: Übersicht der weltweiten Raffinadeproduktion (in t SEO-Inhalt) von Seltenen Erden im Zeitraum 2020 – 2023. n. v. = nicht verfügbar.

Land	Quelle	2020	2021	2022	2023
China	heimische Erze	157.800	175.400	172.000	192.500
	Bastnäsitkonzentrat USA	35.600	40.300	40.400	39.500
	importierter Monazit	13.800	21.400	23.800	23.300
	importierte Zwischenprodukte	22.700	23.200	14.900	53.300
USA	Mountain Pass	0	0	0	200
	White Mesa Mill	0	0	0	0
Vietnam	Xenotimkonzentrat u. a.	1.500	2.200	2.900	2.700
Japan	importierte Vorkonzentrate	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.
Russland	Lovozero	2.700	2.300	2.200	2.100
	Apatit-/Uran-Erze	100	100	200	0
Estland	importierte Vorkonzentrate	1.400	2.000	1.700	2.000
Indien	Monazitkonzentrate	1.100	700	700	800
Malaysia	import. Mineralkonzentrat	14.600	15.600	16.600	14.000
Kasachstan	Uranerzaufbereitungshalden	100	300	300	600
Welt		251.400	283.500	275.700	331.000

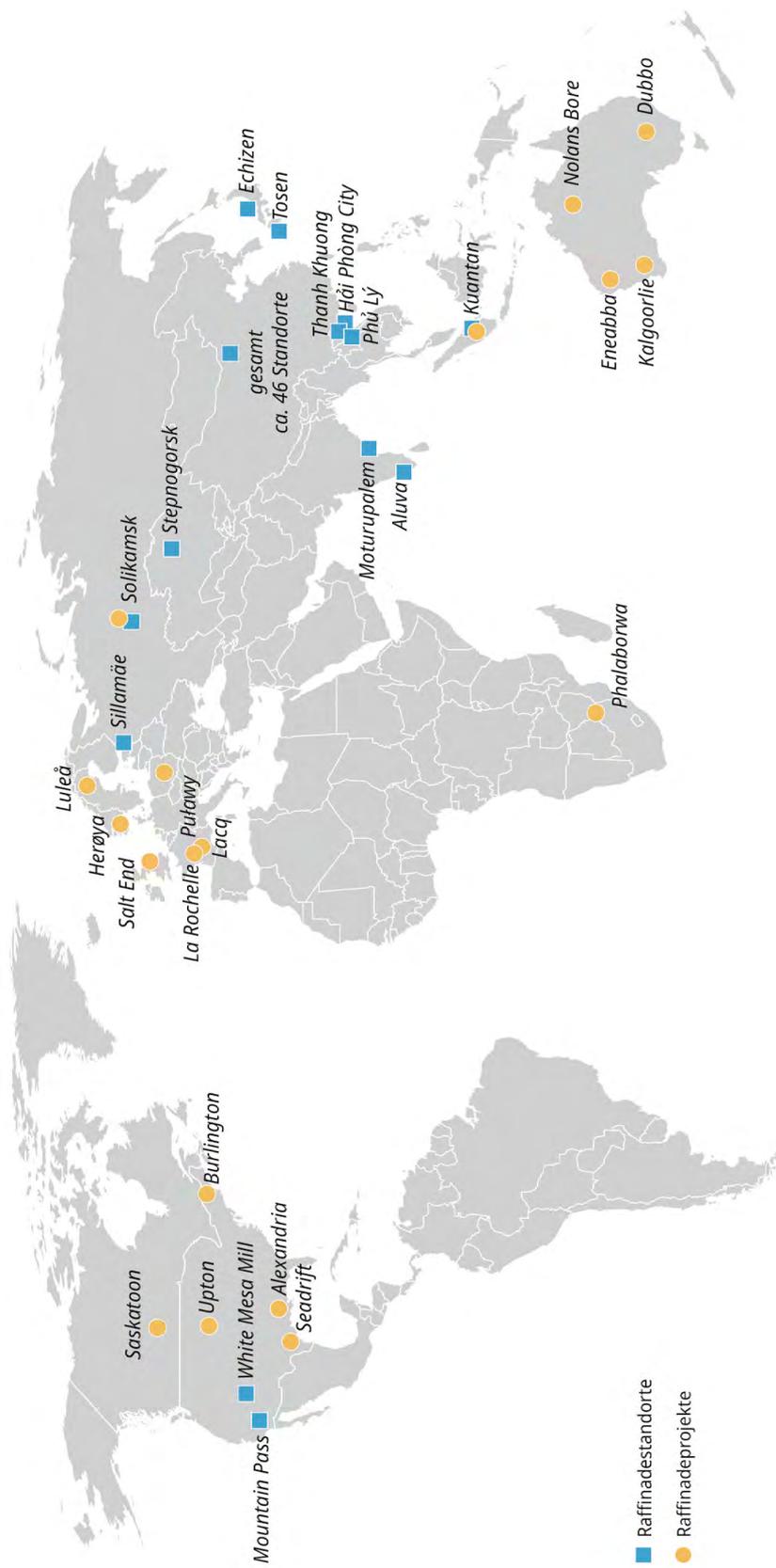


Abb. 20: Übersichtskarte der weltweiten Raffinadestandorte mit Produktion von Seltene Erden sowie von Raffinadeprojekte.

4.4.3 Projekte

Australien

Kalgoorlie Rare Earths Processing Facility, Western Australia (Lynas Rare Earths Ltd.); Hydrometallurgie

Offizielle Eröffnung der Kalgoorlie Rare Earths Processing Facility war im November 2024. Ausgangsmaterial ist SE-Konzentrat aus dem eigenen Bergwerk Mt. Weld (WA), später eventuell auch Material von anderen SE-Projekten. Die Kapazität liegt bei 9.000 t NdPr/J. in Form von SE-Mischkarbonat. Produziert wird ein gemischtes SE-Karbonat, das zu den eigenen Separationsanlagen nach Malaysia (Gebeng) oder, sobald in Betrieb, USA/Texas (Projekt für schwere SEO) exportiert werden soll. Lynas wurde für den Bau der Anlage sowohl von der lokalen, der australischen als auch westaustralischen Regierung stark unterstützt.

Eneabba Rare Earths Refinery, Western Australia (Iluka Resources Ltd.); Hydrometallurgie und Separation (SX)

Die SE-Aufbereitungsanlage (Eneabba Rare Earths Refinery) befindet sich in Bau, geplanter Produktionsbeginn ist 2027. Verarbeitet werden soll zunächst eigener Monazit und Xenotim aus aufbereitetem Haldenmaterial der ehemaligen Schwermineralsandgewinnung bei Eneabba. Darüber hinaus sollen Konzentrate von Ilukas Wimmera-Projekt und anderen Lagerstätten aus dem Portfolio von Iluka sowie eine Reihe von Lagerstätten Dritter (bspw. aus Browns Range, Australien) verarbeitet werden. Das Projekt umfasst drei Phasen: Phase 1 (abgeschlossen): Produktion eines Schwermineral-Monazit-Konzentrats (@ 20 % Monazit) und Export nach China. Phase 2: Produktion eines reinen Monazitkonzentrats (@ 90 % Monazit), dieses Monazitkonzentrat wird für die eigene Weiterverarbeitungsanlage der Phase 3 gelagert. Phase 3: Aufbereitung, Trennung und Veredelung am Standort Eneabba, um separierte Seltenerdoxide zu produzieren. Die geplante Jahreskapazität der Hydrometallurgie liegt bei 55.000 t SE-Konzentrat, die der Separationsanlage bei etwa 17.500 – 23.000 t SEO mit entspre-

chend 5.000 – 5.500 t NdPr-Oxid und 500 – 750 t DyTb-Oxid. Geplante Produkte sind Nd/Pr-, Dy/Tb-Oxide sowie weitere Oxide und Karbonate von mittelschweren, schweren SE und Y sowie LaCe (s. Anhang I). Im Rahmen der Australian Government's Critical Minerals Facility erhält Iluka für den Bau von der australischen Regierung ein Darlehen ohne Rückgriffsrecht in Höhe von 1,65 Mrd. AU\$.

Nolans Bore, Northern Territory (Arufura Resources Ltd.); Hydrometallurgie und Separation

Geplanter Produktionsstart ist 2026, die volle Kapazität soll 2028 erreicht werden. Ausgangsmaterial ist ein SE-Konzentrat (Apatit, Monazit, Allanit) der eigenen Lagerstätte (~50 km nördlich Alice Springs). In der hydrometallurgischen Anlage soll SE-Chlorid produziert und dann daraus NdPr-Oxid separiert werden. Geplante Produkte sind: NdPr-Oxid (4,440 t/J.), gemischte mittelschwere/schwere SEO (470 t/J.), Ce-Hydroxid sowie 54%ige Phosphorsäure. Die Aufbereitung der gemischten mittelschweren/schweren SEO ist in der SRC Rare Earth Processing Facility in Saskatchewan (Kanada) geplant. Für NdPr-Oxid gibt es Abnahmeverträge mit Siemens Gamesa Renewable Energy (520 t NdPr-Oxid/J.) und Hyundai Motor Company/Kia (1.500 t NdPr-Oxid/J.) (s. Anhang I).

Dubbo/Toongi, New South Wales (Australian Strategic Materials (Holding) Ltd., ASM); Hydrometallurgie und Separation

Geplanter Produktionsstart der Anlage ist zzt. 2028. Ausgangsmaterial ist das eigene SE-Konzentrat aus dem Dubbo-Projekt. Geplante Produkte sind: NdPr-Oxid (1.432 t/J.), Tb-Oxid (22 t/J.), Dy-Oxid (142 t/J.), SmEuGd-Chloride (454 t/J.), schwere SE-Chloride (1.180 t/J.), LaCe-Chloride (zzgl. ZrO₂, Hf-freies ZrO₂, HfO₂ und FeNb). Eine Weiterverarbeitung der SE-Oxide und Chloride zu Metallen ist in der zum Unternehmen gehörenden Korean Metals Plant (KMP) in Südkorea möglich. Australian Strategic Materials (ASM) soll einen Zuschuss von 6,5 Mio. AU\$ von der australischen Regierung für das Dubbo-Projekt erhalten (s. Anhang I).

Frankreich

Caremag, Lacq, Aquitanien (Carester SAS); Recycling, Separation

Caremag SAS, eine Tochtergesellschaft von Carester SAS, plant im Industriepark von Lacq den Bau einer Recycling- und Separationsanlage für Seltene Erden. Der kommerzielle Betrieb soll Ende 2026 aufgenommen werden, die Lieferung erster SEO könnte bereits ab 2027 beginnen.

Ausgangsmaterial sind Primär- und Sekundärrohstoffe. Die Anlage soll jährlich 2.000 t End-of-Life-Magnete recyceln und 5.000 t Bergbaukonzentrate aufbereiten. Herkunft und Art der Erze wurden bisher nicht bekanntgegeben. Später soll der Schwerpunkt auf Recycling liegen. Produkte werden reine SEO sein. Geplante Kapazitäten sind: 650 t NdPr-Oxid (> 99,5 %), 150 t Nd-Oxid (> 99,5 %), 500 t Dy-Oxid (> 99,95 %) und 90 t Tb-Oxid (> 99,95 %).

Über ihr Joint Venture „Japan France Rare Earth“ wollen die Japan Organization for Metals and Energy Security (JOGMEC) und das Unternehmen Iwatani Corp. bis zu 110 Mio. € in Form von Eigenkapital und Gesellschafterdarlehen investieren. Dieses Investitionsabkommen beinhaltet einen langfristigen Liefervertrag zur Versorgung Japans mit schweren SEO.

Seitens der französischen Regierung gab es finanzielle Unterstützung in Höhe von insgesamt 106 Mio. € über Subventionen, rückzahlbare Vorschüsse sowie Steuergutschriften.

Anfang 2025 unterzeichnete Carester eine Vereinbarung über eine strategische Partnerschaft mit dem belgischen Unternehmen Solvay S.A., welches in Frankreich ebenfalls eine Aufbereitung für SE entwickelt.

La Rochelle (Solvay S.A.); Separation, Metallproduktion und Magnetherstellung

Basierend auf bestehender Weiterverarbeitungsanlage (ehemals Monazit-/Xenotimaufbereitung, siehe Kapitel 4.4.1, und Recycling von Phosphorstäuben aus Leuchtstofflampen). Ausbau auf Separation von leichten, mittelschweren

und schweren Seltenen Erden mit Schwerpunkt auf dem Bedarf für die Magnetproduktion. Einweihung der Produktionslinie für Permanentmagnete im Jahr 2025.

Ausgangsmaterial sind Primär- und Sekundärrohstoffe. Zu Beginn sollen 100 % recyceltes Material verwendet werden, z. B. SE-Mischoxide (Menge unbekannt) aus recycelten EoL-Magneten von dem kanadischen Unternehmen Cyclic Materials Inc. (dessen Kapazität derzeit: 10 t/J., Ziel für 2026: 600 t/J., für 2030: 3.000 t/J.). Es besteht zudem ein Abnahmevertrag mit dem Yangibana-Projekt von Hastings in Australien über 2.500 t/J. SE-Mischkarbonat (Hastings hat u. a. auch Abnahmeverträge für SE-Mischkarbonat mit Schaeffler Technologies AG & Co. KG und thyssenkrupp Materials Trading GmbH geschlossen). Außerdem gibt es eine Ankündigung der Avalon Advanced Materials Inc. zur Lieferung von SE-Mischkarbonat (Menge unbekannt) von deren kanadischem Nechalecho-Projekt.

Die Produktionskapazitäten von Solvay sind nicht bekannt (zu Beginn „einige hundert Tonnen“). Das Unternehmen gibt an, bis 2030 30 % des europäischen SE-Bedarfs zu decken. Hierfür wären Investitionen über 100 Mio. € erforderlich.

Kanada

Saskatoon, Saskatchewan (Saskatchewan Research Council, SRC); Hydrometallurgie und Separation (per Rapid SX® Verfahren) sowie Metallproduktion

Pilotanlage in Betrieb, Vorproduktion gestartet mit 10 t NdPr-Metal/Monat im September 2024, Ramp-Up auf 40 t/Monat bzw. 400 t/J. im Jahr 2025 angekündigt. Inputmaterial u. a. Monazitkonzentrat sowie mittelschwere/schwere SE von Arafuras Nolans Bore Projekt in Australien sowie ab Juni 2025 bis zu 3.000 t SE-Karbonat/J. von der Hung Thinh Group (HTG) aus Vietnam. Die jährlichen Kapazitäten werden angegeben mit (bis zu) 1.900 t gemischtes La/Ce-Karbonat mit ~600 t Ce-Oxid-Inhalt und ~300 t La-Oxid-Inhalt sowie 450 t gemischtes (mittel-)schwe-

res SE-Karbonat mit ~75 t mittelschwerem und ~100 t schwerem SE-Inhalt. Daraus sollen jährlich 400 t Nd-Pr-Metalllegierungen sowie 20 t Dy-Oxid und 5 t Tb-Oxid separiert werden. Indirekt gehen diese über Abnahmeverträge von Zulieferer Arafura u. a. an Hyundai, Kia und Siemens Gamesa. Finanzierung u. a. durch (Lokal-) Regierung (~100 Millionen C\$).

Malaysia

Gebeng, Kuantan (Lynas Rare Earths Ltd.), SSE-Project der Lynas' Advanced Materials Plant (LAMP); Hydrometallurgie und Separation

Erweiterung der bestehenden Anlage auf schwere SE-Produkte. Ab 2025 sollen auch Dy und Tb separiert werden. Bisher werden nur gemischte mittelschwere/schwere SE-Oxide gewonnen. Die Gesamtkapazität von LAMP beträgt 22.000 t SE-Produkte/J., die für mittelschwere/schwere SE 1.500 t/J. Die Produktpalette wird um Dy, Tb, ein mittelschweres SE-Konzentrat, Ho-Konzentrat und ungetrennte schwere SE+Ho (Sm/Eu/Gd/Ho nach der Abtrennung von Dy und Tb aus der schweren SE+Ho-Verbindung) erweitert. Verarbeitet wird u. a. SE-Konzentrat von Mt. Weld und gemischtes SE-Karbonat der eigenen Hydrometallurgie-Anlage in Kalgoorlie (AUS).

Norwegen

Herøya, Porsgrunn (REEtec A.S.); Separation per Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (engl. „High Performance Liquid Chromatography“, HPLC)

Die Pilotanlage ist in Betrieb, eine kommerzielle Anlage im Bau. Der Produktionsstart mit einer jährlichen Kapazität von 720 t NdPr-Oxid war für den Spätherbst 2024 angekündigt, konnte bisher aber noch nicht umgesetzt werden. Geplant ist der Einsatz von z. B. SEO-Mischkarbonat (u. a. aus dem Projekt Fen, Rare Earths Norway) oder einem SE-Vorprodukt der Apatitverarbeitung (Kiruna, LKAB), aufgrund der chromatographischen Trennverfahren ist das Ausgangsmaterial aber variabel. Hauptprodukt sind NdPr-Oxide,

aber auch weitere SEE-Oxide und -Nitratre sind möglich. Es besteht ein Abnahmevertrag mit der Schaeffler AG.

Polen

Puławy Rare Earth Separation Plant, Lublin (Mkango Resources Ltd. und Azoty Zakłady Azotowe Pulawy, The Grupa Azoty Group); Separation

Mkango Resources hat für den Aufbau einer Separationsanlage in Polen die polnische Tochtergesellschaft Mkango Polska gegründet. Die Anlage soll an den großen Düngemittel- und Chemiekomplex von Grupa Azoty PULAWY in Pulawy angrenzen. Technische Unterstützung soll von CARESTER/F kommen. Verarbeitet werden soll gemischtes SE-Karbonat aus dem Songwe Hill-Projekt (Malawi) von Mkango Resources. Geplante Produkte sind NdPr-Oxid (2.000 t/J.), ein SSE-Karbonat angereichert mit Dy- und Tb-Oxid (50 t (Dy/Tb-Oxid)/J.) sowie ein La/Ce-Karbonat.

Russland

Solikamsk, Perm Oblast (OOO Lovozersky GOK, 100 % ROSATOM); Separation

Die Solikamsk Magnesium Plant OJSC plant die Erweiterung der bestehenden Anlage um eine eigene Separation von SEO. Bisher wird das Loparitkonzentrat aus Lovozero hauptsächlich zu SE-Verbindungen (SE-Mischkarbonat) verarbeitet und anschließend exportiert (s. Kapitel 4.4.2). Zukünftig soll zum Aufbau einer eigenen SE-Wertschöpfungskette in Russland die Separation zu SEO erfolgen. Geplant ist ab 2026 die jährliche Produktion von 2.050 t Ce- und La-Produkten, 450 t NdPr-Oxid sowie einem mittelschweren SEO-Konzentrat. Später (2028) soll auch eine Magnetproduktion in Glazov durch ROSATOM MetalTech erfolgen.

Schweden

Luleå, Kiruna, Schweden (LKAB); Hydrometallurgie

Am Industriestandort Luleå plant LKAB eine Aufbereitung von Apatit, der aus Abbaurückständen der Eisenerzproduktion in Gällivare stammt. Baubeginn war Januar 2025. Eine spätere Ausweitung der Produktion ist durch den zukünftigen Abbau der neuen Lagerstätte Per Geijer in Kiruna vorgesehen. Produziert werden sollen ab 2029/2030 ein „SE-Oxid-Konzentrat“, Phosphorsäure für die Herstellung von Mineraldünger und Gips. LKAB ist an REETec, Norwegen beteiligt, durch die möglicherweise die weitere Aufbereitung erfolgen könnte.

Südafrika

Phalaborwa Phosphogipshalden (Rainbow Rare Earths Ltd.); Hydrometallurgie und Separation mittels Ionenaustausch und Ionenchromatographie

Eine Pilotanlage zur Separation wurde von K-Technologies Inc. in Florida aufgebaut (in Betrieb seit 2023) und wird zu dem Standort der Phosphogipshalden nach Phalaborwa, Südafrika überführt. Dort soll das Haldenmaterial nach der hydrometallurgischen Aufbereitung über ein gemischtes SE-Karbonat dann weiter zu NdPr-Oxid (Ziel > 99 % Reinheit) und mittelschweren SE separiert werden. Die US International Development Finance Corporation hat das Projekt für eine Investition in Höhe von 50 Mio. US\$ vorgeschlagen.

USA

Seadrift, Texas (U.S. Rare Earths Processing Facility der Lynas USA, LLC, eine US-amerikanische Tochter des australischen Unternehmens Lynas Rare Earths Ltd.); Separation (SX)

Geplanter Produktionsstart für die SE-Separationsanlage ist das Geschäftsjahr 2025/26. Der Baubeginn der Anlage, geplant für 2024, musste aufgrund von Genehmigungsproblemen al-

lerdings verschoben werden. Ausgangsmaterial sind SE-Mischkarbonate aus der Lynas-internen Hydrometallurgie-Anlage in Kalgoorlie (Australien, verarbeitet eigenes SE-Erz aus Mt. Weld) und gemischte mittelschwere SE (SEG) aus der Lynas Separationsanlage in Malaysia. Geplant ist eine jährliche Kapazität von 2.500 – 3.000 t schweren und 5.000 t leichten SE-Produkten. Die US-Regierung hat Lynas USA, LLC über das US-Verteidigungsministerium (DoD) mit 258 Mio. US\$ für den Bau und Betrieb der Verarbeitungsanlage gefördert.

Mountain Pass, Kalifornien, (MP HREE Facility); Separationsanlage (für schwere SE)

MP Materials Corp. setzt seit Ende 2023 einen Plan zur Eigenproduktion (Stage II) am Standort Mountain Pass, CA um. Produziert werden seit 2024 bereits Produkte der leichten SE. Der Plan umfasst auch den Bau einer Separationsanlage für schwere SE (HREE Facility) mit Förderung durch das US Department of Defense. Ausgangsmaterial ist mittelschweres/schweres SE-Oxalat/-Konzentrat (99 %) aus der bestehenden Aufbereitungsanlage. Die schweren SE werden in Fort Worth, TX (Stage III) zu SE-Metallen und SE-Legierungen (ab Ende 2024) sowie SE-Magnete (1.000 t/J., ab Ende 2025) weiterverarbeitet. Mit der General Motors Company besteht ein Abnahmevertrag für die produzierten SE-Magnete.

Alexandria, Louisiana (Louisiana Strategic Metals Complex (LA-SMC) der Ucore Rare Metals Inc.); Separation

Separation per neu entwickeltem RapidSXTM-Verfahren, wodurch laut Ucore die Lösungsmittelextraktion (SX) mindestens dreimal schneller durchgeführt werden kann als in herkömmlichen Anlagen. Eine Demonstrationsanlage ist seit 2023 in Kingston, ON (Kanada) in Betrieb, der Bau einer kommerziellen Anlage in Kooperation mit Kingston Process Metallurgy Inc. mit Produktionsstart Ende 2025 ist in Louisiana geplant. Inputmaterial ist gemischtes SE-Karbonat aus verschiedenen möglichen Quellen, z. B. aus den Vorkommen Bokan/USA, Caldeira/Brasilien (Abkommen über 3.000 t SEO/J.), Wicheeda/Kanada oder Deep Leads-Rubble Mound/Aus-

tralien. Ab Ende 2025 ist die Verarbeitung von 2.000 t SEO/J. geplant, bis 2026 eine Erweiterung auf 5.000 t SEO/J. und bis 2027 auf 7.500 t SEO/J. (ohne Ce- und Y-Oxid). Produkte sind separierte leichte und schwere SE (initialer Fokus auf NdPr, Pr, Nd, Tb und Dy; mögliche künftige Produkte schließen auch LaCe, Gd, Ho, Ho-Lu und Y ein). Vom US-Verteidigungsministerium (DoD) gibt es eine Zusage für eine Förderung in Höhe von 4 Mio. US\$, um die kommerzielle Wirksamkeit einer RapidSX™-Separationstechnologie in den USA zu demonstrieren.

Upton, Wyoming (Bear Lodge Pilotanlage der Rare Element Resources Ltd.); Erz-Aufbereitung, Hydrometallurgie, Separation

In Bau, Produktionsbeginn für die Pilotanlage ist für 2025 geplant mit einer Laufzeit von 8 – 12 Monaten. Die Anlage, in der das SE-Konzentrat der Lagerstätte Bear Lodge (USA) weiterverarbeitet wird, dient zur Bewertung einer kommerziellen Anlage, die dann auch Material Dritter verarbeiten soll. Die Kapazität der Demonstrationsanlage liegt bei bis zu 15 t NdPr-Oxid/J. Produkte sind NdPr-Oxid (> 99,5 %), La, mittelschwere und schwere SE-Mischkonzentrate. Die Aufbereitungsplanung erfolgt durch die Umwelt- und Ingenieurtechnik GmbH (UIT), Dresden, in deren Laboren umfangreiche Tests in einer Pilotanlage durchgeführt wurden. Eine finanzielle Unterstützung durch das U.S. Department of Energy (DOE) in Höhe von 22 Mio. US\$ und der Wyoming Energy Authority (WEA) in Höhe von 4,4 Mio. US\$ wurde zugesagt.

Burlington, Massachusetts (Phoenix Tailings Inc.); Hydrometallurgie, Separation, Metallproduktion

Eine Pilotanlage in Burlington, MS ist seit 2023 in Betrieb. 2025 ist der Bau einer Demonstrationsanlage in Exeter, NH mit einer Jahreskapazität von 200 t geplant. Später ist der Bau einer kommerziellen Anlage in den USA vorgesehen. Inputmaterial sind SE-Oxide und gemischte SE-Konzentrate aus Bergbaurückständen. Die seit 2023 produzierende Pilotanlage hat eine Kapazität von 10 t SE/J. Diese soll auf 200 t SE/J. (ursprünglich 120 t/J.) erweitert werden. Langfristig ist eine Anlage mit einer Jahreskapazität von

5.000 t SE geplant. Produziert wird derzeit eine Ferro-Dysprosium Legierung (DyFe), Nd und Dy. Weitere SE-Metalle sollen folgen. Phoenix Tailings hat im Dezember 2024 eine Serie-B-Finanzierungsrunde in Höhe von 43 Mio. US\$ abgeschlossen, um die Produktion auf 200 t/J. SE zu steigern. Zu den Geldgebern gehören u. a. BMW und Yamaha. Das Unternehmen hatte zuvor 30 Mio. US\$ an Finanzmitteln und weitere 5 Mio. US\$ an Zuschüssen von US-Regierungsstellen, darunter dem Energie- (DoE) und dem Verteidigungsministerium (DoD), erhalten.

Vereinigtes Königreich

Saltend, England (Pensana plc.); Separation

Pensana plc. entwickelt das SE-Longonjo-Projekt in Angola und plant eine SE-Separationsanlage für das dort gewonnene SE-Mischkarbonat (aus Karbonatit) im Saltend Chemicals Park Humber in Yorkshire, UK. Der geplante Produktionsstart 2025/2026 ist jedoch sehr unwahrscheinlich. Die geplanten Kapazitäten liegen bei 12.500 t SEO/J. und 4.400 t NdPr-Oxid/J. Produziert werden sollen zunächst eine SE-Chloridlösung und daraus La- und Ce-Karbonate, NdPr-Oxid sowie ein mittleres bzw. schweres SE-Mischkarbonat. Für Pensana liegt der Schwerpunkt auf der Finanzierung und Entwicklung des Longonjo-Projekts, daher wurden die Vor-Ort-Aktivitäten für das Saltend-Projekt vorerst eingestellt. Sobald Longonjo im Bau ist, soll die Anlage in Saltend wieder weiterentwickelt werden. Für die Separationsanlage gab es ein UK-Government-Darlehen über 4 Mio. £.

4.5 Recycling

Die End-of-Life Recycling Input Rate (EoL-RIR) liegt in der EU derzeit bei unter 1 % und trägt somit nur marginal zur Versorgung mit Seltenen Erden bei. Neben technischen Herausforderungen stellen insbesondere die dissipative Verteilung in den unterschiedlichen Anwendungen und die bisher geringe Gesamtmenge bzw. die niedrige Rücklaufquote, u. a. aufgrund nicht vorhandener Sammel- und Rückführsysteme

sowie fehlender wirtschaftlicher Anreize, die größten Herausforderungen für ein wirtschaftliches Recycling dar.

Das Recycling von Phosphorstäuben aus Leuchtstofflampen wurde u. a. von der Rhodia S.A. (ein Unternehmen der Solvay-Gruppe) in ihren französischen Anlagen Saint Fons und La Rochelle in Zusammenarbeit mit der OSRAM GmbH vorangetrieben. Nach HCl-Laugung der Stäube, um Ca- und P-Verunreinigungen abzutrennen, und weiteren Extraktionsschritten können die enthaltenen SE-Metalle (u. a. Y, Eu, Tb) wiedergewonnen werden. Aus betriebswirtschaftlichen Gründen hat Rhodia das SE-Recycling aus Leuchtstofflampen allerdings mittlerweile wieder eingestellt (ROSKILL 2021).

Eine Rückgewinnung der für die Phosphoreszenz von Computerbildschirmen und Smartphones eingesetzten SEE (typischerweise Eu, Tb, Y, Gd, La, Ce) erfolgt häufig direkt bei den Herstellern, die die SE so direkt in neue Produkte einsetzen können (KALVIG 2022). Fortschritte gibt es auch bei Methoden zum Recycling von

Ce-Polituren der Glasindustrie, diese befinden sich allerdings noch im Labormaßstab.

Bei dem Recycling von NiMH-Akkumulatoren, für die es eine verhältnismäßig hohe Rücklaufquote gibt, gehen die rund 7 % enthaltenen SEE (La, Ce, Nd, Pr, Sm) bei den derzeit angewendeten Verfahren zu über 90 % (SALAHİ et al. 2023) in der Schlacke verloren, da das Recycling auf die wirtschaftliche Rückgewinnung von Nickel, Eisen und Kobalt ausgerichtet ist. Hier gibt es allerdings aufgrund der relativ großen Rücklaufmengen (abhängig von der zukünftigen Entwicklung der Batterietechnologien) ein entsprechendes Recyclingpotenzial. Ein von den beiden Unternehmen Umicore S.A. und Rhodia S.A. bereits 2011 entwickelter Recyclingprozess, bei dem die von Umicore über Hochtemperaturverfahren an SE angereicherte Schlackephase zur weiteren Aufbereitung in die Anlagen gehen sollte, wurde bisher nicht im industriellen Maßstab umgesetzt.

Inzwischen liegt der Hauptfokus auf dem Recycling von NdFeB-Magneten (s. auch die DE-

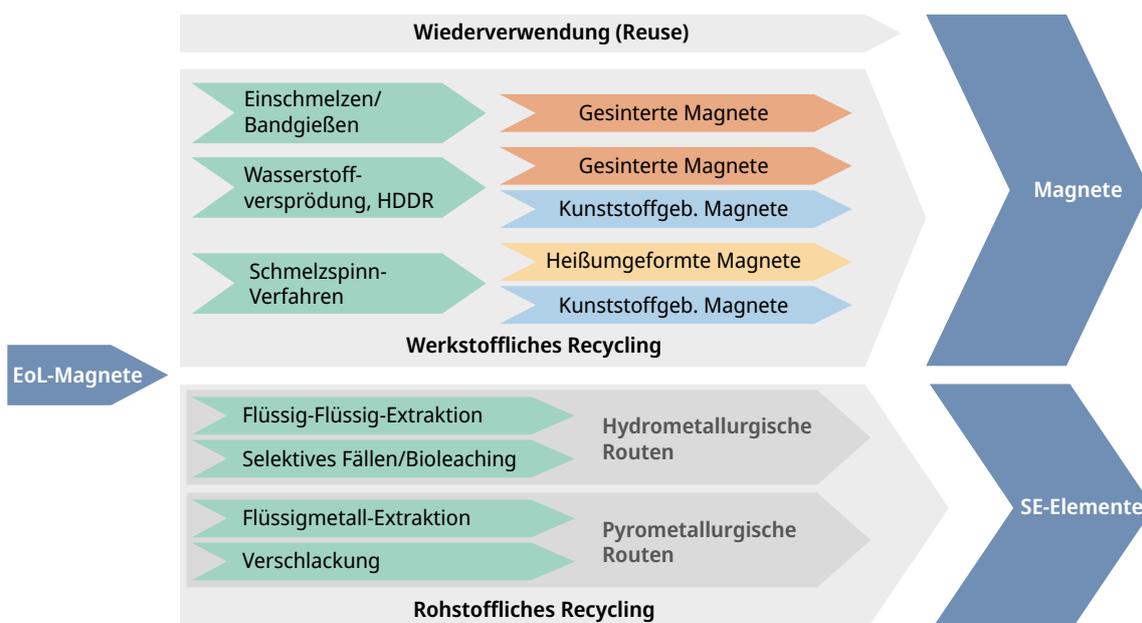


Abb. 21: Mögliche Verwertungsrouten von Altmagneten oder Produktionsabfällen mit den zur Anwendung kommenden Technologien. Aus SCHÖNFELDT et al. (2024), dort nach GAUSS et al. (2015).

RA-Studie zu Recycling von NdFeB-Magneten in Deutschland von SCHÖNFELDT et al. 2024). Gesinterte NdFeB-Magnete sind mit Blick auf stark steigende Einsatzmengen (u. a. E-Mobilität, Windkraft) und damit zu erwartenden zukünftigen Rücklaufquoten das SE-haltige Produkt mit dem größten Recyclingpotenzial. Neben der Wiederverwendung der Magnete („Reuse“) gibt es derzeit zwei relevante Recyclingprozesse, das werkstoffliche sowie das rohstoffliche Recycling von EoL-Magneten (siehe Abbildung 21).

Beim „Reuse“ werden die EoL-Magnete lediglich entmagnetisiert, gereinigt, ggf. in eine neue Form geschnitten und, nach dem Aufbringen einer neuen Korrosionsschutzschicht, wieder magnetisiert. Die direkte Wiederverwendung ist jedoch nur möglich, wenn die neue Anwendung die gleichen Anforderungen an die Magnetereigenschaften hat, wie sie von den EoL-Magneten vorgegeben wird.

Bei dem **werkstofflichen Recycling** (oft auch als „Short-Loop-Recycling“ bezeichnet) bleibt die Magnetlegierung und somit die chemische Zusammensetzung der EoL-Magnete bzw. von Produktionsabfällen der Magnetherstellung erhalten, die physikalischen Eigenschaften werden jedoch verändert. Somit kann eine größere Bandbreite von Recyclingmagneten hergestellt werden.

Über das Ein- bzw. Umschmelzen werden Bandguss-Plättchen erzeugt, ein grobes Pulver hingegen bei der Wasserstoffversprödung von EoL-Magneten (z. B. von der deutschen HyProMag GmbH bzw. dem britischen Kollaborationspartner HyProMag Ltd. oder dem französischen MagREESource eingesetzt). Beide Produkte können wie im Primärprozess über Feinmahlen, Ausrichten und Pressen, Sintern und Glühen, Schneiden, Schleifen und Beschichten sowie abschließender Magnetisierung zu gesinterten oder kunststoffgebundenen Magneten weiterverarbeitet werden (Abbildung 22). Dies erfolgt bis zur Bearbeitung im Vakuum oder unter Schutzgasatmosphäre, da die Seltenen Erden eine hohe Sauerstoffaffinität aufweisen. Um Verunreinigungen auszugleichen, werden ins-

besondere bei der Wasserstoffversprödung geringe Mengen an Primärrohstoffen zugegeben. Hierüber kann auch die chemische Zusammensetzung der neuen Magnete justiert werden.

Über das der Wasserstoffversprödung ähnliche HDDR-Verfahren („Hydrogenation Disproportionation Desorption and Recombination“; andere Drücke, höhere Temperaturen) entsteht ein feineres Magnetpulver, das nur für kunststoffgebundene Magnete eingesetzt werden kann. Diese sind auch das Hauptprodukt des Schmelzspinn-Verfahrens (z. B. von Heraeus Remloy/Heraeus AMLOY Technologies GmbH angewendet). Hierbei werden (EoL-)Sintermagnete induktiv aufgeschmolzen und auf einem rotierenden Metallrad sehr schnell abgekühlt, wodurch nanokristalline oder amorphe Bänder entstehen.

Das Recycling eines gesinterten Magneten zu einem kunststoffgebundenen Magneten bedeutet, dass dieser aufgrund der Feinkörnigkeit und der verwendeten Epoxid-Harze nicht erneut werkstofflich recycelt werden kann. Daher wird derzeit die Herstellung von heißumgeformten Magneten aus dem Schmelzspinn-Verfahren erprobt. Diese könnten erneut dem Recyclingprozess zugeführt werden.

Das **rohstoffliche Recycling** (oft auch als „Long-Loop-Recycling“ bezeichnet) hat zum Ziel, die in EoL-Stoffströmen enthaltenen SEE getrennt zurückzugewinnen und für neue Anwendungen bereitzustellen (i. d. R. Magnete). Mit den dafür nötigen hydro- bzw. pyrometallurgischen Verfahren und der nötigen Separation ist dieses Recyclingverfahren deutlich prozessintensiver und mit der Primärroute vergleichbar (s. Kapitel 4.1), hat allerdings gegenüber dem werkstofflichen Recycling den Vorteil, dass es unabhängiger von dem Inputmaterial ist. So können auch kleinere, geschredderte Mengen mit unterschiedlichen Magnetklassen und -Eigenschaften recycelt werden, so auch kunststoffgebundene Magnete. Die Fa. CARESTER aus Frankreich möchte dieses Verfahren mit einer Recyclingkapazität von 2.000 t EoL-SE-Magnete ab dem Jahr 2027 am Markt etablieren.

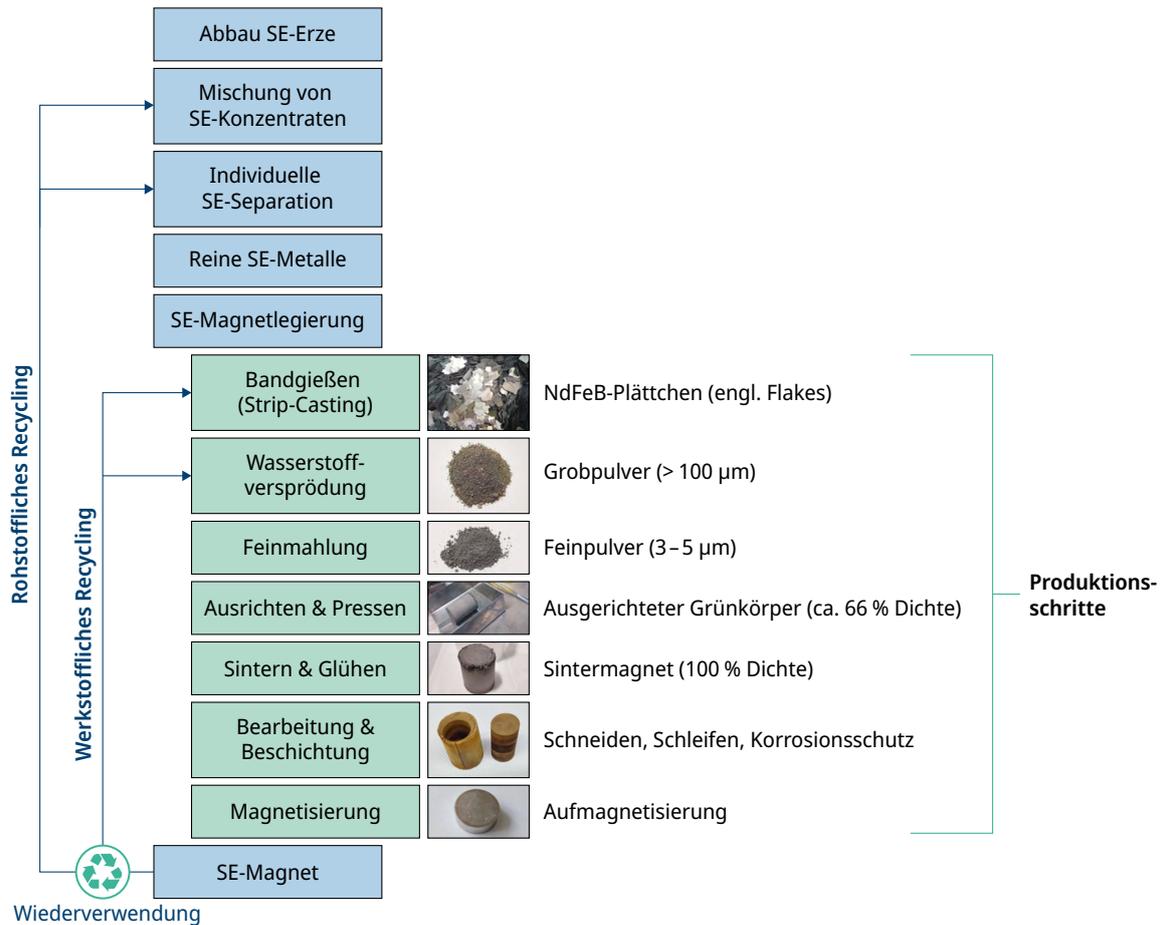


Abb. 22: Wertschöpfung, Produktionsschritte und unterschiedliche Recyclingmethoden bei der Herstellung von NdFeB-Sintermagneten. Aus SCHÖNFELDT et al. (2024), dort nach GAUSS et al. (2015).

Trotz vorhandener und im Pilotmaßstab erprobter Verfahren stehen alle europäischen SE-Recycler vor großen Herausforderungen. Die bereits erwähnte geringe Menge an EoL-Magneten, die für das Recycling zur Verfügung steht, bzw. die geringe Rücklaufquote, könnte mit besseren Sammel- und Rückführsystemen sowie einer Produktkennzeichnungspflicht verbessert werden. Aktuell werden über das Europäische Komitee für Normung (CEN) Standards zum „Labeling“ erarbeitet. Auch wenn die zu erwartenden Rücklaufmengen in Zukunft steigen werden, bleibt die Abschätzung über künftige Potenziale schwierig. Zudem gibt es unterschiedliche Legierungszusammensetzungen innerhalb der verschiedenen aktuellen und künftigen Anwendungen (z. B. E-Motoren, Generatoren von Wind-

kraftanlagen, Festplatten, Lautsprechern, Pumpen), was insbesondere für das werkstoffliche Recycling herausfordernd ist. Als Inputmaterial für das Schmelzspinnverfahren können derzeit nur große, gesinterte Magnete dienen, da ansonsten die Oberfläche des Inputmaterials und damit die Schlackenbildung zu groß wird. Aus dem Grund ist auch eine Kooperation zwischen Unternehmen mit unterschiedlichen Prozessen schwierig, da bspw. die mittels Wasserstoffversprödung zerlegten Magnete nicht im Schmelzspinnverfahren eingesetzt werden.

Die globale EoL-RIR für die SE-Magnetproduktion liegt nach internen Berechnungen bei 5,7 %, insbesondere durch das industrielle Recycling in SO-Asien. Die größte Herausforderung für ein

wirtschaftliches Recycling von SE-Magneten in der EU sind die zu hohen Kosten im Vergleich zu der (chinesischen) Primärroute. Ein Hebel, diese zu senken, wäre eine Steigerung der zur Verfügung stehenden Recyclingmenge, um eine Hochskalierung der Anlagen zu ermöglichen. Die Hoffnung der Recyclingindustrie liegt auch in einer deutlichen Erhöhung der Preise für Magnete. Damit könnte ein europäisches Magnetrecycling wirtschaftlich werden, das über den EU Critical Raw Materials Act auch gefordert wird (die Recyclingkapazität der Union soll bis 2030 mindestens 25 % des jährlichen EU-Bedarfs an strategischen Rohstoffen abdecken).

Die in der EU bzw. Europa gesammelten EoL-Magnete (z. B. von den in Deutschland ansässigen Rohstoffhändlern Lars Walch GmbH & Co. KG und RockLink GmbH) werden derzeit in der Regel nach Südostasien (z. B. China, Japan, Vietnam und die Philippinen) verkauft, wo die meisten industriellen Recyclingverfahren zur Verfügung stehen. Das jahrelang in China gültige Importverbot von SE-Schrotten wurde im Jahr 2021 wieder aufgehoben. In der zur RockLink Gruppe gehörenden Petromine-Anlage auf den Philippinen wird oxidiertes SE-Magnetpulver recycelt und zur Erzeugung eines SE-Mischoxids genutzt. Das Material wird zur Weiterverarbeitung zu SE-Metallen nach China verkauft. Dort sind Magnete mit 100 % Recyclingmaterial kommerziell erhältlich und ist der Recyklatanteil generell recht hoch (24,7 %, allerdings größtenteils Produktionsabfälle). Das japanische Chemieunternehmen Shin-Etsu Chemical Co., Ltd. recycelt SE-Magnete in seiner japanischen Anlage in Echizen (Präfektur Fukui) bereits seit 2008 und in Vietnam (Hải Phòng City, Hải Phòng Provinz) seit 2013, die Kapazitäten sind aber unbekannt und vermutlich handelt es sich größtenteils um Produktionsabfälle und nicht um EoL-Magnete. Auch die US-Firma Noveon Magnetics Inc. vermarktet gesinterte Recyclingmagnete mit einer Kapazität von 2.000 t pro Jahr.

Das kanadische Unternehmen Cyclic Materials Inc., das u. a. E-Motoren von dem britischen Recyclingunternehmen SYNETIQ erhält, löst die zerkleinerten EoL-Magnete in Säure und fällt die

SE als Mischoxide (Kapazität derzeit 10 t/J., Ziel für 2026 600 t/J., für 2030 3.000 t/J.). Abnehmer ist u. a. die Anlage von Solvay in La Rochelle, Frankreich, die daraus NdPr- und Nd-Oxide für die Magnetherstellung bereitstellen wollen. Im Zuge der US-Expansion der deutschen Vacuum-schmelze GmbH & Co. KG (VAC) soll Cyclic auch für VAC deren Magnete recyceln.

Der in Großbritannien sitzende SE-Metall- und Legierungsproduzent Less Common Metals Ltd. (LCM) und das australische Unternehmen Ionic Rare Earths Ltd. haben angekündigt, unter Einbeziehung der Ford Motor Company (in dessen E-Motoren-Werk in Halewood, Großbritannien) eine zirkuläre SE-Magnet-Wertschöpfung aufzubauen.

4.6 Nachhaltigkeitsaspekte

Während der prognostiziert steigende Bedarf an Seltenen Erden zu einem signifikanten Anteil auf den Einsatz in sog. „grünen Technologien“ zurückzuführen ist (E-Mobilität, Windenergie), steht deren Gewinnung und Weiterverarbeitung im Widerspruch dazu häufig in der Kritik, besonders umweltschädlich zu sein. In erster Linie ist dies auf die in SE-Mineralen assoziierten radioaktiven Elemente Uran und Thorium zurückzuführen, die abgetrennt und deponiert werden müssen, sowie auf den hohen Bedarf an Chemikalien für die aufwändige Separation der einzelnen SE-Elemente. Insgesamt entstehen bis zu 2.000 t feste Abfälle pro t SEE (McNULTY et al. 2022). Auch besteht ein sehr hoher Energiebedarf bei der SE-Produktion und damit verbunden hohe Treibhausgasemissionen, insb. für die Separation (schwankende Literaturangaben, Größenordnung 30 – 50 t CO₂-eq./t SEO; zum Vergleich: bei der Produktion von Kupfer entstehen durchschnittlich 2,6 t CO₂-eq./t Cu; für weiterführende Informationen zu generellen Nachhaltigkeitsaspekten der SE-Gewinnung siehe ERDMANN 2021).

Auch wenn SE-Mineralen immer einen gewissen Anteil an U und Th aufweisen, gibt es starke Unterschiede zwischen und innerhalb der Minerale

(siehe auch Tabelle 4 in Kapitel 2.2). Monazit aus Schwermineralsanden hat aufgrund seiner geologischen Abstammung (meist aus Graniten) mit durchschnittlich 8,8% den höchsten Thoriumoxid-Anteil und stellt somit auch die global bedeutendste Th-Quelle dar. Für die Gewinnung von SE aus Monazit bedeutet dies im Zusammenspiel mit dem besonders radioaktiven Uran spezielle Auflagen für Lagerung und Transport bereits bei der Aufbereitung zu einem Monazitkonzentrat, da hier aus einem ursprünglich als NORM („naturally occurring radioactive material“) eingestuftem Material ein als TENORM (technologically enhanced NORM) klassifiziertes Produkt entsteht. Die korrekte Handhabung dieser Materialien ist beim Abbau, der Aufbereitung, der Weiterverarbeitung und beim Transport von Monazit und Xenotim sowie monazithaltigen Konzentraten besonders wichtig und meist mit hohen Kosten verbunden. Teilweise wird das Th für Versuchsreaktoren verwendet (insbesondere in Indien und China). Ein nicht sachgemäßer Umgang mit dem radioaktiven Material kann zu erheblichen Umweltauswirkungen und gesundheitlichen Risiken für das Personal und die umliegende Bevölkerung führen (s. auch LIEDTKE et al. 2024).

Auch bei allen im Abbau stehenden Festgesteinslagerstätten gibt es eine Vergesellschaftung der SE-Minerale mit den Radionukliden von U und Th. Diese müssen wie im Kapitel 4.1 beschrieben im Vorfeld der Separation z. B. mit einer Lösungsmittelextraktion abgetrennt und gelagert werden.

Deutlich geringer ist der U- und Th-Gehalt in Ionenadsorptionstonen (IAT), da bei den Verwitterungsprozessen i. d. R. nur die SEE an den Tonmineralen adsorbiert werden. Dadurch ist die Gewinnung mittels in-situ-Laugung oder Becken- bzw. Tanklaugung relativ einfach (s. Kapitel 2.3), wodurch sie auch im Kleinbergbau durchgeführt werden kann. Der Abbau von IAT fand in den 2010er Jahren zu einem Großteil im südlichen China statt und hat auch über illegale Produktion signifikant zur globalen Versorgung mit SE (insb. auch den schweren SE) beigetragen. Allerdings führte die unkontrollierte Ge-

winnung zu massiven Umweltschäden, da für die Laugung große Flächen entwaldet und/oder abgebaggert wurden. Neben der Bodenkontamination mit der Laugungslösung (Ammoniumsulfat) führte dies häufig zu Bodenerosion oder Hangrutschen, da eine Renaturierung der Flächen meist nicht stattfand. Mit der umfassenden Konsolidierung des SE-Marktes in China, einer strikten Quotenregelung für die Produktionsmengen und Verschärfung bzw. Durchsetzung der Umweltgesetze konnte die illegale Produktion massiv zurückgefahren werden.

Parallel nahm die SE-Gewinnung aus IAT im angrenzenden Myanmar stetig und unkontrolliert zu. Meist sind in den Grenzregionen (insb. Kachin-Staat) kleine chinesische Firmen aktiv, die die erzeugten Zwischenprodukte zur Weiterverarbeitung über Zwischenhändler nach China exportieren. Abnehmer sind vermutlich die großen chinesischen SE-Staatsunternehmen, da nur diese über entsprechende Separationskapazitäten verfügen. Analog zu der illegalen Gewinnung in China sind hierbei massive Umweltschäden zu beobachten mit massiven direkten und indirekten Auswirkungen auf die lokale Bevölkerung (THE UNIVERSITY OF WARWICK 2024). Seit dem Militärputsch 2021 kommt es zwischen der Militärregierung, verbündeten Milizen und Rebellengruppen immer wieder zu Konflikten um die SE-Bergbauregionen im Kachin-Staat. Myanmar ist dadurch von der EU als Konfliktregion (CAHRAs – Conflict Affected and High-Risk Area) eingestuft worden. Auch wenn dies in erster Linie für die sog. EU-Konfliktmineraleverordnung und den Import von Zinn aus Myanmar eine rechtliche Implikation hat, erfordert dieser Umstand auch im Zuge des deutschen Lieferkettensorgfaltspflichtengesetzes sowie dem EU-Pendant (Directive on corporate sustainability due diligence) bzw. für die Erfüllung der Leitsätze für multinationale Unternehmen der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD Responsible Business Conduct) entsprechende Sorgfaltspflichten von Unternehmen. Auf OECD-Ebene wird intensiv diskutiert, wie man mit dem Problem einer eigentlich erforderlichen Abkopplung aus einer Konfliktregion umgehen soll, wenn mut-

maßlich ein Großteil der in China produzierten SE-Magnete auch SEE aus Myanmar enthalten. Ein Schritt, die Bedingungen in Myanmar zu verbessern, wäre eine (Selbst-)Verpflichtung der chinesischen SE-Unternehmen, entsprechende Sorgfaltspflichten bei dem Import von SE-Produkten aus Myanmar einzuhalten. Bisher ist der chinesische SE-Markt, auch aufgrund seiner strategischen Bedeutung, allerdings von einer hohen Intransparenz gekennzeichnet.

Ein 2022 gestartetes Projekt der BGR mit deutschen Unternehmen in Kooperation mit der China Chamber of Commerce for Metals, Minerals and Chemicals Importers and Exporters (CCCME) hatte vor diesem Hintergrund das Ziel, einen intensiven Dialog über Nachhaltigkeitsstandards und Anforderungen an die Sorgfaltspflichten mit den staatlichen chinesischen SE-Unternehmen zu etablieren (für weiterführende Informationen siehe BERNERS 2024). Hierbei offenbarte sich das geringe Verständnis auf chinesischer Seite von „westlichen“ Nachhaltigkeitsanforderungen, es bestand aber ein generelles Interesse, über die Bedarfe der deutschen Unternehmen, dem Lieferketten-sorgfaltspflichtengesetz gerecht zu werden, zu sprechen. Auch aufgrund des politisch sensiblen SE-Sektors gestalteten sich tiefergreifende inhaltliche Gespräche allerdings schwierig und bisher konnte nicht über die Verifizierung der Einhaltung von Sorgfaltspflichten im Zuge von Audierungen gesprochen werden. Deswegen wurde die aktuelle Projektphase Ende 2024 abgeschlossen.

Derzeit gibt es für Seltene Erden keinen umfassenden, spezifischen Nachhaltigkeitsstandard, wie beispielweise für Kupfer oder Aluminium. Das 2015 gegründete ISO TC 298 (ein technisches Komitee der Internationalen Organisation für Normung) entwickelt derzeit, neben Normen zur Analytik, zur Rückverfolgbarkeit und zum Recycling von SE, einen Nachhaltigkeitsstandard für die Gewinnung von Seltenen Erden. In der Arbeitsgruppe sind viele wichtige SE-Produzenten- und Abnehmerstaaten vertreten (z. B. China, USA, Kanada, Australien, Japan, Vereinigtes Königreich, Deutschland), so dass

die globale Akzeptanz für diesen Standard gegeben sein könnte. Es bleibt aber abzuwarten, ob die definierten Anforderungen den hohen „westlichen“ Ansprüchen genügen und ob der Standard von der SE-Bergbaubranche angenommen wird.

5 Preisentwicklung

Die Preisentwicklung von SE-Metallen und SE-Oxiden in den letzten 15 Jahren ist durch einen starken Preisanstieg im Zeitraum von Juli 2010 bis Dezember 2012 mit einem Höhepunkt im Juli und August 2011 gekennzeichnet (s. Abbildungen 23 – 25). In den zwölf Monaten bis zu diesem Peak stiegen die Preise beispielsweise für Terbiummetall um 650 %, für Dysprosiummetall um 830 % und für Neodymmetall sogar um 930 %. Andererseits war Samariummetall „nur“ um 585 % teurer geworden (vgl. Abbildung 23).

Ähnliche, jedoch teils sogar noch stärkere Preisanstiege gab es bei SE-Oxiden (vgl. Abbildungen 24 – 25). Die für die Katalysatorproduktion wichtigen Oxide von Cer und Lanthan verteuerten

sich im Zeitraum Juli 2010 bis Juli 2011 um 2.100 % bzw. 1.715 %. Das v. a. in technischen Keramiken zum Einsatz kommende Yttriumoxid stieg im Preis um 440 % und das v. a. in Deutschland zur Glasentfärbung eingesetzte Erbiumoxid um 370 %. Gadoliniumoxid, das für die Herstellung von MRT-Kontrastmitteln unverzichtbar ist, verteuerte sich um 1.350 %.

Auslöser für all diese Preisanstiege war eine Mitteilung des chinesischen Handelsministeriums vom 09.08.2010 auf einer Fachtagung in Baotou, die Exportquoten für Seltene Erden von 50.145 t im Jahr 2009 auf 30.258 t im Jahr 2010, d. h. um 40 % zu kürzen. Gleichzeitig hatte sich die Weltwirtschaft im Jahr 2010 nach der

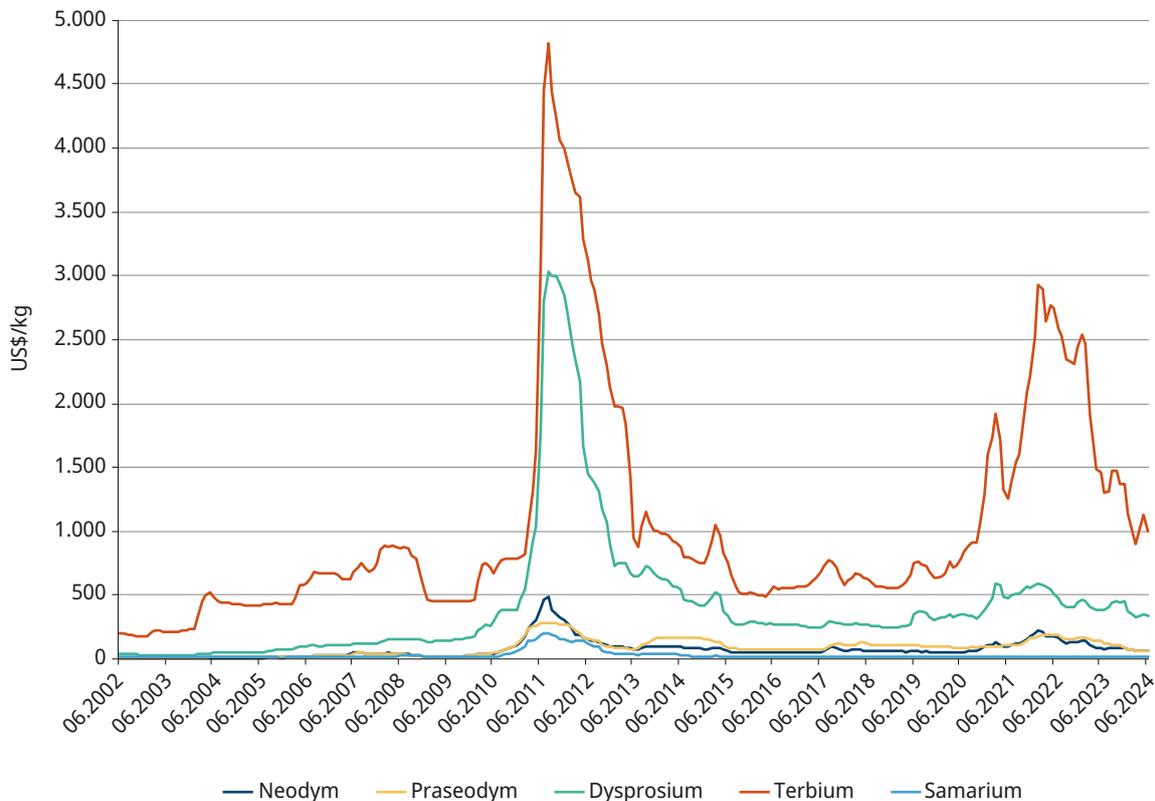


Abb. 23: Preisentwicklung der für die SE-Magnetproduktion wichtigen Metalle Neodym, Praseodym, Dysprosium, Terbium und Samarium (jeweils min. 99 %, US\$/kg, FOB China) seit Juni 2002 (Quelle: Preisdatenbank ASIAN METAL).

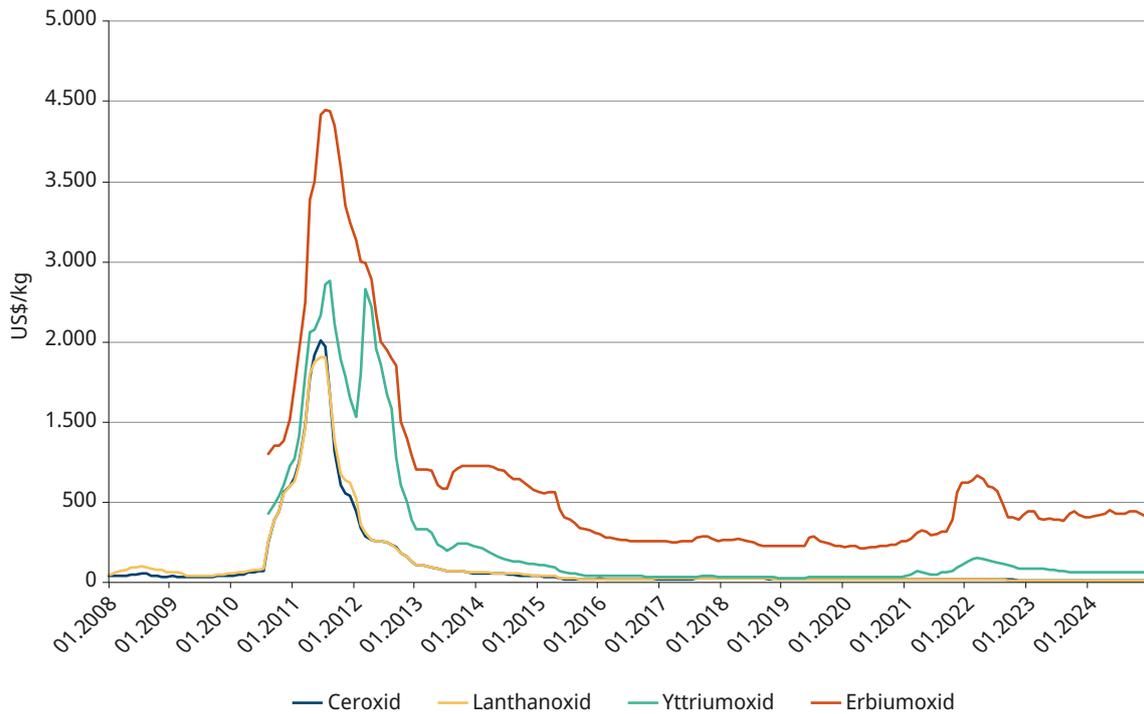


Abb. 24: Preisentwicklung der für die Katalysatorproduktion wichtigen Oxide von Cer und Lanthan sowie von Yttrium und Erbium (jeweils min. 99 % bzw. Y_2O_3 min. 99,999 %, US\$/kg, FOB China) seit Januar 2008 (Quelle: Preisdatenbank ASIAN METAL).

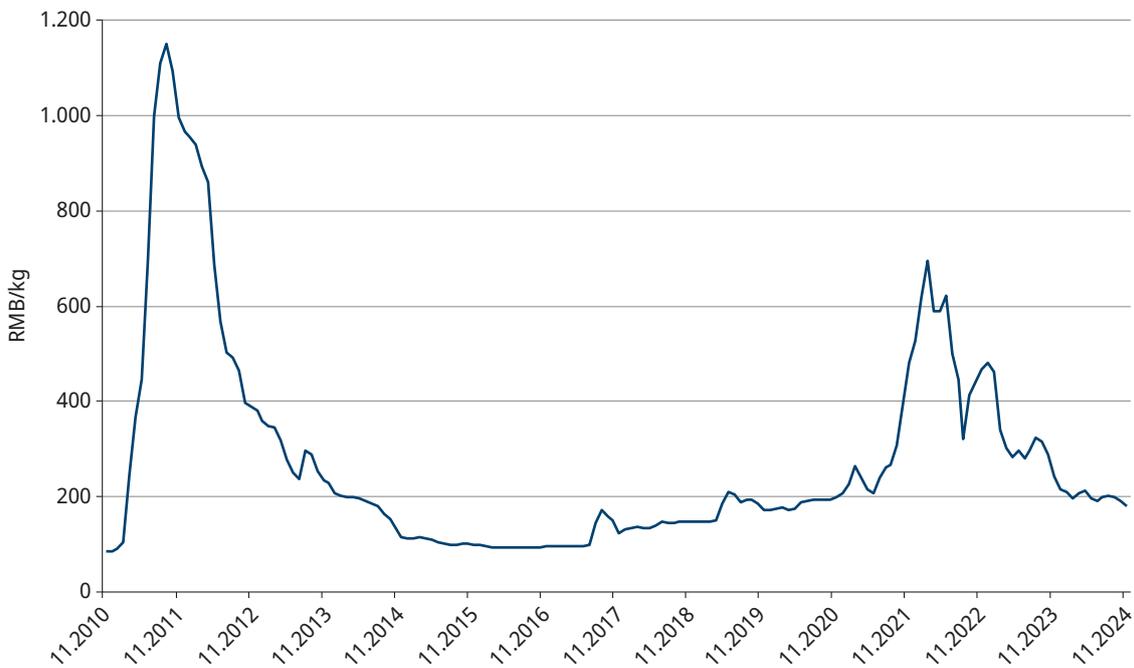


Abb. 25: Preisentwicklung des für die Herstellung von MRT-Kontrastmitteln wichtigen Gadoliniumoxids (min. 99,99 %, Rmb/kg, FOB China) seit November 2010 (Quelle: Preisdatenbank ASIAN METAL).

Weltfinanzkrise im Jahr 2009 wieder erholt und der geschätzte Bedarf an Seltenen Erden außerhalb Chinas war von geschätzt 26.000 t im Vorjahr auf 49.000 t im Jahr 2010 wieder gestiegen (KINGSNORTH 2012 a, b).

Ergänzend kam im September 2010 das (mittlerweile nachgewiesenermaßen) falsche Gerücht auf, China würde aufgrund eines Fische-reikonflikts Japan bis auf Weiteres nicht mehr mit Seltenen Erden beliefern.

Alle SE-verbrauchenden Unternehmen weltweit begannen daraufhin im Herbst 2010, sich vorsichtshalber mit ausreichenden Mengen an Seltenen Erden zu versorgen. Dies führte ab Ende 2010 zu einer sehr hohen weltweiten Nachfrage und einem sehr starken Preisanstieg für Seltene Erden, der wiederum bewirkte, dass chinesische Produzenten und Händler ihre SE-Produkte nicht mehr verkauften, da sie spekulativ auf weitere Preissteigerungen hofften. Im Frühjahr und Frühsommer 2011 war der weltweite Handel mit Seltenen Erden weitgehend zum Erliegen gekommen und die SE-Preise stiegen weiter an. Bis Hochsommer 2011 hatten sich viele Unternehmen außerhalb Chinas dann jedoch dazu entschlossen, aufgrund der viel zu hohen, betriebswirtschaftlich nicht mehr umsetzbaren Preise keine SE-Käufe mehr zu tätigen und ihre auf Seltenen Erden basierende Produktion einzustellen. Gleichzeitig liefen weltweit maximale Substitutions- und Recyclingbemühungen an.

Da die chinesischen Produzenten und Händler jedoch bis Ende 2011 die ihnen zugewiesenen Exportquoten ausnutzen mussten, um auch für das Folgejahr Quoten zu erhalten, begannen sie ab August 2011 mit erneuten Verkäufen bei erst leicht, später stark reduzierten Preisen. Ihre Verkaufsbemühungen stießen jedoch auf einen Absatzmarkt mit noch vollen Lägern. Zudem waren bedeutende Marktanteile durch Substitution verloren gegangen, was die Preiseinbrüche beschleunigte. Bis 2014/2015 erreichten die Preise für die meisten SE-Metalle und -Oxide dann wieder annähernd Vorkrisenniveau.

Ein weiterer, wesentlich kleinerer Preisanstieg ereignete sich im Zeitraum von Juni 2021 bis Spätherbst 2022 (vgl. Abbildungen 26–27). Von diesem Preisanstieg waren jedoch nur ausgewählte SE-Metalle und -Oxide betroffen. So stieg der Preis für Neodymmetall kurzfristig um 235 %, für Terbiummetall um 230 %, für Praseodymmetall um 185 %, für Samariummetall um 135 % und für Dysprosiummetall um 125 %. Yttriumoxid verteuerte sich um 300 %, Erbiumoxid um 225 % und Gadoliniumoxid sogar um über 330 %. Ceroxid und Lanthanoxid waren dagegen in diesem Zeitraum überhaupt nicht von Preissteigerungen betroffen – im Gegenteil, sie fielen weiter im Preis.

Auslöser für diesen zeitlich begrenzten Preisanstieg waren vermutlich vor allem spekulative Tätigkeiten internationaler und chinesischer Händler. Diese hofften nach vielen Vorhersagen in den Medien über eine bald einsetzende stark steigende Nachfrage nach Seltenen Erden, besonders im Zuge der weltweiten Mobilitätswende, auf einen Nachfrageschub, von dem sie profitieren wollten. Sie wurden jedoch von der Realität bitter enttäuscht: die Märkte für Seltene Erden sind (weiterhin) gesättigt und der Bedarf an Seltenen Erden für die weltweite Mobilitätswende kann (bisher) vollständig durch die derzeitige Produktion gedeckt werden. Von der chinesischen Regierung ständig erhöhte Produktions- und Separationsquoten sorgen zudem auch bei steigender Nachfrage für einen weiterhin ausreichend versorgten Markt.

Seit Juni 2019 veröffentlicht Asian Metal zudem täglich einen Preis für pulverförmiges SE-Konzentrat (@ min. 92 % SEO-Inhalt), das aus Ione-nadsorptionstonlagerstätten in Myanmar oder Laos stammt (s. Abbildung 28). Dieses nur innerhalb Chinas gehandelte Konzentrat ist von Mitte Mai 2020 bis Mitte Juni 2022 um 295 % im Preis gestiegen und seitdem, bis heute, mit großen Schwankungen, wieder um 55 % im Preis gefallen.

Der Preisanstieg von 2020 – 2022 ist auf die damaligen COVID-Restriktionen in Myanmar und

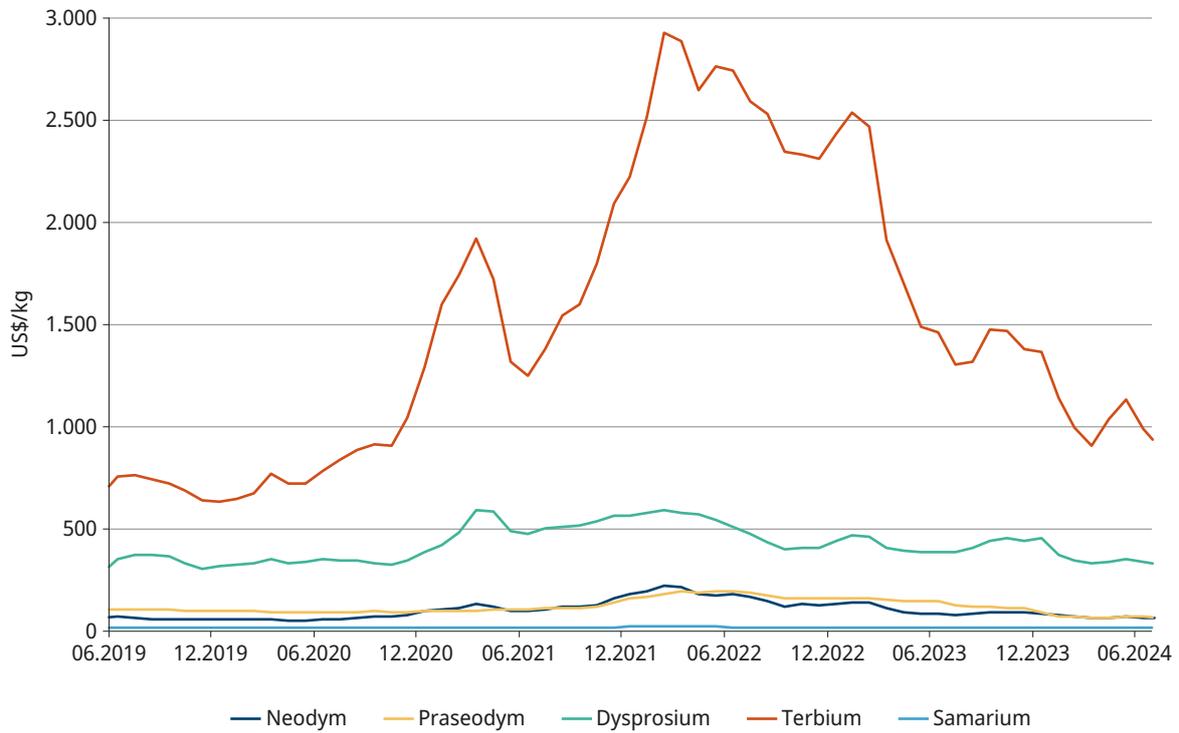


Abb. 26: Preisentwicklung der für die SE-Magnetproduktion wichtigen Metalle Neodym, Praseodym, Dysprosium, Terbium und Samarium (jeweils min. 99 %, US\$/kg, FOB China) seit Juni 2019 (Quelle: Preisdatenbank ASIAN METAL).

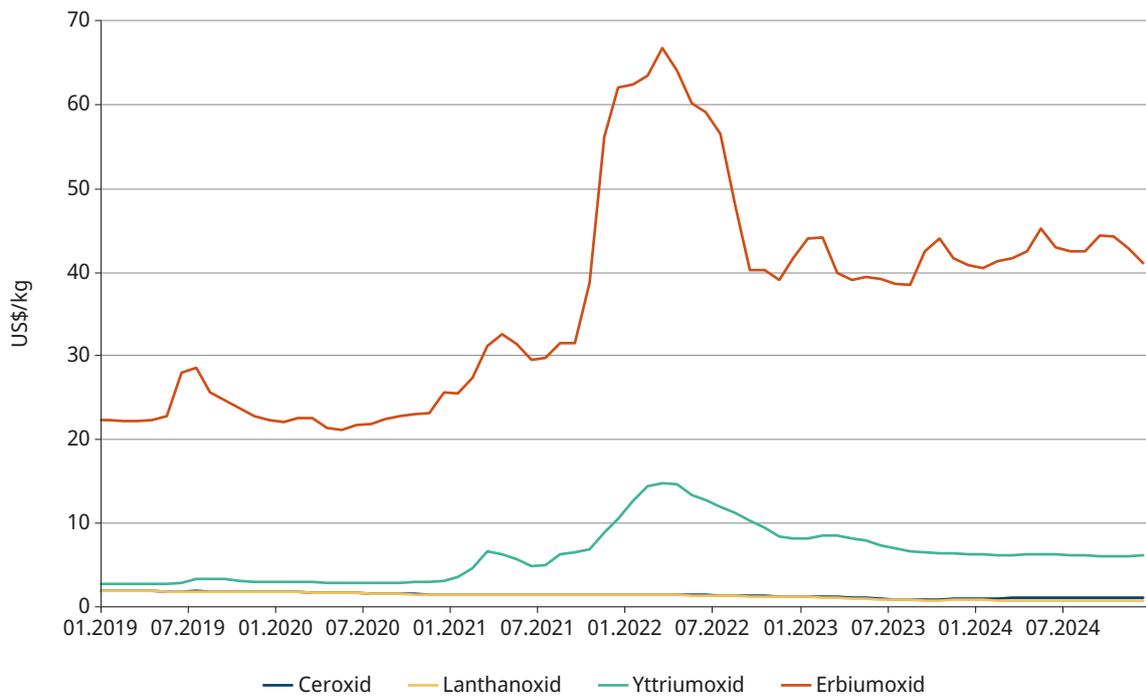


Abb. 27: Preisentwicklung der für die Katalysatorproduktion wichtigen Oxide von Cer und Lanthan sowie von Yttrium und Erbium (jeweils min. 99 % bzw. Y₂O₃ min. 99,999 %, US\$/kg, FOB China) seit Januar 2019 (Quelle: Preisdatenbank ASIAN METAL).

Südchina zurückzuführen, die den Nachschub aus Myanmar stark behinderten und die Preise für dieses wichtige SE-Zwischenprodukt in China in die Höhe trieben.

Der kleinere Preispeak im September/Oktober 2023 geht dagegen auf die am 04.09.2023 behördlich angeordnete Schließung der SE-Abbaustellen in Myanmar für angekündigte Umweltschutzkontrollen zurück.



Abb. 28: Preisentwicklung von SE-Konzentrat (@ min. 92 % SEO, Pulverform, RMB/t) aus Ionenadsorptionstonen (Herkunft: Myanmar, Laos) ab Hafen China (Quelle: Preisdatenbank ASIAN METAL).

6 Angebot und Nachfrage nach Seltenen Erden in Deutschland

6.1 Vorkommen

Das SE-Vorkommen **Storkwitz**, ein Ortsteil (OT) von Delitzsch in Nordsachsen, wurde 1976 bei der Exploration auf Uran durch die SDAG Wismut entdeckt. Vor allem in den 1980er Jahren erfolgten weitere Erkundungsarbeiten des mittlerweile in zahlreichen Bohrungen nachgewiesenen schlotförmigen Karbonatitkörpers. Dieser steht ab ca. 220 m Teufe an und wurde bis in 700 m Teufe nachgewiesen. Im September 2007 sicherte sich die Deutsche Rohstoff AG aus Heidelberg beim Oberbergamt Sachsen durch Zuteilung einer bergbaulichen Erlaubnis die weiteren Erkundungsrechte an dem Vorkommen.

Im Frühsommer 2012 erfolgte durch die Seltenerden Storkwitz AG (später umbenannt in Ceritech AG), ein Tochterunternehmen der Deutschen Rohstoff AG, die Niederbringung einer 700 m tiefen Bohrung. Ihr Ziel war es, die historischen Vorratsabschätzungen der DDR-Geologen nach JORC-Standard zu überprüfen. Dies gelang und es konnten Ressourcen von 4,4 Mio. t Erz @ Ø 0,45 % (max. 3,55 %) SEO, entsprechend 20.100 t SEO-Inhalt zzgl. 4.400 t Nb₂O₅-Inhalt nachgewiesen werden. Eine weitere, für 2015 angedachte Bohrung bis in 1.200 m Teufe wurde jedoch nicht mehr realisiert, weil mittlerweile Berechnungen die Unwirtschaftlichkeit des Projektes Storkwitz ergeben hatten.

In den heute unter mächtiger quartärer Bedeckung zwischen Cuxhaven und Bremerhaven (**Midlum-Holßel**) lagernden pliozänen Küstendünenseifen wurden als Wertminerale in der 1980er Jahren neben Zirkon, Rutil und Ilmenit auch Monazit/Xenotim nachgewiesen. Bei einem Durchschnittsgehalt von 0,7 % in der Wertmineralfraktion betragen die Gesamtvorräte an Monazit/Xenotim im o. g. Untersuchungsgebiet rund 19.000 t. Eine wirtschaftliche Gewinnung der Schwerminerale ist aufgrund des ungünsti-

gen Abraum-Erz-Verhältnisses von 5,65 : 1 vermutlich nicht möglich.

Zwischen 1953 und 1962 existierte in der DDR der VEB Ostseeschürfe Rostock zur Gewinnung von Zirkon aus Strandsanden. In diesem Zeitraum wurden 24.058 t Schwermineralkonzentrate @ 20 % Schwerminerale bzw. @ 4 % Zirkon (= 960 t Zirkoninhalte) aus **Ostseesanden** abgetrennt. Weitere potenzielle Wertminerale im Konzentrat waren Granat, Ilmenit, Magnetit, Rutil und Monazit (@ Ø 58,4 % SEO).

Im Zeitraum 2016 – 2019 förderte das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb der Bekanntmachung „r4 – Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Forschung zur Bereitstellung wirtschaftsstrategischer Rohstoffe“ das Verbundvorhaben „SEEsand – Gewinnung schwerer Seltenerdelemente (SEE) aus Schwermineralsanden“. Die Ziele des Verbundprojektes SEEsand beinhalteten die Einschätzung des Potenzials an Zirkon und anderer Schwerminerale an der Ostseeküste Deutschlands sowie die Entwicklung nassmechanischer, hydrometallurgischer und biohydrometallurgischer Verfahren zur effizienten Gewinnung der Wertstoffe bzw. Seltenen Erden. Für die deutsche Ostsee wurde ein Potenzial von insgesamt 419.141 t Schwerminerale mit 27.508 t Zirkon berechnet. Der SE-Gehalt im Zirkon aus der Ostsee liegt bei < 0,2 %, so dass die Gesamtvorräte an Seltenen Erden im Ostseezirkon bei ca. 50 t liegen. Eine wirtschaftliche Gewinnungsmöglichkeit der Schwerminerale, ihre wirtschaftliche Aufbereitung/Separation und auch eine effiziente Abtrennungsmöglichkeit der (schweren) Seltenen Erden aus dem Zirkon konnten im Verbundvorhaben nicht nachgewiesen werden.

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) führte ab 2011 in **Bayern** eine fünfteilige Pro-

jektreihe mit landesweiten Untersuchungen des vorhandenen rohstofflichen Potenzials an nutzbaren SEE aus. Untersucht wurden das SEE-Potenzial

- im Beifang sedimentärer Lagerstätten Nordbayerns
- in bayerischen Tongesteinen
- in der Sulfiderz-Lagerstätte Silberberg/Bodenmais
- im Beifang sedimentärer Lagerstätten Südbayerns
- in Kristallingesteinen des Fichtelgebirges

Die Ergebnisse der fünf Teilprojekte reichten von fündig über teilfündig bis nicht fündig. Ausichtsreich erschienen dem LfU die sedimentären Lagerstätten Nord- und Südbayerns, wo neben dem unternehmerischen Schwerpunkt der Sand- und Kaolingewinnung SEE-führende Schwermineralanteile als Beifang wirtschaftlich sinnvoll mitgewonnen werden könnten.

Im Zeitraum 2019 – 2022 finanzierte das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz im „Projektverbund für mehr Ressourceneffizienz in der bayerischen Wirtschaft insbesondere für KMU und Handwerk – ForCYCLE II“ auch das Projekt „Chemische Mobilisierung und Mikroalgen-basierte Bioadsorption von Seltenen Erden und Wertmetallen aus Kaolinit und anderen Wertstoffen – MiKa“. Das Projekt MiKa zielte darauf ab, die Rohstoffversorgung mit Seltenen Erden in Bayern zu unterstützen und Seltene Erden aus lokal vorhandenen Rohstoffquellen zu gewinnen.

Eine daraufhin durch eines der im Amberger Kaolinrevier in der Gewinnung von Kaolinsanden tätigen großen Unternehmen durchgeführte Wirtschaftlichkeitsberechnung ergab jedoch, dass jährlich maximal 1 t SEO (bei 100 % Ausbringen) aus dem bei der Produktion anfallenden Monazit abgetrennt werden könnten (frdl. mdl. Mitt.). Das Vorhaben wurde daraufhin nicht weiterverfolgt.

SE-Mineralisationen unterschiedlichen, jedoch nicht wirtschaftlich gewinnbaren Umfangs wur-

den in Deutschland zudem nachgewiesen u. a. im Kaiserstuhl in Baden-Württemberg, zum Teil ein Karbonatit, sowie besonders auch in den obereozänen Braunkohlensanden von Domsen-Profen und Nochten in Nordsachsen.

6.2 Produktion

Zwischen 1903 bis zu ihrer völligen Zerstörung durch einen Angriff der 8. US-Luftflotte am 15.03.1945 gab es in **Oranienburg**, nördlich Berlin, eine chemische Anlage, in der jährlich mehrere tausend Tonnen Monazitkonzentrate aus Brasilien, später auch Indien, mit Schwefelsäure aufgeschlossen und zu verschiedenen SE-Verbindungen verarbeitet wurden. Standen zuerst nur Ceroxid für die Gasglühlampenproduktion und dann Ceritchlorid für die Mischmetallproduktion im Vordergrund der Tätigkeiten, kamen später hochreine Lanthanverbindungen, SE-Leuchtstoffe und andere SE-Verbindungen hinzu (RICHTER 2014).

Bei dem US-Luftangriff im März 1945 wurden große Mengen Monazitkonzentrat sowie SE-, Th- und U-Produkte auf dem Werksgelände und der näheren Umgebung verstreut. Der Monazit wurde zudem zum Verfüllen von Bombentrichtern verwendet. Ab 1991 wurde das kontaminierte Gelände durch das Brandenburger Landesamt für Arbeitsschutz, Verbraucherschutz und Gesundheit, später auch durch das Bundesamt für Strahlenschutz untersucht. Die Flächen sind auch heute noch kontaminiert, wobei erst Teilareale für Bebauungen dekontaminiert wurden.

1949 nahm das Elektrochemische Kombinat **Bitterfeld** (ab 1952 ein VEB-Kombinat) die bereits seit 1911 in einer großtechnischen Anlage erfolgende Mischmetall- und Zündmetallproduktion wieder auf. 1939/40 waren in Bitterfeld ca. 100 t Zündmetall im Jahr für die deutsche Wehrmacht produziert worden. Ab 1949 bis zur Stilllegung der Produktion im Jahr 1977 wurden dort nun erneut ca. 9 t Mischmetall jährlich produziert. Das für die Produktion benötigte Ceritchlorid wurde meist zugekauft, für einige Jahre aber

auch nordkoreanisches Monazitkonzentrat eingesetzt, das mit Schwefelsäure durch Erhitzen in einem gasbeheizten Kurztrommel-Drehrohr-Ofen aufgeschlossen wurde (RICHTER 2014).

1941 waren auch im Stickstoffwerk **Piesteritz** (OT der Lutherstadt Wittenberg in Sachsen-Anhalt) erste Versuche zur Gewinnung von Seltenen Erden aus Apatitkonzentrat von der Kola-Halbinsel durchgeführt worden. Dabei wurde Konzentrat, das etwa 0,8 % SEO enthielt, mit Gemischen von thermischer Phosphorsäure und Salpetersäure aufgeschlossen. Kriegsbedingt wurden die Forschungsarbeiten nicht praktisch umgesetzt.

Nach 1951 wurden die Forschungsarbeiten zu Seltenen Erden in Piesteritz fortgesetzt und 1956 wurde eine Technikumsanlage gebaut und zur Aufreinigung von Lanthankonzentraten eingesetzt. Nach 1957 konzentrierte man sich auf die Trennung von Cer und Lanthan im Ionenaustauschverfahren und stellte bis 1961 aus verschiedensten SE-Mineralen (Xenotim, Gadolinit, SE-Mineralkonzentrate) alle SEO (außer Pm_2O_3) in Reinheiten von 99,9 bis 99,999 % in Kilogramm-Mengen her. Allerdings bestand damals in der DDR nur für Lanthanoxalat, Ceroxid und Didymiumoxalat auch wirklich Bedarf. 1963 wurde die Technikumsanlage zur Produktion dieser drei Produkte erweitert und 1964 als Produktionsanlage umdeklariert. Abwechselnd wurden zur Produktion Schlacken der Bitterfelder Mischmetallproduktion, Ceritschmelze aus der UdSSR und Monazitkonzentrat aus Nordkorea (1985 ersetzt durch Ceritchlorid aus China) eingesetzt. Angedacht war die großtechnische Verarbeitung von 350 t Monazitkonzentrat im Jahr, doch das Projekt wurde 1968 wegen fehlender Realisierungskapazitäten abgebrochen.

1978 erteilte dann das Ministerium für Chemische Industrie den Auftrag zur Erarbeitung eines Konzeptes zur bedarfsdeckenden Produktion von Seltenen Erden für die DDR. Dieser Bedarf lag bei ca. 150 t im Jahr und wurde durch den VEB Carl Zeiss Jena und dem VEB Rathenower Optische Werke (beide CeO_2 -Poliermittel), VEB Jenaer Glaswerk ($\text{La}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$, La_2O_3),

VEB Fernsehkolbenwerk Friedrichshain (CeO_2), VEB Elektrokohle Lichtenberg (Ceritfluorid, Ceritoxid), VEB Leuchtstoffwerk Bad Liebenstein (Y_2O_3 , Eu_2O_3), VEB Chemiekombinat Bitterfeld, VEB Kombinat GISAG Leipzig (Ce-Mischmetall) und andere Kombinate erzeugt. Im Rahmen des „Farbbildröhrenprogramms“ kam nach 1980 der Bedarf nach weiteren SEO hinzu. Am 23.06.1983 wurde vom Ministerrat der DDR die Errichtung der bedarfsdeckenden Produktion von SE-Verbindungen am Standort Piesteritz beschlossen. Geplant war die Produktion von 350 t SEO/J., verteilt auf 193 t CeO_2 , 95 t La_2O_3 , 26 – 64 t Y_2O_3 , 1,8 t Eu_2O_3 und 10 t sonstige SEO.

Ab 1984 wurde die Produktion vorbereitet, die mittels Flüssig-Flüssig-Extraktion erfolgen sollte. Technische Hilfe kam aus China und Österreich. Als Rohstoffe waren letztendlich Ceritchlorid und Yttriumkonzentrat aus China sowie Bastnäsitkonzentrat aus Dong Pao/Vietnam vorgesehen. Auch der Einsatz von Monazitkonzentrat aus Nordkorea, Apatitkonzentrat von der Kola-Halbinsel, Konzentrat aus Phosphorofenschlacken sowie SE-Sekundärprodukten, besonders Cer-Poliermitteln, war geprüft, aber aus jeweils unterschiedlichen Gründen nicht weiterverfolgt worden. Zum Jahresende 1989 war der Rohbau für die 1. Aufbereitungsstufe in Piesteritz fertiggestellt, dann aber sind im März 1990 alle weiteren Bauarbeiten und Planungen eingestellt worden (RICHTER 2014).

Die Ablagerung der festen Reststoffe aus der Produktion der Stickstoffwerke Piesteritz, inkl. der Th-Reststoffe aus der Monazitaufbereitung, erfolgte seit 1917 auf der nahen Deponie Gribo. Diese wurde auch nach 1990 noch weiter betrieben, dann jedoch 2005 stillgelegt und bis Mitte 2022 im Auftrag der MDSE – Mitteldeutsche Sanierungs- und Entsorgungsgesellschaft mbH, ein Unternehmen des Landes Sachsen-Anhalt, abgedichtet und abgedeckt.

Seit 1989/90 gibt es keine weiteren Anstrengungen zur kommerziellen Aufbereitung von SE-Erzen oder -Mineralen in Deutschland. Neben verschiedenen Universitäten und Forschungseinrichtungen, die zu Seltenen Erden forschen,

bieten jedoch zwei Consultingunternehmen Dienstleistungen von der Bewertung und Untersuchung von SE-Vorkommen bis hin zur Planung von Pilotanlagen an. Diese sind:

- Umwelt- und Ingenieurtechnik GmbH Dresden
- Dorfner Anzaplan GmbH in Hirschau

6.3 Import und Export

Deutschland spielt im weltweiten Handel mit Seltenen Erden keine bedeutende Rolle. So hatten im Jahr 2023 nur 1,5 % der chinesischen Exporte von SE-Verbindungen bzw. 0,7 % der chinesischen Exporte von SE-Metallen Deutschland als Ziel. Dagegen gelangten von diesen Rohstoffgruppen 17,4 % bzw. 61 % nach Japan.

Die deutschen Unternehmen benötigen im Jahr rund 5.000 t SE-Verbindungen (s. Tabel-

le 22). Diese stammten in den letzten Jahren zu 67 – 73 % direkt aus China, zu 16 – 27 % aus Österreich (Anm.: die österreichische Treibacher Industrie AG versorgt weite Teile des deutschen Mittelstands mit SE) und zu 1 – 3 % aus Frankreich (Anm.: aus dem Werk La Rochelle der Solvay S.A.). Im Jahr 2023 handelte es sich bei den von Deutschland importierten SE-Verbindungen zu 77,4 % um Lanthanverbindungen für die Katalysatorenproduktion, zu 15,7 % um gemischte SE-Verbindungen, zu 3,5 % um Verbindungen von schweren SE und um 1,8 % um Verbindungen von mittelschweren SE.

Die deutschen Exporte von SE-Verbindungen gingen im Jahr 2023 bei stark steigender Tendenz in 72 Länder, angeführt von Nordmazedonien mit 33 %, Vietnam mit 28 % und Frankreich mit 13,5 %.

Weiterhin kauften die deutschen Unternehmen in den letzten Jahren bei steigender Tendenz

Tab. 22: Importe von SE-Verbindungen, inkl. Scandiumverbindungen (HS-Code 284690) (in t) durch Deutschland, Quelle: Global Trade Tracker (ZEN INNOVATIONS AG 2024).

SE-Verbindungen HS-Code 284690	2020	2021	2022	2023
Summe Importe	3.992	4.781	5.320	5.249
China	2.688	3.429	3.891	3.733
Österreich	1.082	1.048	834	1.135
Frankreich	40	83	155	159
Estland	0	2	19	71
USA	29	72	66	49
Südkorea	62	71	23	33
Italien	9	0	0	28
Großbritannien	73	33	10	16
Japan	8	10	10	12
Malaysia	0	4	16	7
Indien	1	24	10	7
andere Länder	2	4	287	1
Summe Exporte	220	259	320	487

Tab. 23: Importe von SE-Metallen, inkl. Sc (HS-Code 280530) (in t) durch Deutschland, Quelle: Global Trade Tracker (ZEN INNOVATIONS AG 2024).

SE-Verbindungen HS-Code 284690	2020	2021	2022	2023
Summe Importe	194	267	260	344
China	181	248	258	326
Österreich	9	11	0	11
Italien	0	0	0	4
Großbritannien	2	1	0	0
andere Länder	1	1	2	6
Summe Exporte	5	18	9	8

zwischen 200 und 340 t SE-Metalle (s. Tabelle 23). Diese stammten in den letzten Jahren fast ausschließlich aus China (93 – 97 %). Im Jahr 2023 handelte es sich dabei zu 91,5 % um SE-Legierungen, zu 5,7 % um SE-Metalle < 95 % Reinheit und zu 1,4 % um schwere SE-Metalle. Die deutschen Exporte von SE-Metallen sind mengenmäßig ohne Bedeutung.

6.4 Nachfrage

Die wichtigsten Unternehmen, die in Deutschland Seltene Erden bzw. SE-Verbindungen für ihre Produktion benötigen, lassen sich – geordnet in der ungefähren Reihenfolge ihres Bedarfs – folgenden Hauptanwendungsbereichen zuordnen:

Katalysatoren

– Die **BASF SE**, das größte Chemieunternehmen der Welt mit Hauptsitz in Ludwigshafen, ist auch ein sehr großer Verbraucher von Seltenen Erden, insbesondere in Katalysatoranwendungen. Die BASF Environmental Catalyst and Metal Solutions (ECMS) Division zählt zu den weltweit führenden Anbietern in den Bereichen Katalyse und Edelmetalle. BASF ECMS ist weltweit in 16 Ländern mit über 4.500 Mitarbeitenden und an 21 Produktionsstätten tätig, darunter

in Nienburg/Weser (Deutschland), Środa Śląska (Polen) und Port Elizabeth (Südafrika). Die dortige Katalysatorenproduktion nutzt hauptsächlich Mischungen aus Ce-, Y-, La-, Nd- und Pr-Oxiden. Bei stationären Katalysatoren für die chemische Industrie durch die BASF-Geschäftseinheit Chemical Catalysts and Adsorbents konzentriert sich der Hauptbedarf an Seltenen Erden auf die USA, während in Europa nur geringe Mengen eingesetzt werden. In den Katalysatoren für die Erdölindustrie, die von BASF Refinery Catalysts in zwei Werken in Georgia (USA) hergestellt werden, finden insbesondere Lanthanverbindungen Anwendung.

– Die **Grace GmbH** mit Sitz in Worms ist eine deutsche Tochtergesellschaft des US-amerikanischen Spezialchemieunternehmens W. R. Grace and Company, gegr. 1854. Im Werk Worms, zugleich die europäische Zentrale des Unternehmens, werden seit 1972 vor allem Zusätze auf Basis von amorphen Kieselgelen und Zeolithen für verschiedenste industrielle Märkte hergestellt. Der zweite Geschäftsbereich „Catalyst Technologies“ setzt sich aus den Bereichen „Refining Technologies“ (Produktion von Katalysatoren für die Erdölraffination) und „Specialty Catalysts“ (Produktion von Katalysatoren zur Herstellung verschiedener Arten von Polyethylen- und Polypropylenharzen sowie von speziellen chemischen Katalysatoren)

zusammen. Zum Einsatz für die Katalysatorproduktion kommen große Mengen an Lanthanverbindungen.

- Die **Sasol Germany GmbH**, ein Tochterunternehmen des internationalen Chemie- und Energieunternehmens Sasol mit Hauptsitz in Johannesburg, Südafrika, setzt in ihrem Werk in Brunsbüttel La-Oxid ein, das dort zu Vorprodukten für die Herstellung von Katalysatoren für Verbrennerfahrzeuge umgewandelt wird.
 - Die Umicore SA ist ein belgischer Materialtechnologie- und Recyclingkonzern mit Hauptsitz in Brüssel. In Hanau, am Firmensitz der deutschen Tochtergesellschaft **Umicore AG & Co. KG**, fertigt der Geschäftsbereich „Automotive Catalysts“ seit 2003 vor allem Katalysatoren für Benzin- und Dieselfahrzeuge sowie der Bereich „Fuel Cell & Stationary Catalysts“ Katalysatoren für Industrieanlagen und Schiffsmotoren. Für die Produktion zum Einsatz kommen speziell für die Umicore SA hergestellte Ce-La-Nd-Pr-Y-Oxidmischungen.
 - Die **Clariant Produkte (Deutschland) GmbH** mit Sitz in Frankfurt am Main, eine Tochtergesellschaft des schweizerischen Spezialchemieunternehmens Clariant SE, stellt durch ihre Geschäftseinheit „Catalysts“ an den Standorten Bitterfeld-Wolfen, Gendorf und Bruckmühl-Heufeld Katalysatoren für die Erdöl- und Spezialchemieindustrie her. Für die Produktion kommen im Wesentlichen Lanthan-, weit untergeordnet auch Cerverbindungen zum Einsatz.
 - Die **ARLANXEO Deutschland GmbH** mit Sitz und Werk in Dormagen, ein Unternehmen des Erdölkonzerns Saudi Aramco, produziert Butadiengummi mit Hilfe von Katalysatoren auf Basis von Lithium, Kobalt oder Neodym. Typische Anwendungen von Nd-Butadiengummi sind Reifenlaufflächen, Förderbänder, Raupenkettens, Golfbälle, Schuhsohlen und Keilriemen.
- Glas**
- Die **Schott AG** ist ein internationaler Technologiekonzern mit Sitz in Mainz, der Spezialgläser und Glaskeramiken für zahlreiche Branchen wie die Hausgeräte-, Pharma-, Elektronik-, Halbleiter-, Optik-, Life-Science-, Automobil- und Luftfahrtindustrie produziert. In Deutschland betreibt Schott u. a. Werke in Mainz (Produktion von optischem Glas, CERAN® Glaskeramik-Kochflächen, Kaminsichtscheiben, Glasfasern, Pharmarohren), Grünenplan/Niedersachsen (Dünngläser), Jena (Brandschutzglas, Covergläser für Smartphones) und Mitterteich/Bayern (Glasrohre, -stäbe und -profile für technische und pharmazeutische Anwendungen). Als Poliermittel setzt Schott Ceroxid und zum Färben und Einstellen der Brechungsindizes der Gläser La-, Nd-, Gd-, Y- und Pr-Oxide in verschiedenen Reinheiten ein.
 - Die **Stölze Lausitz GmbH** aus dem sächsischen Weißwasser ist ein Tochterunternehmen der österreichischen familiengeführten CAG Holding GmbH. Stölze Lausitz produziert seit 1889 Glasartikel und seit 1908 Trinkgläser. Heute ist es einer der größten Trinkglashersteller der Welt und setzt in der Produktion sowohl Erbiumoxid zum Entfärben des Glasgemenges als auch Ceroxid zum Polieren der Gläser ein.
 - Mit einer bis 1523 zurückreichenden Glasmacher-Familientradition gehört die familiengeführte **HEINZ-GLAS Gruppe** heute zu den führenden Herstellern von Glas-Flakons und Tiegeln für die Parfüm- und Kosmetikindustrie. In Deutschland fertigt die HEINZ-GLAS Gruppe in Piesau/Thüringen und in Kleintettau/Bayern. Das Unternehmen ist der größte Verbraucher von Erbiumoxid in Deutschland.
 - Innerhalb des Technologiekonzerns Carl Zeiss AG fertigt die **Carl Zeiss Jena GmbH** an den Standorten Jena, Oberkochen und Göttingen u. a. optische Komponenten für Spezialanwendungen wie Planetarien. Zur

Produktion der Spezialgläser werden in sehr geringen Mengen auch verschiedenste SE-Fluoride verwendet. Zum Polieren der hochwertigen Spezialgläser kommt zudem Ceroxid zum Einsatz.

- Die 1834 durch Michael Nachtmann gegründete heutige **Bayerische Glaswerke GmbH** gehört seit 2004 zur Tiroler Glashütte GmbH, bekannt unter dem Markennamen Riedel Glas. Unter dem Handelsnamen Nachtmann fertigt das Unternehmen in Neustadt an der Waldnaab/Bayern schwere Kristallgläser. Zum Entfärben des Glasgemenges wird Erbiumoxid eingesetzt.
- Die **Zwiesel Kristallglas AG** ist ein Kristallglashersteller mit Sitz in Zwiesel im Bayerischen Wald. Das Unternehmen bietet seine Produkte unter den Marken Zwiesel Glas, Schott Zwiesel und Jenaer Glas (Spezialgläser) an. Zum Entfärben des Glasgemenges setzt auch Zwiesel Erbiumoxid sowie zur Farbkorrektur der Gläser geringe Mengen Neodymoxid ein.

Magnete

- Die 1923 gegründete **Vacuumschmelze GmbH & Co. KG** mit Stammsitz in Hanau ist der größte Produzent von gesinterten SE-Permanentmagneten in Deutschland (und Europa). Seit den 1970er Jahren werden SmCo-Permanentmagnete und seit den 1980er Jahren gesinterte NdFeB-Permanentmagnete produziert. Eingesetzt werden SE-Magnetvorlegierungen.
- **MS Schramberg GmbH & Co. KG**, mit Hauptsitz in Schramberg-Sulgen, produziert seit den 1980er Jahren hauptsächlich kunststoffgebundene NdFeB Permanentmagnete.
- **Magnetfabrik Bonn** produziert seit 1986 am Standort Bonn hauptsächlich kunststoffgebundene NdFeB-Permanentmagnete.

- Pumpenhersteller **Wilo SE**, Dortmund produziert für den Eigenbedarf kunststoffgebundene und heißumgeformte NdFeB-Permanentmagnete.

Technische Keramiken

- Die ursprünglich als Bergbauunternehmen gegründete schwedische Höganäs AB ist der weltweit führende Hersteller von Metallpulvern für die Pulvermetallurgie. Diese kommen z. B. beim Hartlöten, Pressen und Sintern, bei der Oberflächenbeschichtung und additiven Fertigung, beim Schweißen oder bei Reibungsanwendungen zum Einsatz. Die **Höganäs Germany GmbH** entstand im Jahr 2018 durch Aufspaltung der H.C. Starck GmbH aus Goslar. An diesem Standort produziert das Unternehmen seitdem Carbide, Bor, Rhenium und SiO₂-Keramikpulver. Zur Produktion von Y-stabilisierten Zirkonoxid (YSZ) für Spritzpulver, v. a. zur Beschichtung von Gasturbinen, aber auch für den Weiterverkauf, benötigt das Unternehmen große Mengen Yttriumoxid sowie auch Yttriummetall. Zudem werden große Mengen Yb-stabilisiertes Zirkonoxid (YbSZ) und wachsende Mengen Gd-stabilisiertes Zirkonoxid (GdSZ) produziert. Weiterhin setzt das Unternehmen Lanthanoxid und Praseodymoxid für die Produktion von beschichteten SiO₂-Keramikpulvern für die Brennstoffzellenherstellung ein.

Gießereibedarf

- Die **ASK Chemicals Metallurgy GmbH** aus Hart an der Alz, im oberbayerischen Landkreis Altötting, ist der einzige deutsche Produzent von Ferrosilizium, aus dem dann je nach Kundenwunsch spezielle Vorlegierungen, Impfmittel und Fülldrähte für die Gießereiindustrie hergestellt werden. Da Cer und Lanthan das Gefüge von Gusseisen positiv beeinflussen, setzt das Unternehmen in relativ großen Mengen Mischmetall ein, um hierdurch diese Seltenen Erden in die

- produzierten Gusseisenlegierungen hereinzubringen.
- Im Jahr 2004 verschmolz die GfE Giesserei- und Stahlwerksbedarf GmbH mit der Metallurg International Resources GmbH zur **GfE-MIR GmbH** mit Sitz in Düsseldorf. Die GfE-MIR GmbH vertreibt Speziallegierungen, Metalle und weiteren Gießereibedarf, darunter Fülldrähte, in deren Herstellung ebenfalls Mischmetall zum Einsatz kommt.
 - Die **Sun Chemicals Pigment GmbH** produziert am Standort Besigheim Farbpigmente für die weiterverarbeitende Industrie. In der Herstellung kommen in jährlich unterschiedlichen Einkaufsmengen auch geringe Mengen verschiedener Cerverbindungen zum Einsatz.
 - Die **Vibrantz GmbH** mit Sitz in Frankfurt am Main ist in der Entwicklung, Herstellung und dem Vertrieb von Performance-Pigmenten und -Farben, speziellen Beschichtungen, Glasursystemen, Produkten für die dekorative Gestaltung keramischer Erzeugnisse, elektronischen Funktionsmaterialien und anderen speziellen Chemikalien und Produkten tätig. Hierfür setzt das Unternehmen an den Produktionsstandorten Colditz (Dekorfarben für Geschirr) und Frankfurt (Färbung von Flach- und untergeordnet Containerglas) auch Ceroxid zur Weißfärbung ein.
 - Die Firma **Broll Buntpigmente GmbH & Co. KG** aus dem hessischen Steinau an der Straße setzt in geringen Mengen auch Praseodymoxid als grüngelben Farbstoff ein.

Medizintechnik

- Das Chemie- und Pharmaunternehmen **Bayer AG** mit Stammsitz in Leverkusen ist in seinem Geschäftsbereich „Pharmaceuticals“ an den deutschen Standorten Berlin und Bergkamen auch in der Produktion von Gadoliniumbasierten Kontrastmitteln (Gadovist®, Primovist®) für MRT-Untersuchungen tätig. Hierfür wird Gadoliniumoxid in einer Reinheit von 99 % benötigt.

Andere Verwendungsbereiche

- Die **TITAL GmbH** ist ein Tochterunternehmen der US-amerikanischen Howmet Aerospace Inc., ein weltweit führendes Unternehmen in der Herstellung von Luftfahrtkomponenten. Die TITAL GmbH fertigt an ihrem Stammsitz in Bestwig/Westfalen seit 1974 spezielle Aluminium- und Titan-Feinguss-Bauteile ebenfalls für Unternehmen aus der Luft- und Raumfahrt und setzt hierfür auch Yttriumoxid ein.
- Die **Varta Microbattery GmbH** aus Ellwangen produziert neben Lithium-Ionen-, Zink-, Alkali-Mangan-, Hörgeräte- und anderen Spezialbatterien auch Akkus, darunter Nickel-Metallhydrid-Akkus. Als negative Elektrode in diesen NiMH-Akkus wird eine La-Ce-Nd-Pr-Mischmetall-Legierung verwendet.
- **TANIOBIS** ist ein weltweit führender Hersteller in der Verarbeitung von Materialien auf Tantal- und Niob-Basis. Die **TANIOBIS GmbH** entstand im Jahr 2018 durch Aufspaltung der H. C. Starck GmbH aus Goslar. An diesem Standort produziert das Unternehmen seitdem Ta- und Nb-Pulver, Chloride und Verbindungen. Für die Herstellung von Vorstoffen für die Halbleiterproduktion kommen auch geringe Mengen Yttriumoxid zum Einsatz.

7 Literaturverzeichnis

AMER, T. E., GADO, M. A., ATTIA, B. & EL-SHEIKH, E. M. (2020): Potentiality of using ascorbic acid for selective recovery of uranium from Egyptian Monazite. – *Radiochemistry*, 62: 73 – 79. – URL: <https://doi.org/10.1134/S1066362220010099> [Stand: 12.09.2024].

ARGUS MEDIA GROUP LTD. (2023): Rare earths sector seeks route to expansion. – Nachricht vom 27.6.2023; London. – kostenpflichtiger Zugang.

ARGUS MEDIA GROUP LTD. (2024a): Higher demand lifts global magnet consumption. – Nachricht vom 27.9.2024; London. – kostenpflichtiger Zugang.

ARGUS MEDIA GROUP LTD. (2024b): China's 2024 RE permanent magnets output to rise: Acrei. – Nachricht vom 18.11.2024; London. – kostenpflichtiger Zugang.

ASIAN METAL LTD. (2024): Rare Earths Price Index. – Beijing. – URL: <https://www.asianmetal.com/price/initPriceListEn.am?priceFlag=6>. – kostenpflichtiger Zugang.

BATAPOLA, N. M., DUSHYANTHA, N. P., PREMASIRI, H. M. R., ABEYSINGHE, A. M. K. B., ROHITHA, L. P. S., RATNAYAKE, N. P., DISSANAYAKE, D. M. D. O. K., ILANKOON, I. M. S. K. & DHARMARATNE, P. G. R. (2020): A comparison of global rare earth element (REE) resources and their mineralogy with REE prospects in Sri Lanka. – *Journal of Asian Earth Sciences*, 200 (2020) 1044475: 15 S. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2020.104475> [Stand: 18.09.2024].

BAI, J., XU, X., DUAN, Y., ZHANG, G., WANG, Z., WANG, L. & ZHENG, C. (2022): Evaluation of resource and environmental carrying capacity in rare earth mining areas in China. – *Scientific Reports*, 12, 6105: 13 S.; + Supplementary Material. – URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10105-2>. [Stand: 11.09.2024].

BERNERS, L. (2024): Sustainability Standards in the Chinese Rare Earth Supply Chain – Results and Lessons Learned from a Pilot Measure with German and Chinese Stakeholders. – 48 S.; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). – URL: <https://doi.org/10.25928/0c8z-we31> [Stand: 03.01.2025].

BJMT – BEIJING JINGCI MATERIAL SCIENCE CO. LTD. (2024): Grain Boundary Diffusion – Conserving HREE in NdFeB Magnets. – URL: <https://idealmagnetsolutions.com/knowledge-base/grain-boundary-diffusion> [Stand: 02.09.2024].

CASTOR, S. B. & HEDRICK, J. B. (2006): Rare Earth Elements. – *Industrial Minerals and Rocks*, 7th Edition: 769–792; Littleton, Colorado.

CLEANTHINKING.DE (2024): Clean Earth Magnet: Cleantech-Startup entwickelt Dauermagnete ohne kritische Metalle. – Artikel vom 26.02.2024. – URL: <https://www.cleantalking.de/clean-earth-magnet-niron-elektromotoren> [Stand: 20.01.2024].

DUSHYANTHA, N., BATAPOLA, N., ILANKOON, I. M. S. K., ROHITHA, S., PREMASIRI, R., ABEYSINGHE, B., RATNAYAKE, N. & DISSANAYAKE, K. (2020): The story of rare earth elements (REEs): Occurrences, global distribu-

tion, genesis, geology, mineralogy and global production. – *Ore Geology Reviews*, 122: 17 S. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103521> [Stand: 10.01.2025].

ELECTRIVE (2024): BMW iX: Was kann das Technologie-Aushängeschild der Münchner? – URL: <https://www.electrive.net/2022/12/01/bmw-ix-was-kann-das-technologie-aushaengeschild-der-muenchner/> [Stand 20.12.2024].

ELSNER, H. (1992): Geologie der Schwermineral-Seifenlagerstätten im Nordosten Floridas. – Dissertation am Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hannover: 436 S.; Hannover.

ERDMANN, M. (2021): Seltene Erden. – Informationen zur Nachhaltigkeit: 20 S.; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). – URL: https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Informationen_Nachhaltigkeit/seltene_erden.pdf [Stand: 31.01.2025].

FRIEDRICHS, P. (2017): Development of a Rare Earth Element Resource Database Management System. – Dissertation an der RWTH Aachen: 187 S. – URL: <https://publications.rwth-aachen.de/record/688117/files/688117.pdf> [Stand: 31.01.2025].

GAUß, R. & GUTFLEISCH, O. (2016): Magnetische Materialien — Schlüsselkomponenten für neue Energietechnologien. – In: KAUSCH, P., MATSCHULLAT, J., BERTAU, M. & MISCHO, H. (Hrsg.) (2016): Rohstoffwirtschaft und gesellschaftliche Entwicklung: 99 – 118; Springer Spektrum. – URL: https://doi.org/10.1007/978-3-662-48855-3_8 [Stand: 31.01.2025].

GOODE, J. R. (2019): Rare earth elements. – In: DUNNE, R. C., KAWATRA, S. K. & YOUNG, C. A. (Eds.) (2019): SME Mineral Processing and Extractive Metallurgy Handbook: 2049 – 2075; Society for Mining, Metallurgy & Exploration (SME).

HARBEN, P. W. & KUŽVART, M. (1996): Rare-Earth Minerals. – In: HARBEN, P. W. & KUŽVART, M. (1996): Industrial minerals – a global geology: 330 – 340; Industrial Minerals Information Ltd., London.

HAXEL, G. B., HEDRICK, J. B. & ORRIS, G. J. (2002): Rare Earth Elements – Critical Resources for High Technology. – U. S. Geol. Surv. Fact Sheet 087-02: 4 S. – URL: <https://pubs.usgs.gov/fs/2002/fs087-02> [Stand: 31.01.2025].

HAYNES, W. M. (Hrsg.) (2016): Abundance of elements in the earth's crust and in the sea. – CRC Handbook of Chemistry and Physics, 97th ed. (2016 – 2017): 2.670 S.; Boca Raton.

HEIDER, M. (2021): Contexto histórico e potencialidades do titânio no Brasil. – URL: <https://www.inthemine.com.br/site/contexto-historico-e-potencialidades-do-titanio-no-brasil> [Stand: 20.01.2025].

HOUK, L. G. (1943): Monazite Sand. – U. S. Bureau of Mines, Information Circular 7233: 19 S.; United States Department of the Interior, Washington.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2024): Global Critical Minerals Outlook 2024. – 280 S. – URL: <https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2024> [Stand: 02.09.2024].

ILUKA – ILUKA RESOURCES LTD. (2024): Diversifying the rare earths supply chain. – Präsentation auf der Rare Earths Industry Association Annual Conference 19.6.2024, Tokyo: 17 S.

INFOMINE RESEARCH GROUP (2023): Rare Earth Elements (Metals) and Their Compounds Production, Market and Forecast in Russia. – 14th Edition: 121 S.; Moskau.

JACKSON, W. D. & CHRISTIANSEN, G. (1993): International Strategic Minerals Inventory Summary Report – Rare-Earth Oxides. – U. S. Geological Survey, Information Circular 930–N: 68 S.; United States Government Printing Office.

JAIRETH S., HOATSON D. M. & MIEZITIS Y. (2014): Geological setting and resources of the major rare-earth-element deposits in Australia. – *Ore Geology Reviews*, 62: 72 – 128. – URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.02.008> [Stand: 10.11.2023].

KALVIG, P. (2022): Rare Earth Elements (REE). Geology, technologies, and forecasts. – MiMa rapport 2022/1: 253 S.; Center for Minerals and Materials, Geological Survey of Denmark and Greenland. – URL: https://data.geus.dk/pure-pdf/MiMa-R_2022_01_web.pdf [Stand: 31.01.2025].

KIFLE, D. (2024): Development and optimization of high-performance extraction chromatography method for separation of rare earth elements. – *Journal of Chromatography A*, 1730, 465120: 7 S. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2024.465120> [Stand: 31.01.2025].

KINGSNORTH, D. J. K. (2012a): The Global Rare Earths Industry: A Delicate Balancing Act. – Vortrag für die Deutsche Rohstoffagentur, 16.4.2012: 38 Folien; Berlin (unveröffentlicht).

KINGSNORTH, D. J. K. (2012b): Presentation to RA Rohstoffallianz on 14th September 2012. – 24 Folien; Berlin (unveröffentlicht).

KRUSCH, P. (1938): Molybdän, Monazit, Mesothorium. – Die Metallischen Rohstoffe, ihre Lagerungsverhältnisse und ihre Bedeutung, Heft 2: 91 S.; Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.

LI, M. Y. H., ZHOU, M.-F. & WILLIAMS-JONES, A. E. (2019): The genesis of regolith-hosted heavy rare earth element deposits: insights from world-class Zudong deposit in Jiangxi province, south China. – *Economic Geology*, 114, 3: 541 – 568. – URL: <https://doi.org/10.5382/econgeo.4642> [Stand: 31.01.2025].

LIEDTKE, M., ERDMANN, M., ELSNER, H., GENTZMANN, M. & SCHÜLER-ZHOU, Y. (2024): Monazit aus Schwermineralsanden – Ein wichtiger Baustein in der Versorgung mit Seltenen Erden. – 18 S.; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). – URL: <https://doi.org/10.25928/qcjsx-ta73> [Stand: 31.01.2025].

LIU, S.-H., FAN, H.-R., LIU, X., MENG, J., BUTCHER, A. R., YANN, L., YANG, K.-F. & LI, X.-C. (2023): Global rare earth elements projects: New developments and supply chains. – *Ore Geology Reviews*, 157: 11 S. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2023.105428> [Stand: 15.08.2024].

LONG, K. R., VAN GOSEN, B. S., FOLEY, N. K. & CORDIER, D. (2010): The Principal Rare Earth Elements Deposits of the United States – A Summary of Domestic Deposits and a Global Perspective. – U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010 – 5220: 96 S. – URL: <http://pubs.usgs.gov/sir/2010/5220> [Stand: 25.1.2025].

MCNULTY, T., HAZEN, N. & PARK, S. (2022): Processing the ores of rare-earth elements. – *MRS Bulletin*, 47(3): 258 – 266; Springer Nature. – URL: <https://doi.org/10.1557/s43577-022-00288-4> [Stand: 20.1.2025].

MEJIA, J. & ALIKABARI, E. (2024): Fraser Institute Annual Survey of Mining Companies 2023. – Fraser Institute: 90 S.; Vancouver. – URL: <https://www.fraserinstitute.org/sites/default/files/2023-annual-survey-of-mining-companies.pdf> [Stand: 5.2.2025].

MIIT – MINISTRY OF INDUSTRY AND INFORMATION TECHNOLOGY (2012): Entry conditions for the rare earth industry. – URL: https://www.gov.cn/banshi/2012-08/07/content_2199615.htm [Stand: 05.12.2023].

MONTI, L. M. (2012): L'industrie Minérale Congolaise. – 316 S.; L'Harmattan, RDC.

MORLEY, I. W. (1982): Black Sands, a History of the Mineral Sand Mining Industry in Eastern Australia. – 278 S.; University of Queensland Press.

ORMEROD, J., KARATI, A., BAGHEL, A. P. S., PRODIUS, D. & NLEBEDIM, I. C. (2023): Sourcing, Refining and Recycling of Rare-Earth Magnets. – Sustainability, 15(20), 14901: 40 S. – URL: <https://doi.org/10.3390/su152014901> [Stand: 20.1.2025].

OVERSTREET, W. C. (1967): The geological occurrence of monazite. – US Geol. Surv. Prof. Paper, 530: 327 S.; United States Government Printing Office, Washington.

PIRKLE, F. L., PIRKLE, W. A. & PIRKLE, E. C. (2007): Chapter 45 Heavy-Mineral Sands of the Atlantic and Gulf Coastal Plains, USA. – In: MANGE, M. A. & WRIGHT, D. T. (Eds.) (2007): Heavy Minerals in Use. – Developments in Sedimentology, Vol. 58: 1144 – 1232. – URL: [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(07\)58045-3](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(07)58045-3) [Stand: 25.01.2025].

PETROW, O. W., MICHAILOW, B. K., KIMELMAN, S. A., LEDOWSKICH, A. A., BAWLOW, N. N., NEZHENSKII, I. A., WOROB'EW, J. J., SCHATOW, W. W., KOPINA, J. S., NIKOLAEVA, L. L., BESPALOW, E. W., BOIKO, M. S., WOLKOW, A. W., SERGEEV, A. S., PARSCHIKOWA, N. W. & MIRCHALEWSKAJA, N. W. (2008): Bodenschätze Russlands (in russ.). – Ministerium der natürlichen Ressourcen in der Russischen Föderation (VSEGEI): 302 S.; St. Petersburg.

REIMER, M., SCHENK-MATHES, H., HOFFMANN, M. & ELWERT, T. (2018): Recycling Decisions in 2020, 2030, and 2040 – When Can Substantial NdFeB Extraction be Expected in the EU? – Metals, 8(11): 15 S. – URL: <https://doi.org/10.3390/met8110867> [Stand: 28.01.2025].

RICHTER, H. (2014): Seltene Erden – ein Beitrag zur Geschichte von Produktion und Anwendung. – Gesellschaft Deutscher Chemiker, Monographie 49, Zeitzeugenberichte XII – Chemische Industrie: 156 – 183; Lutherstadt Wittenberg.

RIZOS, V., RIGHETTI, E. & KASSAB, A. (2022): Developing a Supply Chain for Recycled Rare Earth Permanent Magnets in the EU. – CEPS In-Depth Analysis: 51 S. – URL: https://cdn.ceps.eu/wp-content/uploads/2023/07/CEPS-In-depth-analysis-2022-07_Supply-chain-for-recycled-rare-earth-permanent-magnets-1.pdf [Stand: 28.01.2025].

ROGERS, M. C. & HART, C. N. (1995): Procedural guidelines for qualitative mineral potential evaluations by the Ontario Geological Survey. – Ontario Geological Survey, Open File Report, 5929: 37 S.; Sudbury.

ROSKILL – ROSKILL INFORMATION SERVICES LTD. (2021): Rare Earths. Outlook to 2030. – 20th Edition: 444 S.; London.

ROZELLE, P., TARKA, T. & MAMULA, N. (2019): The application of current mineral processing and extractive metallurgy technologies to potential rare earth ores in the U.S. coal measures: near-term opportunities to fill out the U.S. value chain. – U.S. Department of Energy, Office of Scientific and Technical Information, Technical Report, 1595955: 55 S. – URL: <https://doi.org/10.2172/1595955> [Stand: 28.01.2025].

SALEHI, H., MAROUFI, S., MOFARAH, S. S., NEKOU EI, R. K. & SAHAJWALLA, V. (2023): Recovery of rare earth metals from Ni-MH batteries: A comprehensive review. – *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 178, 113248: 24 S. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113248> [Stand: 28.01.2025].

SCHÖNFELDT, M., DIEHL, O. & GASSMANN, J. (2024): Recycling von NdFeB-Magneten in Deutschland. – *DERA Rohstoffinformationen* 60: 45 S. – URL: <https://doi.org/10.25928/s7mb-e986> [Stand: 28.01.2025].

SCHREIBER, A., MARX, J., ZAPP, P., HAKE, J. F., VOSSENKAUL, D. & FRIEDRICH, B. (2016): Environmental impacts of rare earth mining and separation based on eudialyte: a new European way. – *Resources*, 5(4), 32: 22 S.; – URL: <https://doi.org/10.3390/resources5040032> [Stand: 28.01.2025].

SINONEO MAGNETS (2024): SmFeN Magnets: a new generation of high-performance magnetic materials. – URL: <https://www.sinoneo.com/smfen-magnets-a-new-generation-of-high-performance-magnetic-materials> [Stand: 02.09.2024].

SPORSTØL, S. & KIFLE, D. (2023): Stationary phase for preparative separation of rare earth metals. – U.S. Patent Application No. 17/783,612: 6 S. – URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/3a/60/09/1ef56f5f8525e0/US20230226521A1.pdf> [Stand: 31.01.2025].

SPRECHER, B., XIAO, Y., WALTON, A., SPEIGHT, J., HARRIS, R., KLEIJN, R., VISSER, G. & KRAMER, G. J. (2014): Life cycle inventory of the production of rare earths and the subsequent production of NdFeB rare earth permanent magnets. – *Environmental science & technology*, 48(7): 3951 – 3958. – URL: <https://doi.org/10.1021/es404596q> [Stand 22.01.2025].

TAKEHARA, L., SHINTAKU, I., RABELO, D. M. & SILVEIRA, F. V. (2015): Avaliação do potencial de Terras Raras no Brasil. – CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Informe de Recursos Minerais, Série Minerais Estratégicos, 2: 218 S. – URL: https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/16923/3/IRM-Terras_raras.pdf [Stand 22.01.2025].

THE UNIVERSITY OF WARWICK (2024): The local impacts of rare earth mining in Kachin State, Myanmar. – URL: https://warwick.ac.uk/fac/arts/schoolforcross-facultystudies/research/projects/rare_earth_mining_myanmar [Stand: 31.01.2025].

TMR – TECHNOLOGY METALS RESEARCH (2015): TMR Advanced Rare-Earth Projects Index. – URL: <https://www.techmetalsresearch.net/metrics-indices/tmr-advanced-rare-earth-projects-index/> [Stand: 05.02.2025].

VAN GOSEN, B. S., FEY, D. L., SHAH, A. K., VERPLANCK, P. L. & HOEFEN, T. M. (2014): Deposit model for heavy-mineral sands in coastal environments. – U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report, 2010 – 5070–L: 51 S.; Department of the Interior, U.S. Geological Survey. – URL: <https://dx.doi.org/10.3133/sir20105070L> [Stand: 28.01.2025].

VERPLANCK, P. L. & HITZMAN, M. W. (Hrsg.) (2016): Rare earth and critical elements in ore deposits. – *Reviews in Economic Geology*, 18: 365 S. (Society of Economic Geologists, Inc.). – URL: <https://doi.org/10.5382/REV.18> [Stand: 28.01.2025].

WORLD BANK GROUP (2024): Worldwide Governance Indicators. – URL: <https://www.worldbank.org/en/publication/worldwide-governance-indicators> [Stand: 20.12.2024].

YANG, X. J., LIN, A., LI, X. L., WU, Y., ZHOU, W. & CHEN, Z. (2013): China's ion-adsorption rare earth resources, mining consequences and preservation. – *Environmental Development*, 8: 131 – 136. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2013.03.006> [Stand: 28.01.2025].

YANG, Y., WALTON, A., SHERIDAN, R., GÜTH, K., GAUß, R., GUTFLEISCH, O., BUCHERT, M., STEENARI, B.-M., VAN GERVEN, T., JONES, P. T. & BINNEMANS, K. (2017): REE Recovery from End-of-Life NdFeB Permanent Magnet Scrap: A Critical Review. – *Journal of Sustainable Metallurgy*, 3: 122 – 149. – URL: <https://doi.org/10.1007/s40831-016-0090-4> [Stand: 28.01.2025].

ZEN INNOVATIONS AG (2024): Global Trade Tracker. – kostenpflichtige Datenbank. – URL: <https://www.globaltradetracker.com> [Stand: 20.06.2024].

ZHAO, Z., WANG, D., HUANG, F. & SHA, J. (2020): Monazite – an important source of rare earth and thorium resources in the 20th century. – URL: <http://www.imr.cgs.gov.cn/syfzlm/kpzl/202010/P020201009619120187562.pdf> [Stand: 05.12.2023].

ZHOU, B., LI, Z. & CHEN, C. (2017): Global potential of rare earth resources and rare earth demand from clean technologies. – *Minerals*, 7(11), 203: 14 S. – URL: <https://doi.org/10.3390/min7110203> [Stand: 28.01.2025].

ZHU, X. (Hrsg.) (2002): Rare earth and dispersed elements. – In: ZHU, X. (Hrsg.) (2002): *Mineral facts of China*: 487 – 497; Beijing.

ZIA – ZIRCON INDUSTRY ASSOCIATION LTD. (2018): *A Guide to the Transport of Zircon as a NORM*. – 19 S., London.

Anhang

I. Kurzbeschreibungen Produktionsstandorte	126
II. Kurzbeschreibungen SE-Projekte (Auswahl)	165
III. Auflistung weiterer SE-Projekte mit publizierten Ressourcen	204
IV. Ranking ausgewählter SE-Projekte	242
V. Indikatoren zur Risikobewertung	244

I. Kurzbeschreibungen Produktionsstandorte

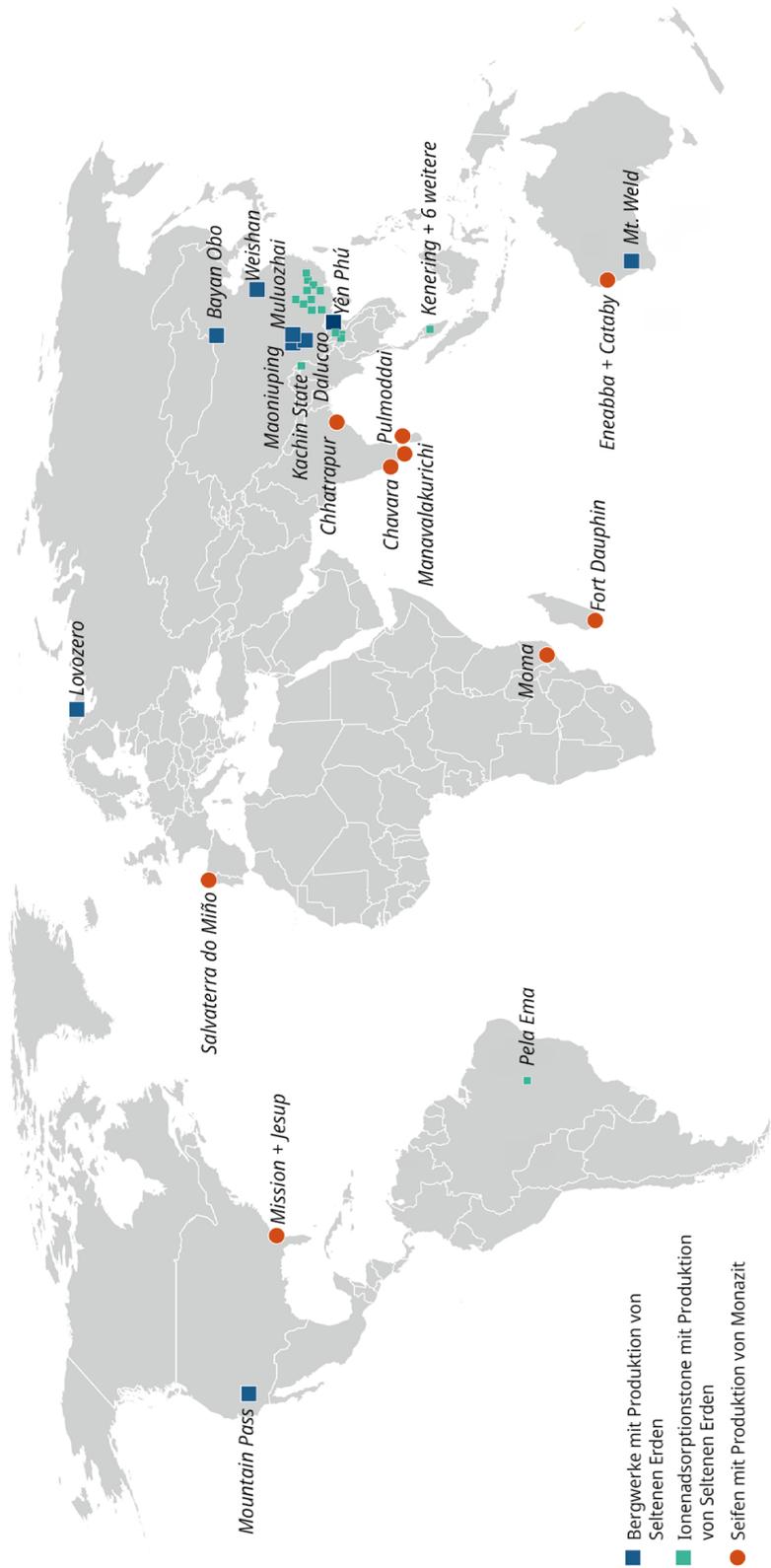


Abb. 29: Karte der weltweiten Bergbaustandorte von Seltenen Erden.

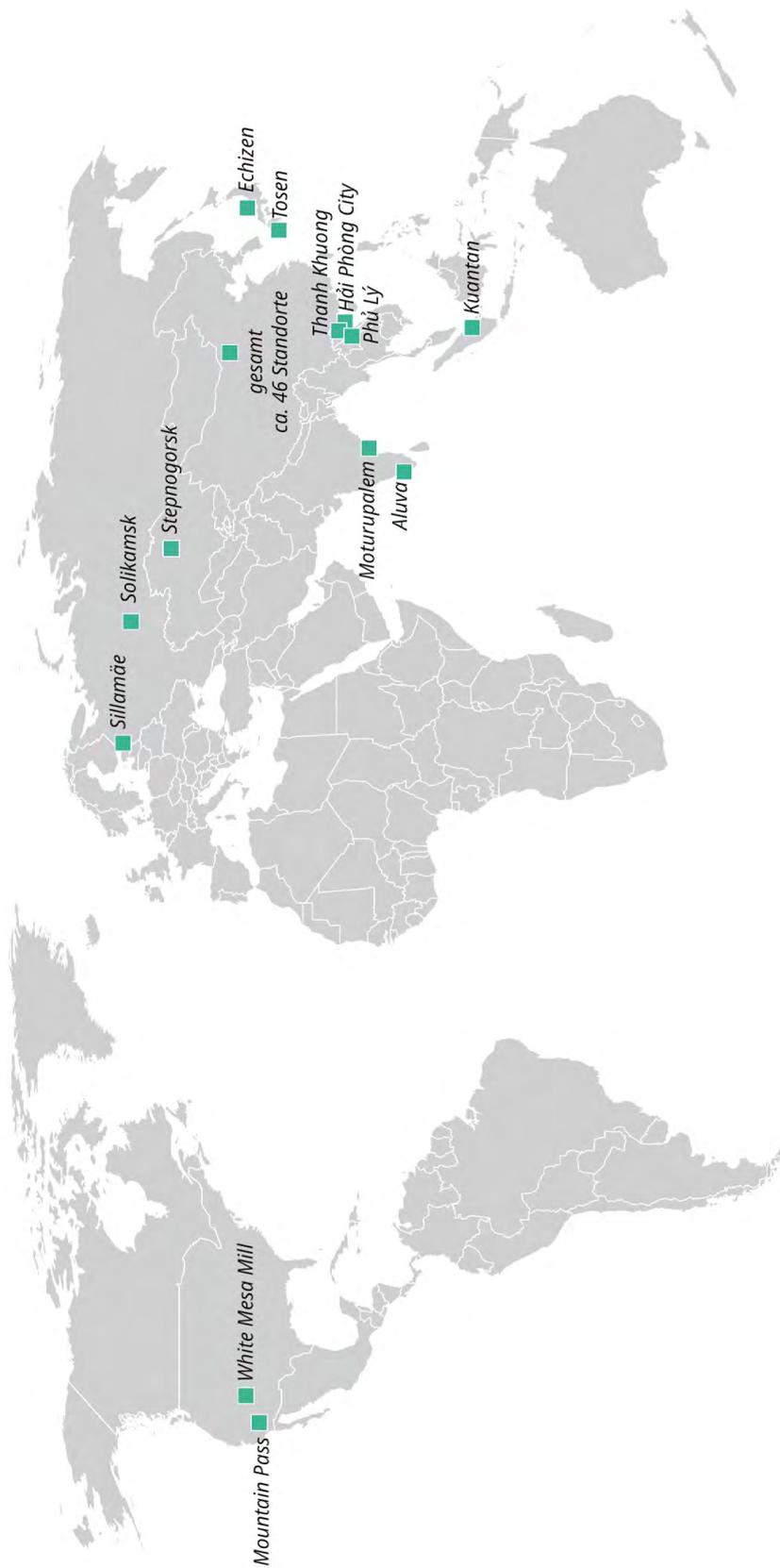


Abb. 30: Karte der weltweiten Standorte mit Raffinadewerken von Seltenen Erden.

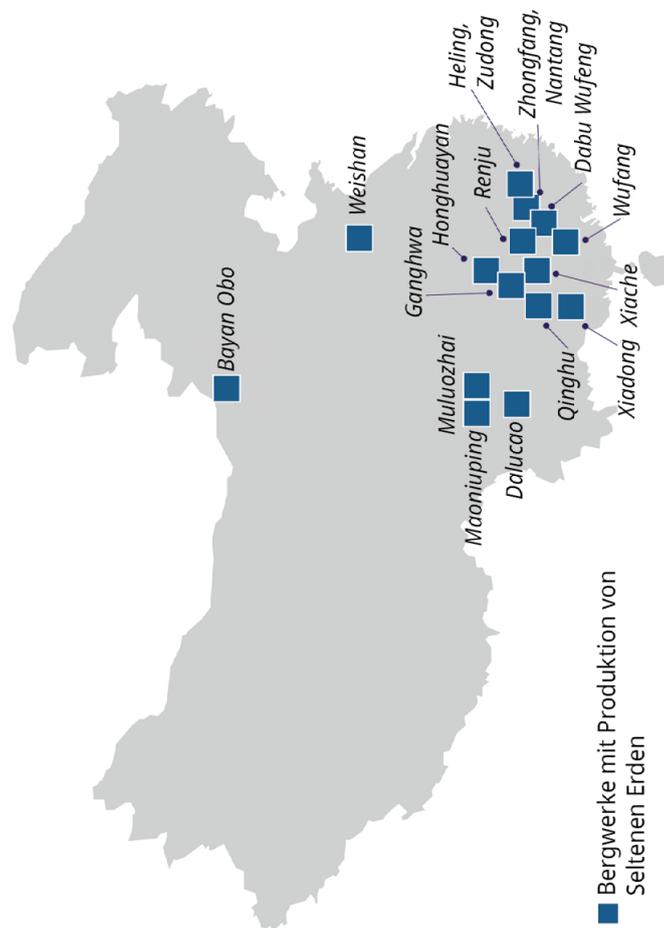


Abb. 31: Karte der chinesischen Bergbaustandorte von Seltenen Erden (ohne Monazitseifen).



Name	Bayan Obo
Land	China
Provinz	Innere Mongolei
Lizenzinhaber	Baotou Iron and Steel (Group) Co., Ltd. hält 38,9 % an China Northern Rare Earth (Group) High-Tech Co., Ltd.

Geschichte/Konzept

1927 Entdeckung des Haupterzkörpers (Fe) durch Prof. Dao-heng Ding/Universität Peking auf der wissenschaftlichen Chinesisch-Schwedischen Nordwest-Expedition; 1933 erste Publikation über Bayan Obo; 1934 Explorationsbeginn; 1935 erste Publikation über SE-Mineralerale in Bayan Obo; 1944 Entdeckung des Ost-Erzkörpers und des West-Erzkörpers; 1950 – 2020: Entdeckung weiterer Erzkörper in der Fläche und Tiefe; 1959 erste Produktion von SE-haltigen Stahllegierungen; 1961 Gründung der China Northern Rare Earth (Group) High-Tech Co., Ltd. und Bau der 8861 SE-Versuchsanlage – Vorläufer der Baotou Steel SE-Hütte; 1963 Gründung des Baotou Metallurgischen Forschungsinstituts des Ministeriums für Metallurgische Industrie – Vorläufer des Baotou (Baotou Steel) SE-Forschungsinstituts; 1975 Inbetriebnahme der Baotou Steel Aufbereitungsanlage mit einer Kapazität von 10.000 t SE-Mineralkonzentrat/J. (ab 1989 Kapazität 24.000 t/J.); seit 1986 weltgrößte Produktionsstätte für SE; 1997 Börsengang und Gründung der Inner Mongolia Baotang Rare Earth High-tech Co., Ltd. durch die Baotou Iron and Steel (Group) Co., Ltd., die Jiaxin Co., Ltd. (Hong Kong) und die Baotou Iron and Steel Consolidated Enterprises (Group) Co.; 2012 Gründung der Handelsplattform Baotou Rare Earth Products Exchange Co., Ltd.

Erzgewinnung (Kapazität ca. 12 Mio. t/J.) in drei Tagebauen Main Mine (1,5 x 1,1 km), East Mine (1,4 x 1,0 km) und West Mine (4,6 x 1,0 km, eröffnet 2006), Brechen und Aufmahlen des Erzes < 0,074 mm, in drei Aufbereitungsanlagen Abtrennung des Magnetits durch Schwachmagnete, Abtrennung von Hämatit und der meisten SE-Mineralerale aus den Abgängen durch Starkma-

gnete, Abtrennung der meisten SE-Mineralerale aus den Abgängen (9,8 – 12 % SEO, 35 – 45 % Feststoffanteil) durch komplexe Flotation mit verschiedenen Chemikalien: 1. Bastnäsitkonzentrat @ 55 % SEO, 2. Monazit-Mischkonzentrat @ 34 % SEO (Gesamtausbringen 72 – 75 %), Trennung von Bastnäsit und Monazit durch weitere Flotation und Aufkonzentration zu separaten Monazit- und Bastnäsitkonzentraten > 50 % SEO (Kapazität: 250 kt SE-Mineralkonzentrate/J.); gruppeninterne Weiterverarbeitung der Konzentrate durch 16 Tochterunternehmen bzw. -beteiligungen (s. u.) in mehreren Provinzen zu > 50 Arten von SE-Karbonaten, SE-Chloridlösungen, SE-Verbindungen und SE-Oxiden (Gesamtkapazität 120 kt/J.) bzw. SE-Metallen (Kapazität 16 kt/J.) in knapp 1.000 Spezifikationen; gruppeninterne Weiterverarbeitung der SE-Produkte durch 18 Tochterunternehmen bzw. -beteiligungen in acht Provinzen zu SE-Magneten (Kapazität 41 kt/J., Produktion 2023: 49.691 t), SE-Poliermitteln (Kapazität 32 kt/J., Produktion 2023: 26.147 t), SE-Katalysatoren (Kapazität 12 kt/J.), NiMH-Batterien (Gesamtkapazität 1 Mio. Stück/J.), Leuchtmitteln, Wasserstoffspeicherlegierungen u. a. m.

Seit 2016 wird zudem beibrechend ein Flussspatkonzentrat ausgebracht (Produktion 2023: 502.400 t).

Die 17 wichtigsten im Geschäftsbereich Seltene Erden (Aufbereitung, Verhüttung und Verarbeitung) tätigen Tochterunternehmen der Baotou Iron and Steel (Group) Co., Ltd. sind:

Aufbereitung:

- Inner Mongolia Baogang Steel Union Co., Ltd., Baotou City, Provinz Innere Mongolei

Verhüttung und Verarbeitung:

- China Northern Rare Earth (Group) High-tech Co., Ltd., Baotou City, Provinz Innere Mongolei, Produktion 2022: 47.515 t SE-Metalle
- Baotou Huamei Rare Earth High-tech Co., Ltd., Baotou City, Provinz Innere Mongolei, Produktion 2022: 19.942 t SE-Metalle, 52.159 t SE-Chloridlösungen
- Inner Mongolia Baogang Hefa Rare Earth Co., Ltd., Baotou City, Provinz Innere Mongolei, Produktion 2022: 17.100 t SEO
- Baotou Huaxing Rare Earth Technology Co., Ltd., Baotou City, Provinz Innere Mongolei, Eigenproduktion 2022: 48 t Pr/Nd-Metall, Auftragsproduktion 2022: 2.125 t Pr/Nd-Metall, 5.395 t SEO, 651 t SE-Karbonate
- Northern Rare Earth (Quannan) Technology Co., Ltd., Ganzhou City, Provinz Jiangxi
- Gansu Rare Earth New Materials Co., Ltd., Baiyin City, Provinz Gansu
- Xinfeng County Baotou Steel Xinli Rare Earth Co., Ltd., Jiading Town, Xinfeng County, Ganzhou City, Provinz Jiangxi
- Baotou Jingrui New Materials Co., Ltd., Baotou City, Provinz Innere Mongolei
- Zibo Baogang Ganoderma Rare Earth High-tech Co., Ltd., Zibo City, Provinz Shandong
- Baotou Jinmeng Rare Earth Co., Ltd., Baotou City, Provinz Innere Mongolei, Produktion 2022: 3.271 t separierte SE-Produkte
- Baotou Feida Rare Earth Co., Ltd., Baotou City, Provinz Innere Mongolei
- Baotou Hongtianyuan Rare Earth Magnetic Materials Co., Ltd., Baotou City, Provinz Innere Mongolei, Produktion 2022: 22.558 t SE-Mischkarbonat
- Wuyuan County Runze Rare Earth Co. Ltd., Bayannur City, Provinz Innere Mongolei, Produktion 2022: 11.242 t (unklar was)
- Inner Mongolia Aerospace Jinxia Chemical Co., Ltd., Hohhot City, Provinz Innere Mongolei
- Baotou Xindamao Rare Earth Co., Ltd., Baotou City, Provinz Innere Mongolei (gestundet)

- Northern Rare Earth Sheng Yilun Rare Earth High-tech Co., Ltd., Hohhot City, Provinz Innere Mongolei (gestundet)

Die o.g. Tochterunternehmen verfügen zum Teil über weitere Tochterunternehmen und Beteiligungen. So produziert die im Jahr 2000 gegründete Baotou Weiming Rare Earth Materials Co., Ltd. ausschließlich Sm-Metall (@ min. 99,5 % Sm) mit einer Kapazität von 250 t/J. Im Jahr 2021 lag die Produktion bei 185 t, im Jahr 2022 bei 103 t und im Jahr 2023 bei 112 t.

CNRE kündigte im Frühjahr 2023 an, in diesem Jahr Produkte mit insgesamt 161.400 t SEO-Inhalt erzeugen zu wollen, davon 150.300 t aus Bayan Obo, 7.700 t aus zugekauften Erzen und 3.300 t durch Recycling. Im Jahr 2023 wurde CNRE dann eine hierfür ausreichende Bergbauförderquote von 178.650 t SEO und eine Aufbereitungsquote von 163.234 t SEO zugeteilt. Bis zum Jahresende 2023 lag die Gesamtproduktion von CNRE bei 357.100 t SE-Mineralkonzentraten, 16.700 t SE-Oxiden, 127.387 t SE-Verbindungen und 30.800 t SE-Metallen. Verkauft wurden im Jahr 2023 346.900 t SE-Mineralkonzentrate (gruppenintern), 28.823 t SE-Oxide, 87.245 t SE-Verbindungen und 31.052 t SE-Metalle.

Art der SE-Mineralisation

mehrere Erzkörper, von Ost nach West:

- Eastern Contact (inkl. Boluotou) mit 38 Teilerzkörpern, davon 24 Fe-, vier SE- und zehn Nb-Teilerzkörper
- East (inkl. Dongjielegele), mit 20 Teilerzkörpern über 1.200 m Länge und 350 m Breite
- Main (inkl. High-Magnesium), mit 29 Teilerzkörpern über 1.250 m Länge und 415 m Breite
- West, mit elf Fe-Teilerzkörpern und 62 SE-Teilerzkörpern @ 1 – 2 % SEO über 10.000 m Länge und 1.000 m Breite

Aus dolomitischen Fe-Karbonatitgängen (0,4 – 17 m Breite, 30 – 150 m Länge) und Kontaktzonen über gesamt 18 km Länge, 2 – 3 km Breite und noch offener Teufe (> 1.775 m), entstanden durch Umwandlung eines mesoproterozoischen

Riffkalksteins durch aus einer karbonatitischen Magmenkammer in > 30 km Teufe multitemporal aufsteigende hydrothermal-karbonatitische Lösungen unterhalb eines bis 300 m mächtigen abdeckenden Tonschiefers. Daraus hervorgegangene Mineralisation in Form von bisher nachgewiesenen 71 Elementen in 186 verschiedenen Mineralen, darunter meist sehr feinkörniger (0,01 – 0,074 mm) Bastnäsit, Monazit und 29 weitere SE-Minerale (97 % leichte SEO), zudem 20 Fe-Minerale, 10 Nb-Minerale, 6 Th-Minerale und 3 Sc-Minerale. Die höchsten SEO-Gehalte (5,89 – 18,40 %) finden sich im Fluoriterz, die niedrigsten (0,49 – 2,88 %) im stückigen Nb-SE-Erz.

Ressourcen

(unterschiedliche Angaben, ältestes Zitat)

Ursprüngliche Ressourcen

Main & East Orebodies: Erz @ 0,45 – 1,5 % SEO (110,022 Mio. t SEO-Inhalt, Stand 1953)

West Orebody: Erz @ 1,158 – 3,026 % SEO (60,665 Mio. t SEO-Inhalt, Stand 2005)

Eastern Contact Orebodies: Erz @ 3,14 % SEO (10,468 Mio. t SEO-Inhalt, Stand 2009)

2002:

Main & East Orebodies: Erz @ 5,17 – 6,19 % SEO (57,4 Mio. t SEO-Inhalt), @ 0,126 – 0,141 % Nb₂O₅ (2,2 Mio. t Nb₂O₅-Inhalt), @ 35 % Fe (1,56 Mrd. t Fe-Inhalt)

vor 2007:

Erz @ 3 – 5 % SEO (Reserven: 35 Mio. t SEO-Inhalt)

2009:

Erz @ 6 % SEO (Reserven: 43,5 Mio. t SEO-Inhalt, Ressourcen: 106 Mio. t SEO-Inhalt, mögliche Ressourcen: > 135 Mio. t SEO-Inhalt, potenzielle Ressourcen: 333 Mio. t SEO-Inhalt)

2012:

Schlammteiche: 197,12 Mio. t @ 7,01 % SEO (13,82 Mio. t SEO-Inhalt), @ 0,138 % Nb₂O₅ (272 kt Nb₂O₅-Inhalt), @ 15,88 % Fe, @ 22,28 % CaF₂ (43,92 Mio. CaF₂-Inhalt)

2024:

Schlammteiche: Ressourcen: 48,82 Mio. t SEO-Inhalt

Literatur

LI, M. Y. H., ZHOU, M.-F. & WILLIAMS-JONES, A. E. (2019): The genesis of regolith-hosted heavy rare earth element deposits: insights from world-class Zudong deposit in Jiangxi province, south China. – *Economic Geology*, 114, 3: 541-568; Littleton, CO. – URL: <https://doi.org/10.5382/econ-geo.4642> [Stand: 31.01.2025].



Name	verschiedene
Land	China
Provinz	verschiedene
Lizenzinhaber	verschiedene

Geschichtliche Entwicklung

		2009	Produktionsquote: 87.620 t SEO (MLR) bzw. 110.700 t SEO (MIIT)
1927	Entdeckung von SE in der Eisenerz-lagerstätte Bayan Obo	2009	Verabschiedung des „Rare Earth Industry Development Plan (2009 – 2015)“ durch das MIIT
1957	Beginn der SE-Produktion		
1980	Gründung der Chinese Society of Rare Earths	2010	Verabschiedung des „Guiding catalogue for the elimination of outdated production process equipment and products in certain industrial industries“ durch das MIIT
1980er	Beginn der kommerziellen SE-Produktion (696 t SEO bzw. 57 t SE-Metalle in 1986)		
1985	Gründung des China Rare Earth Information Center (CREIC)	2010	Reduzierung der Exportquote von 50.145 t SE im Jahr 2009 auf 30.258 t SE im Jahr 2010 (-40 %) wegen des im 12. Fünfjahresplan (2010 – 2015) vorhergesagten erhöhten Eigenbedarfs ab 2010
1990	Einstufung von SE als geschützte und strategische Minerale		
1992	Deng Xiaoping: „Der Mittlere Osten hat Öl, China hat seltene Erden“	2010	Produktionsquote: 89.200 t SEO (MLR/MIIT)
1999	Einführung von Exportquoten auf SE	2010	Einstellung der Exporte von SE nach Japan (Sept. – Nov.)
2001	Beitritt Chinas zur World Trade Organization (WTO)	2011	Exportquote: 30.246 t SE, Produktionsquote: 93.800 t SEO
2003	Einstellung der Genehmigung von chinesisch-ausländischen SE-Unternehmungen	2011	Verabschiedung der „Guidelines to promote sustainable and sound development of the rare earth industry“
2006	Einführung von Produktionsquoten auf SEO (2006: 86.620 t SEO)	2011	Gründung der Association of China Rare Earth Industry
2007	Produktionsquote: 87.020 t SEO (MLR)	2012	Exportquote: 30.996 t SE, Produktionsquote: 93.800 t SEO
2008	Produktionsquote: 90.180 t SEO (MLR) bzw. 119.500 t SEO (MIIT)	2012	Beschwerde der USA, der EU und von Japan vor der WTO gegen die Exportbeschränkungen Chinas in Bezug auf SE, Mo und W

- 2012 Veröffentlichung „China's rare earth situation and policy“ durch das chinesische Informationszentrum
- 2012 Verbot der Förderung und Aufbereitung von inländischem Monazit
- 2013 Exportquote: 30.999 t SE, Produktionsquote: 93.800 t SEO
- 2014 Exportquote: 30.611 t SE, Produktionsquote: 105.600 t SEO
- 2014 1. Kampagne zur Bekämpfung der illegalen SE-Produktion (10.2014 – 03.2015)
- 2014 Entscheidung der WTO gegen China mit der Verpflichtung zur Rücknahme der Exportquoten
- 2015 Rücknahme der Exportquoten (zum 01.01.2016) und Modifizierung der Produktionsquoten (105.000 t SEO im Jahr 2015)
- 2016 Verabschiedung des „Rare Earth Industry Development Plan (2016 – 2020)“ und der „Regulation on Rare Earth Industry, Edition 2016“ durch das MIIT (s. u.)
- 2016 Verbot der Aufbereitung von SE-Erzen in China im Auftrag von ausländischen Unternehmen
- 2016 2. Kampagne zur Bekämpfung der illegalen SE-Produktion (10.2016 – 04.2017)
- 2016 Zusammenschluss der mehr als 400 SE-gewinnenden/-verarbeitenden Unternehmen in sechs große SE-Gruppen „The Big Six“ mit zugewiesenen Provinzen:
- China Northern Rare Earth (Group) High-Tech Co., Ltd. (Innere Mongolei) (gegr. 2002, Gesellschafter: 100 % Baotou Iron & Steel Co. bzw. 100 % Baogang (Group) Co.)
 - China Minmetals Corporation (Hunan, Fujian, Yunnan)
 - Aluminium Corporation of China (CHALCO) (Guangxi, Jiangsu, Shandong, Sichuan)
 - China Southern Rare Earth Group (Jiangxi, Sichuan) (CSREG) (Gesellschafter: 60 % Ganzhou Rare Earth Group, 35 % Jiangxi Copper Group (Tochterfirmen: Sichuan Jiangtong Rare Earth Co.; Sichuan Jiangxi Rare Earth Group), 5 % Jiangxi Rare Earth & Rare Metal Tungsten Group Co.)
 - Xiamen Tungsten Co., Ltd. (Fujian) (Gesellschafter u. a.: 32 % Fujian Rare Earth (Group) Co., Ltd., 9 % China Minmetals Nonferrous Metals Co., Ltd.)
 - Guangdong Rare Earth Industry Group Co., Ltd. (Guangdong, Yunnan) (Tochterfirma: Guangsheng Rising Nonferrous Metals – GRNM)
- 2016 Quote Bergbauproduktion: 105.050 t SEO, Verhüttung & Aufbereitung: 90.000 t SEO (aufgegliedert nach Provinzen)
- 2017 Quote Bergbauproduktion: 105.050 t SEO, Verhüttung & Aufbereitung: 100.500 t SEO (aufgegliedert nach Provinzen)
- 2018 Quote Bergbauproduktion: 119.950 t SEO, Verhüttung & Aufbereitung: 115.000 t SEO (aufgegliedert nach Provinzen)
- 2019 Quote Bergbauproduktion: 132.050 t SEO, Verhüttung & Aufbereitung: 127.000 t SEO (aufgegliedert nach Provinzen)
- 2019 Besuch der JL MAG Rare-Earth Co., Ltd. in Ganzhou, Jiangxi Provinz, durch Präsident Xi Jinping und Vize-Premierminister Liu He

2020	Quote Bergbauproduktion: 140.000 t SEO, Verhüttung & Aufbereitung: 135.000 t SEO (aufgegliedert nach Provinzen)	2023	Quote Bergbauproduktion: 255.000 t SEO, Verhüttung & Aufbereitung: 243.850 t SEO (aufgegliedert nach Unternehmen)
2021	<p>Gründung der China Rare Earth Group Co., Ltd. mit den Anteilseignern</p> <ul style="list-style-type: none"> – Assets Supervision and Administration Commission of the State Council (31,21 %) – Aluminium Corporation of China (CHALCO) (20,33 %) – China Minmetals Corporation (20,33 %) – Ganzhou Rare Earth Group Co., Ltd. (20,33 %) – China Iron and Steel Research Institute Group (SASAC) (3,9 %) – GRINM Technology Group Co., Ltd. (3,9 %) <p>und dadurch Umstrukturierung der „The Big Six“ in die „The Big Four“:</p> <ul style="list-style-type: none"> – China Northern Rare Earth Group High-Tech Co., Ltd. (Innere Mongolei) (leichte SEO) – China Rare Earth Group Co., Ltd. (Hunan, Fujian, Yunnan, Guangxi, Jiangsu, Shandong, Sichuan) (leichte und schwere SEO) – Xiamen Tungsten Co., Ltd. (Fujian) (schwere SEO) – Guangdong Rare Earth Industry Group Co., Ltd. (Guangdong, Yunnan) (schwere SEO) (inkl. China Nonferrous Metal Industry's Foreign Engineering and Construction Co., Ltd. – nur Aufbereitung) 	2023	<p>Joint-Venture zwischen China Rare Earth Group Co., Ltd. (51 %) und Xiamen Tungsten Co., Ltd. (49 %) zum gemeinsamen SE-Bergbau und gemeinsamer SE-Aufbereitung in der Provinz Fujian, dadurch Umstrukturierung der „The Big Four“ in die „The Big Three“</p>
		2024	Eingliederung der Guangdong Rare Earth Industry Group Co., Ltd. in die China Rare Earth Group Co., Ltd., dadurch Umstrukturierung in die „The Big Two“
		2024	Quote Bergbauproduktion: 270.000 t SEO, Verhüttung & Aufbereitung: 254.000 t SEO (aufgegliedert nach Gruppen)
		2024	Regulierung der gesamten Wertschöpfungskette innerhalb der chinesischen SE-Industrie durch das MIIT
			<p>Nach der „Regulation on Rare Earth Industry, Edition 2016“ des MIIT müssen chinesische Unternehmen über folgende Kapazitäten verfügen:</p> <ul style="list-style-type: none"> – im Bereich gemischte SE-Konzentrate über Kapazitäten zur Produktion von > 20.000 t/J. (@ > 75 % Ausbringen bei normalen Erzen bzw. > 65 % bei niedriggradigen Erzen) oder zur Aufbereitung > 8.000 t/J. (@ > 94 % Ausbringen bis zu einem SE-Gemisch bzw. > 96 % bis zu separierten SE) – im Bereich Bastnäsitkonzentrate über Kapazitäten zur Produktion oder zur Aufbereitung von > 5.000 t/J. – im Bereich Ionenadsorptionstone über Kapazitäten zur Produktion von > 500 t SEO/J. (@ > 75 % Ausbringen) oder zur Aufbereitung von > 3.000 t SEO/J. (@ > 94 % Ausbringen)
2021	Quote Bergbauproduktion: 168.000 t SEO, Verhüttung & Aufbereitung: 162.000 t SEO (aufgegliedert nach Unternehmen)		
2022	Quote Bergbauproduktion: 210.000 t SEO, Verhüttung & Aufbereitung: 202.000 t SEO (aufgegliedert nach Unternehmen)		

- Recyclingbetriebe müssen Produkte mit insges. > 3.000 t SEO-Inhalt/J. aufbereiten können

Obwohl in den letzten Jahren zahlreiche Publikationen zur Geologie der chinesischen SE-Lagerstätten und auch zur chinesischen Wirtschaftspolitik in Bezug auf SE erschienen sind, sind darin wirtschaftsgeologische Daten zu den in Betrieb befindlichen SE-Bergwerken und -Aufbereitungsanlagen selten enthalten. Erschwerend kommt hinzu, dass sich die publizierten wirtschaftsgeologischen Daten in Bezug auf Tonnage, Gehalt und Abbaustatus der Lagerstätten oft widersprechen, da unterschiedliche (nicht nachvollziehbare) Ressourcenkategorien und (nicht genannte) Bezugsjahre gewählt wurden. Besonders welche Ionenadsorptionstonlagerstätten im Süden Chinas derzeit noch bzw. aktuell wieder in Abbau stehen, ist nicht sicher recherchierbar.

Nach WANG (2024), aufbauend auf Daten der Association of China Rare Earth Industry, be-

tragen die chinesischen SE-Ressourcen ca. 112 Mio.t SEO, wovon ca. 82 Mio.t (73,21 %) leichte SEO sind. Die schweren SEO machen 25,89 %, entsprechend ca. 29 Mio. t SEO aus. Die Reserven betragen 31,57 Mio. t SEO, davon sind 28,53 Mio. t (90,37 %) leichte SEO und 3,05 Mio. t (9,66 %) schwere SEO (vgl. Tabelle 24).

ASIAN METAL (2024) nennt für das Jahr 2023 gesamtchinesische Ressourcen von 135,12 Mio.t SEO (konstant seit 2019).

Nach ZHU (2002) betragen die chinesischen Ressourcen im Jahr 1997 noch 90,8 Mio. t SEO und die Reserven 28,2 Mio. t SEO; im gleichen Jahr waren in China 193 SE-Vorkommen bekannt.

Hu et al. (2009) bezifferten die chinesischen SE-Vorräte in ebenfalls 193 SE-Vorkommen zum Ende 2007 auf 84,95 Mio. t SEO, verteilt auf Reserven (vermutlich i. e. S. bzw. westlicher Klassifikation) von 18,4 Mio. t SEO und Ressourcen (vermutlich i. w. S.) von 66,55 Mio. t SEO.

Tab. 24: Verteilung der chinesischen SE-Reserven und -Ressourcen (in kt SEO) auf die Provinzen (nach Association of China Rare Earth Industry, zitiert in WANG 2024), IAT = Ionenadsorptionstone

Provinz	Art	Mineralisation	Reserven	Ressourcen
Innere Mongolei	leichte SEO	70 % Bastnäsit 30 % Monazit	14.980 6.420	42.910 18.390
Sichuan	leichte SEO	Bastnäsit	2.780	5.000
Shandong	leichte SEO	Bastnäsit	4.000	12.700
Hunan	leichte SEO	Monazit	350	3.400
Zwischensumme	leichte SEO		28.530	82.400
Jiangxi	schwere SEO	IAT	760	8.000
Guangdong	schwere SEO	IAT	530	9.000
Fujian	schwere SEO	IAT	20	4.000
Guangxi	schwere SEO	IAT	1.100	6.780
Hunan	schwere SEO	IAT	640	1.690
Zwischensumme	schwere SEO		3.050	29.470
Summe			31.570	111.870

Tab. 25: Verteilung der chinesischen SE-Reserven und -Ressourcen (in t SEO) zum Jahresende 2007, nach Hu et al. (2009)

	Reserven	Ressourcen	Gesamt
leichte SEO	561.000 t	3.380.100 t	3.941.100 t
schwere SEO	89.200 t	724.600 t	813.800 t
gemischte SEO	17.670.000 t	61.770.000 t	79.440.000 t
Gesamt	18.400.000 t	66.550.000 t	84.950.000 t

Nach ASIAN METAL (2024) wurden im Jahr 2023 in China

- 73.554 t (NdPr)₂O₃ durch 45 Unternehmen (Gesamtkapazität: 81.660 t, aufgeteilt auf die Provinzen Innere Mongolei (29,4 %), Sichuan (14,6 %), Jiangxi (11,6 %), Jiangsu (7,0 %), Guangdong (4,1 %) und andere (27,3 %), Auslastungsquote: 68,8 %, Vorräte: 75.730 t),
- 67.582 t NdPr-Mischmetall durch 38 Unternehmen (Gesamtkapazität: 108.280 t, aufgeteilt auf die Provinzen Innere Mongolei (43,2 %), Jiangxi (14,5 %), Sichuan (13,9 %) und andere (25,4 %), Auslastungsquote: 67,6 %, Vorräte: 22.125 t),
- 1.433 t Dy₂O₃ (@ min. 99,5 % Dy₂O₃) durch 24 Unternehmen (Kapazität: 3.471 t, aufgeteilt auf die Provinzen Jiangxi (51,0 %), Jiangsu (20,8 %), Guangdong (13,2 %), Guangxi (10,4 %) und andere (4,6 %), Auslastungsquote: 41,3 %, Vorräte: 795 t),
- 1.395 t DyFe (@ 80 % DyFe) durch neun Unternehmen (Kapazität: 2.920 t, aufgeteilt auf die Provinzen Jiangxi (27,4 %) und andere (72,6 %), Auslastungsquote: 47,8 %, Vorräte: 131 t) und
- 1.894 t Nd-Metall (@ min. 99,5 % Nd) durch sechs Unternehmen (Kapazität: 3.890 t, aufgeteilt auf die Provinzen Jiangxi (56,6 %) und andere (43,4 %), Auslastungsquote: 48,7 %, Vorräte: 86 t)

produziert.

Die Guangdong Rare Earth Industry Group Co., Ltd., zu deren Gesellschaftern mit 38,45 % seit

dem Jahr 2024 auch die China Rare Earth Group Co., Ltd. gehört, meldete für das Geschäftsjahr 2023 eine Rekordproduktion von 2.458 t „SE-Erzen“ (Anm.: vermutl. Ausbringung von 2.458 t SEO-Inhalt aus Ionenadsorptionstonen) bei einer aber gleichzeitig stark zurückgegangenen Produktion von 3.552 t SE-Oxiden und 1.091 t anderen SE-Produkten.

Nach dem CHINA NATURAL RESOURCES STATISTICAL YEARBOOK (2020) sollen in China im Jahr 2019 zehn Unternehmen mit 65 Beschäftigten existiert haben, die mit einer Jahreskapazität von 1.190.900 t SEO schwere SE förderten. Leichte SE wurden dagegen durch 63 Unternehmen mit 1.448 Beschäftigten gefördert. Bei einer Jahreskapazität von 4.597.700 t SEO lag ihre Gesamtfördermenge bei 1.347.300 t SEO. Hinzu kamen vier Unternehmen mit 112 Beschäftigten, die bei einer Jahreskapazität von 475.000 t SEO in der Förderung leichter und schwerer SEO tätig waren. Ihre Fördermenge lag bei 258.800 t SEO.

ROSKILL (2021) ordnete den im Jahr 2020 noch bestehenden sechs SE-Unternehmen, die mittlerweile in nur noch zwei SE-Gruppen integriert wurden, insgesamt 67 aktive Bergbaulizenzen bzw. 29 aktive Bergbaubetriebe mit einer Kapazität von 226.800 t SEO/J. zu. Die gesicherten Reserven in diesen Bergbaulizenzgebieten lagen bei 63,1 Mio. t „SEO“ (Anm.: größtenteils Erz, daher Summenbildung unzulässig!). Die Aufbereitung der Erze erfolgte durch 58 Unternehmen (Anm.: davon 54 mit Aufbereitungsquoten) mit einer Jahreskapazität von geschätzt 307.000 t SEO. In der Praxis sollen jedoch (legal) Erze mit nur 113.140 t SEO gefördert und zu

Produkten mit 102.100 t SEO-Inhalt aufbereitet worden sein. Zum Vergleich lag im Jahr 2020 die Bergbauquote bei 140.000 t SEO und die Aufbereitungsquote bei 135.000 t SEO. Aufbereitet wurden jedoch auch große Mengen importierter Monazit und Monazit enthaltene andere Schwermineralkonzentrate, so dass die Aufbereitungsquote sicherlich voll ausgeschöpft wurde. Zudem waren 23 Betriebe im Recycling von SE enthaltenen Produkten tätig.

Nach ASIAN METAL (2023) arbeiteten im Jahr 2022 in China 46 größere Aufbereitungsunternehmen (angeführt von Gansu Rare Earth Group Co., Ltd. und Baotou Huamei Rare-Earth High-Tech Co., Ltd.) mit einer Gesamtkapazität von 334.000 t SEO, verteilt auf die Innere Mongolei (23,2 %), Sichuan (19,2 %), Jiangxi (12,8 %), Jiangsu (9,2 %), Guangdong (5,0 %), Guangxi (2,7 %) und andere Provinzen (27,9 %). Von den 334.000 t SEO-Aufbereitungskapazität entfielen 217.000 t auf Bastnäsit-/Monazitkonzentrate, 95.200 t auf Ionenadsorptionstone und 21.800 t auf Seifenmonazitkonzentrate. Bis 2025 soll die Gesamtaufbereitungskapazität auf 463.600 t SEO (+39 %) ansteigen.

Im Jahr 2022 lieferten die Aufbereitungsunternehmen (aus heimischen Erzen) Produkte mit 172.000 t SEO-Inhalt – davon stammten 136.400 t (79,4 %) aus Bastnäsit-/Monazitkonzentraten, 29.100 t (16,8 %) aus Ionenadsorptionstone und 6.500 t (3,8 %) aus Seifenmonazitkonzentraten. Die Aufbereitungsmenge verteilte sich auf die Provinzen Innere Mongolei (33,9 %), Sichuan (23,9 %), Jiangxi (7,6 %), Jiangsu (3,8 %), Guangdong (2,0 %), Guangxi (2,2 %) und andere (26,6 %). Die Auslastungsquote über alle Erztypen lag bei 52,8 % bzw. bei Bastnäsit-/Monazitkonzentraten bei 63 %, bei Ionenadsorptionstone bei 31 % und bei Seifenmonazitkonzentraten bei 64 %. Bis 2025 soll die Aufbereitungsmenge auf 240.900 t SEO (+40 %) ansteigen.

Nach Angaben der Chinese Society of Rare Earths (CSRE), zitiert in ARGUS (2024), lag die Gesamtproduktion der chinesischen Aufbereitungsunternehmen im Jahr 2023 bei 337.300 t SEO. Hiervon sollen 299.000 t SEO aus Bastnäsit-Mo-

nazit-Erzen in Nordchina und 38.300 t SEO aus südchinesischen Ionenadsorptionstonlagerstätten gestammt haben. Diese Angaben können jedoch nicht stimmen, da allen chinesischen Unternehmen im Jahr 2023 nur eine Gesamtaufbereitungsquote von 243.850 t SEO bzw. der China Northern Rare Earth (Group) High-Tech Co., Ltd., dem einzigen in Nordchina tätigen SE-Unternehmen, eine Aufbereitungsquote von 163.234 t SEO zugeteilt worden war. Bei den von Argus (2024) zitierten Produktionszahlen handelt es sich daher vermutlich um die Kapazitäten!

Im Jahr 2022 waren der China Rare Earth Group Co., Ltd. (CREG) 72 Bergbaubetriebe zugeordnet, von denen jedoch nur 17 aktiv waren. Zugleich betrieb die Gruppe 33 Aufbereitungsanlagen, von denen 29 in Betrieb waren.

Die China Northern Rare Earth Group High-Tech Co., Ltd. (CNREG) förderte dagegen nur aus den drei großen Tagebauen (und möglicherweise mehreren kleinen Abbaustellen) in Bayan Obo in der Inneren Mongolei (s. gesonderte Beschreibung).

Neben den Bergwerken in Bayan Obo sind derzeit (vermutlich) folgende SE-Abbaustellen in Betrieb, die sämtlich der China Rare Earth Group Co., Ltd. (CREG) zugeordnet sind (ergänzt nach BAI et al. 2022):

– **Maoniuping, Mianning County, Provinz Sichuan**

Lizenzinhaber: Sichuan Jiangxi Copper Rare Earth Co., Ltd. (Eigentümer: 51 % CREG, 39 % Sichuan Shuyu Mining Investment Co., Ltd., 10 % Mianning County Investment Development Co., Ltd.), Kapazität: 49.000 t SE-Konzentrat/J. @ 30.000 t SEO-Inhalt/J.

Exploration seit 1985, Abbau seit 1989, Produktion verschiedener Bastnäsitkonzentrate

Karbonatitgänge und -adern von teils nur wenigen cm-Mächtigkeit über 2,65 km ausstreichender Länge entlang einer Störungszone von 1,4 km Länge und 260 – 350 m Breite, die

sich mit der Tiefe auf bis 12 m verdicken und in einen 90 m breiten Karbonatitschlot übergehen sowie randlich, auf 1,8 km Länge und bis zu 600 m Breite, von einem Ringbereich SE-führender Aplitgänge umgeben sind

71 abbauwürdige, mit 65° – 80° einfallende, 1 bis > 32 m mächtige und von 10 m bis 1.168 m streichende Länge verfolgbare Erzkörper mit 1,0 – 9,05 % (@ i. M. 2,89 – 2,95 %) SEO (@ cut-off grade 1,0 % SEO) (leichte SEO) in Form von Bastnäsit, SE-Fluorit, REE-Calcit, Chevkinin u. a.

Ursprüngliche Ressourcen: 3,17 Mio. t SEO, Ressourcen 2019: ca. 1,8 Mio. t SEO, Ressourcen 2024 nach Exploration: ca. 4,96 Mio. t SEO, Reserven: 1,432 Mio. t SEO (beibrechend Mo, Pb, CaF₂, BaSO₄, Ag?), Gewinnung in zwei ineinander übergehenden Großtagebauen: Guangtoushan (ausgeerzt?) und Dagudao (i. M. 6,5 % SEO, Tagebau bis 80 m Tiefe, Mineralisation bis 150 m Teufe)

– **Muluozhai (Muluoliangzi, Muluo), Mianning County, Provinz Sichuan**

Lizenzinhaber: Sichuan Wankaifeng Rare Earth New Energy Technology Co., Ltd., Kapazität: 30.000 t SE-Konzentrat/J.; Erzgewinnung untertage

Drei Erzzonen (Zhengjialiangzi @ sechs Erzkörper, Diaoloushan @ sieben Erzkörper, Fangjiabo @ fünf Erzkörper, je 40 – 440 m Länge und 1 – 30 m Breite) mit Karbonatitgängen und -adern im Grenzbereich zwischen Metadiabas und Nordmarkit oder Marmor, Mineralisation aus Bastnäsit, Baryt, Fluorit und Calcit mit Ø 3,97 % SEO (leichte SEO)

Ursprüngliche Ressourcen: 450.000 t SEO, Reserven: 101.000 t SEO

– **Dalucao (Daluxiang), Dechang County, Provinz Sichuan**

Lizenzinhaber: Erzkörper #1: Chinalco Sichuan Rare Earth Co., Ltd./Leshan Shenghe Rare

Earth Co., Ltd., Kapazität 10.000 t SE-Konzentrat/J., Erzkörper #3: China Rare Earth (Sichuan) Rare Earth Co., Ltd. (derzeit gestundet?); Erzgewinnung untertage

Karbonatitische Brekzienerz aus feinkörnigem Fluorit, Bastnäsit und Coelestin in elliptischen Schloten von 200 – 400 m Länge und 180 m – 200 m Breite bzw. > 450 m Teufe (Erzkörper #1 und #3) sowie Bastnäsitadern (Erzkörper # 2, nicht in Abbau) mit 0,15 – 7,35 % (@ Ø 5,15 %) SEO (leichte SEO)

Ursprüngliche Ressourcen: 2,37 Mio. t SEO, Ressourcen 2019: ca. 1,0 Mio. t SEO, Reserven: 760.000 t SEO (beibrechend Mo, Pb, CaF₂, BaSO₄, Ag?)

– **Weishanhu (Weishan Lake, Chishan, Xishan), Weishan County, Provinz Shandong**

Nach XIE et al. (2019, Abbildung 17) handelt es sich bei Weishan und Chishan um unterschiedliche Lagerstätten/Bergwerke)

Lizenzinhaber: Shandong Weishan Lake Rare Earth Co., Ltd. (CHALCO), Kapazität: verschiedene Bastnäsitkonzentrate @ 5.000 t SEO-Inhalt/J.; Erzgewinnung untertage

Entdeckung 1958, Exploration bis 1975, Abbau seit 1982 (andere Quellen: seit 1970)

Bastnäsit, Parisit und Monazit in Karbonatitgängen, durch Karbonatit zementierten Brekzienschloten, hydrothermalen Pegmatitgängen sowie fein verteilt in Alkaligranit und Gneisen

> 60 Erzkörper mit Erzgängen von 0,1 – 1,1 m Breite @ i. M. 3,25 % SEO (bis 160 m Teufe), darunter (bis 500 m Teufe) i. M. 4,61 % SEO (leichte SEO)

Ressourcen 2019: 2,55 Mio. t SEO (beibrechend BaSO₄, Au?)

- **Zhongfang, Changting County, Longyan City, Provinz Fujian**
Lizenzinhaber: Xiamen Tungsten Co., Ltd.
Ionenadsorptionstone @ Ø 0,093 % SEO
- **Nantang, Changting County, Longyan City, Provinz Fujian**
Lizenzinhaber: Xiamen Tungsten Co., Ltd. (?)
Ionenadsorptionstone (auf Biotitgranit) @ Ø 0,082 % SEO, Reserven: 18.000 t SEO (leichte SEO)
- **Dabu Wufeng, Dabu County, Meizhou City, Provinz Guangdong**
Lizenzinhaber: Guangdong Rare Earth Industry Group Co., Ltd., Produktion (2022): 550 t SEO
Ionenadsorptionstone @ Ø 0,093 % SEO (leichte bis schwere SEO), Ressourcen: 350.000 t SEO
- **Renju, Pingyuan County, Meizhou City, Provinz Guangdong**
Lizenzinhaber: Guangdong Rare Earth Industry Group Co., Ltd., Produktion (2022): 755 t SEO
Ionenadsorptionstone (auf Granitporphyr und dazitischen rhyolithischen Ignimbriten) @ 0,068 – 0,180 (Ø 0,172) % SEO (leichte bis schwere SEO), Ressourcen: 56.000 t SEO, Reserven: 19.504 t SEO
- **Wufang, Jiexi County, Jieyang City, Provinz Guangdong**
Ionenadsorptionstone (auf Biotit-Monzogranit) @ 0,068 – 0,180 (Ø 0,099) % SEO (schwere SEO), Reserven: 115.241 t SEO
- **Xiache, Heping County, Heyuan City, Provinz Guangdong**
Ionenadsorptionstone (auf Granitporphyr und dazitischem Rhyolith) @ 0,085 – 0,125 (Ø 0,163) % SEO (leichte bis schwere SEO), Reserven: 14.412 t SEO
- **Xiadong, Lingchang County, Qinzhou City, Autonomes Gebiet Guangxi**
Ionenadsorptionstone (auf Quarzmonzonit und Syenitgranit) (leichte SEO), Ressourcen: > 100.000 t SEO
- **Qinghu, Luchuan County, Yulin City, Autonomes Gebiet Guangxi**
8,3 – 22,6 m (Ø 15,1 m) mächtige Ionenadsorptionstone (auf Quarzmonzonit) @ 0,064 – 0,170 % SEO (leichte SEO), Ressourcen: > 100.000 t SEO
- **Honghuayan, Yizhang County, Chenzhou City, Provinz Hunan**
Ionenadsorptionstone (auf Granit) (leichte SEO), Ressourcen: ca. 105.000 t SEO
- **Ganghwa, Jianghua Yao Autonomous County, Yongzhou City, Provinz Hunan**
Lizenzinhaber: China Minmetals Rare Earth Co., Ltd. (94,67 %), Kapazität: 2.000 t SEO/J.
Ionenadsorptionstone @ ca. 0,1 % SEO (mittelschwere und schwere SEO), Ressourcen auf 11,74 km²: 104.300 t SEO, Reserven: 32.914 t SEO
- **Zudong, Longnan County, Provinz Jiangxi**
Lizenzinhaber: Ganzhou Rare Earth Group Co., Ltd., älteste in China entdeckte Ionenadsorptionstonlagerstätte
Ø 10 m, max. 30 m mächtige Ionenadsorptionstone (auf Muskovitgranit) @ 0,0979 – 0,1228 % SEO (schwere SEO), ur-

sprüngliche Ressourcen: 131.000 t SEO, Reserven: 17.622 t SEO

– **Heling, Xunwu County, Ganzhou, Provinz Jiangxi**

Lizenzinhaber: Ganzhou Rare Earth Group Co., Ltd.

6 – 9 m, max. 28 m mächtige Ionenadsorptionstone (auf Rhyolith und Granitporphyr) @ 0,102 – 0,153 % (Ø 0,135 %) SEO (leichte SEO), Ressourcen: 579.258 t SEO, Reserven: 239.000 t SEO (?)

Nicht sicher ist, ob bereits wieder die Gewinnungsstellen in

– **Yunlong (Dehong), Yunlong County, Provinz Yunnan**

– **Dingnan, Dingnan County, Provinz Jiangxi**

– **Liutang, Chongzuo City, Autonomes Gebiet Guangxi**

Lizenzinhaber: Chinalco Guangxi Nonferrous Chongzuo Rare Earth Development Co., Ltd. Kapazität: 1.000 t SEO/J., Ionenadsorptionstone @ bis 0,065 % SEO

erneut in Betrieb genommen wurden.

Verbliebene Seifenlagerstätten mit Monazitproduktion sind nach BAI et al. (2022) derzeit:

– **Sanlongyan, Huarong County, Yueyang City, Provinz Hunan (Monazit)**

– **Yiachanghe, Vine County, Wuzhou City, Provinz Guangxi (Monazit, Xenotim)**

– **Shiyu, Bobai County, Yulin City, Provinz Guangxi (Monazit, Xenotim)**

– **Beiliu520, Beiliu City, Provinz Guangxi (Monazit, Xenotim, Zirkon)**

– **Baima, Beiliu City, Provinz Guangxi (Monazit, Xenotim)**

Auch in China befinden sich mehrere SE-Projekte in verschiedenen Stadien der Exploration oder Genehmigung. Da Daten zu den Gehalten und Tonnagen dieser Lagerstätten jedoch nicht publiziert sind, werden sie im Folgenden nicht

weiter berücksichtigt. In chinesischen Internetquellen erwähnte SE-Projekte sind:

– **Sanqiutian, Gannan County, Provinz Jiangxi: Ionenadsorptionstonlagerstätte in Exploration durch China Rare Earth Group Co., Ltd.**

– **Feitian, Pingyuan County, Provinz Guangdong: Ionenadsorptionstonlagerstätte in Exploration durch China Minmetals Corporation**

– **Zhongshan, Sanming City, Provinz Fujian: Ionenadsorptionstonlagerstätte in Exploration durch China Minmetals Corporation**

– **Shenggongzhai, Pingyuan County, Provinz Guangdong: Ionenadsorptionstonlagerstätte in Exploration durch China Minmetals Corporation**

– **Huangfang, Liancheng County, Provinz Fujian: Ionenadsorptionstonlagerstätte im Genehmigungsverfahren durch Xiamen Tungsten Co., Ltd.**

– **Yangmeikeng, Changting County, Provinz Fujian: Ionenadsorptionstonlagerstätte im Genehmigungsverfahren durch Xiamen Tungsten Co., Ltd.**

– **Yangfang, Mianning County, Provinz Sichuan: Karbonatit im Genehmigungsverfahren durch Mianning Mianli Rare Earth Mineral Co., Ltd (JV mit Shenghe Resources)**

Im Vordergrund, neben der Aufschließung neuer Lagerstätten, steht jedoch weiterhin die Umstrukturierung/Renaturierung und dadurch Möglichkeit zur legalen Wiedereröffnung der zahlreichen von den Behörden seit Ende 2014 geschlossenen Ionenadsorptionstonlagerstätten in den südlichen Provinzen Chinas.

Über Jahrzehnte die bedeutendste Quelle von schweren Seltenen Erden weltweit waren die Lagerstätten der sog. Ionenadsorptionstone (IAT) (engl. „ionic adsorption clay“ = IAC) im Süden Chinas, bei denen es sich allerdings in Wirklichkeit nicht um reine Tone, sondern um Verwitterungsböden („Regolithe“) fast ausschließlich über Alkaligraniten, selten über anderen Gesteinen, wie Vulkaniten, handelt. Nach LI et al. (2019) standen bis zum Beginn der Umweltinspektionen im Jahr 2015 mehr als 170 dieser

Lagerstätten im Süden Chinas (Jiangxi, Guangdong, Guangxi, Fujian, Hunan, Yunnan) in Abbau, meist unter Hinterlassung gravierender Umweltschäden. Nur rund 10 % dieser Lagerstätten enthielten vorwiegend schwere Seltene Erden, trugen aber mehr als 90 % zu der weltweiten Versorgung mit dieser SE-Gruppe bei. Auch Li et al. (2017) nennen in ganz SE-China (Guangxi, Guangdong, Fujian, Jiangxi) zwar 43 größere Regolithlagerstätten, wovon aber nur vier (Zudong s. u., Datian, Xiawentian, Zhaibeiding) an schweren SE angereichert sind.

XiE et al. (2016 bzw. 2019) nennen 185 sehr unterschiedlich große (18 – 579.258 t SEO-Inhalt) IAT-Vorkommen im Süden Chinas, die zusammen 1,20 % der chinesischen SE-Vorräte beinhalten und sich verteilen auf

- 95 Vorkommen in der Provinz Jiangxi @ gesamt 1.007 kt SEO-Inhalt
- 31 Vorkommen in der Provinz Hunan @ gesamt 251 kt SEO-Inhalt
- 27 Vorkommen in der Provinz Guangdong @ gesamt 576 kt SEO-Inhalt
- 25 Vorkommen in der Provinz Fujian @ gesamt 21 kt SEO-Inhalt
- 3 Vorkommen in der Provinz Guangxi @ gesamt 21 kt SEO-Inhalt
- 3 Vorkommen in der Provinz Zhejiang @ gesamt 7 kt SEO-Inhalt
- 1 Vorkommen in der Provinz in Heilongjiang

Von diesen 185 IAT-Vorkommen führen nur 20 vorwiegend schwere SE, weitere sieben führen in etwa gleichem Verhältnis sowohl schwere wie auch leichte SE.

Zugleich sind in China 22 SE-Karbonatite (97,6 % der chinesischen SE-Vorräte), 25 SE-mineralführende Fluss- und Küstenseifen, 19 SE-mineralführende residuale Seifen, 29 SE-Vorkommen anderer Genese und mehr als 19 Vorkommen anderer Minerale bekannt, aus denen SE-Mine-

rale als Beiprodukt ausgebracht werden könnten (XiE et al. 2019).

Die IAT-Lagerstätten im Süden Chinas enthalten 0,05 % – 0,2 % SEO, wobei ein Mindestgehalt von 0,05 % (= 500 ppm) SEO gegeben sein muss, um von einer abbauwürdigen Lagerstätte zu sprechen. Weiterhin werden IAT-Lagerstätten nach chinesischem Standard in klein (< 10.000 t SEO-Inhalt), mittelgroß (10.000 – 100.000 t SEO-Inhalt) und groß (> 100.000 t SEO-Inhalt) differenziert. Das Produkt dieser in Abbau stehenden IAT-Lagerstätten war stets ein Misch-SE-Oxalat, das danach in separaten Aufbereitungsanlagen in einzelne SEO separiert werden musste.

Als weltweit größte IAT-Lagerstätte mit vorwiegend schweren SEO gilt Zudong im Longnan County der Provinz Jiangxi (in der Literatur auch als Longnan-Lagerstätte bezeichnet), die mittlerweile seit über 50 Jahren in Abbau steht. Von den ehemals vorhandenen ursprünglichen Ressourcen von ca. 131.000 t SEO sind noch 17.000 t SEO verblieben. Der bis zu 30 m (Ø 10 m) mächtige Regolith bei Zudong führt 0,0979 – 0,1072 % (979 – 1.072 ppm) SEO, darunter ca. 80 % schwere SEO. Gegenwärtiger Lizenzinhaber ist die Ganzhou Rare Earth Group Co., Ltd., die seit 2021 der China Rare Earth Group Co., Ltd. (CREG) zugeordnet ist.

Die vermutlich weltgrößte IAT-Lagerstätte mit vorwiegend leichten SEO ist dagegen Heling in Xunwu County, Ganzhou, ebenfalls in der Provinz Jiangxi (in der englischsprachigen Literatur oft nur als Xunwu-Lagerstätte bezeichnet). Sie wird ebenfalls von der Ganzhou Rare Earth Group Co., Ltd. abgebaut und entstand durch Verwitterung von Rhyolithen und Granitporphyren. Dort führt der durchschnittlich 6 – 9 m, max. 28 m mächtige Regolith 0,102 – 0,153 % (Ø 0,135 %) SEO. Die ursprünglichen (?) Ressourcen werden meist mit knapp 580.000 t SEO, die Reserven (?) mit 239.000 t SEO angegeben.

Literatur (Auswahl)

ARGUS MEDIA GROUP LTD. (2024a): Higher demand lifts global magnet consumption. – Nachricht vom 27.9.2024; London. – kostenpflichtiger Zugang.

ASIAN METAL (2023): China rare earth ore separation market research report 2023. – 24 S.; Beijing.

ASIAN METAL (2024): Rare earth industry annual report 2023. – 57 S.; Beijing.

BAI, J., XU, X., DUAN, Y., ZHANG, G., WANG, Z., WANG, L. & ZHENG, C. (2022): Evaluation of resource and environmental carrying capacity in rare earth mining areas in China. – *Scientific Reports*, 12, 6105: 13 S. + Supplementary Material. – URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10105-2>. [Stand: 11.09.2024].

BAO, Z. & ZHAO, Z. (2008): Geochemistry of mineralization with exchangeable REY in the weathering crusts of granitic rocks in South China. – *Ore Geology Reviews*, 33: 519–535; Amsterdam. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169136807000741> [Stand: 18.11.2024].

HU, C. Z., DONG, S. J., JU, J. H. & QI, Y. B. (2009): Studien und Planung mineralischer Ressourcen Chinas (in chinesisches). – 719 S.; Beijing.

LI, L. Z. & YANG, X. (2016): China's rare earth resources, mineralogy, and beneficiation. – In: DE LIMA, I. B. & FILHO, W. L. (Hrsg.): Rare earths industry. Technological, economic, and environmental implications: 139–150; (Elsevier) Amsterdam.

LI, Y. H. M., ZHAO, W. W. & ZHOU, M.-F. (2017): Nature of parent rocks, mineralization styles and ore genesis of regolith-hosted REE deposits in South China: An integrated genetic model. – *Journal of Asian Earth Sciences*, 148: 65–95; Amsterdam. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1367912017304121> [Stand: 18.11.2024].

LI, M. Y. H., ZHOU, M.-F. & WILLIAMS-JONES, A. E. (2019): The genesis of regolith-hosted heavy rare earth element deposits: insights from world-class Zudong deposit in Jiangxi province, south China. – *Economic Geology*, 114, 3: 541–568; Littleton. – URL: <https://pubs.geoscienceworld.org/segweb/economicgeology/article-abstract/114/3/541/570391/The-Genesis-of-Regolith-Hosted-Heavy-Rare-Earth?redirectedFrom=fulltext> [Stand: 18.11.2024].

LIU, Y., CHAKHMOURADIAN, A. R., HOU, Z., SONG, W. & KYNICKY, J. (2019): Development of REE mineralization in the giant Maoniuping deposit (Sichuan, China): insights from mineralogy, fluid inclusions, and trace-element geochemistry. – *Mineralium Deposita*, 54: 701–718; Heidelberg. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00126-018-0836-y> [Stand: 18.11.2024].

MANCHERI, N. A., SPRECHER, B., BAILEY, G., GE, J. & TUKKER, A. (2019): Effect of Chinese policies on rare earth supply chain resilience. – *Resources, Conservation & Recycling*, 142: 101–112; Amsterdam. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092134491830435X> [Stand: 18.11.2024].

SANEMATSU, K. & WATANABE, Y. (2016): Characteristics and genesis of ion adsorption-type rare earth element deposits. – In: VERPLANCK, P. L. & HITZMAN, M. W. (Hrsg.): Rare earth and critical elements in ore deposits. – *Reviews in Economic Geology*, 18, Chapter 3: 55–79; Society of Economic Geologists, Inc., Littleton. – URL: <https://doi.org/10.5382/REV.18> [Stand: 18.11.2024].

SHEN, Y., MOOMY, R. & EGGERT, R. G. (2020): China's public policies toward rare earths, 1975–2018. – *Mineral Economics*, 33, 3: 127–151; Heidelberg. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13563-019-00214-2> [Stand: 18.11.2024].

SOHEE, P. (2023): The gold of industry and the core of the military: China's rare earths strategy and its implications for Korea. – *Korea Institute for Industrial Economics and Trade Research, Industrial Economic Review*, 28, 4: 43–55; Sejong City. – URL: <https://ssm.com/abstract=4561555> [Stand: 18.11.2024].

WANG, B. (2024): In-depth report on rare earth industry: the supply and demand pattern has been reshaped, and the strategic value of rare earth has continued to increase (in Chinesisch). – Huafu Securities Research Institute: 41 S.; Shanghai. – URL: https://pdf.dfcfw.com/pdf/H3_AP202401101616987112_1.pdf?1704878913000.pdf [Stand: 18.11.2024].

XIE, Y., HOU, Z., GOLDFARB, R.J., GUO, X. & WANG, L. (2016): Rare earth element deposits in China. – In: VERPLANCK, P. L. & HITZMAN, M. W. (Hrsg.) (2016): Rare earth and critical elements in ore deposits. – Reviews in Economic Geology, 18, Chapter 6: 115 – 136; Society of Economic Geologists, Inc., Littleton. – URL: <https://doi.org/10.5382/REV.18> [Stand: 18.11.2024].

XIE, Y., VERPLANCK, P. L. HOU, Z. & ZHONG, R. (2019): Rare earth element deposits in China: a review and new understandings. – In: CHANG, Z. & GOLDFARB, R. J. (Eds.) (2019): Mineral deposits of China. – Society of Economic Geologists, Inc., Special Publ., 22: 509 – 552; Littleton.

YIN, J. N. & SONG, X. (2022): A review of major rare earth element and yttrium deposits in China. – Australian Journal of Earth Sciences, 69, 1: 1 – 25; Crowns Nest. – URL: <https://doi.org/10.1080/08120099.2021.1929477> [Stand: 18.11.2024].

ZHU, X. (Hrsg.) (2002): Rare earth and dispersed elements. – In: ZHU, X. (Hrsg.) (2002): Mineral facts of China: 487 – 497; Beijing.

Tab. 26: Relative SEO-Verteilung (in %) und absolute Gehalte von ThO₂ und U₃O₈ (in ppm) in chinesischen SE-Lagerstätten, nach verschiedenen Quellen.

Lagerstätte bzw. County	La ₂ O ₃	CeO ₂	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Tb ₄ O ₇	Dy ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Tm ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Lu ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	ThO ₂	U ₃ O ₈
Bayan Obo/Innere Mon.	25,0 – 26,9	50,1 – 50,9	5,0 – 5,4	15,2 – 16,6	1,1 – 1,2	0,2 – 0,7	0,3 – 0,7	< 0,1	< 0,1 – 0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1 – 0,1	< 0,1	0,2 – 0,4	290 – 510	< 10
Bayan Obo/Innere Mon./Erz 12.2022	27,82	50,89	19,24		1,96			0,02	0,07								
Weishan/Shandong	32,9 – 34,2	48,7 – 49,8	4,0 – 4,4	10,8 – 12,7	0,7	0,1 – 0,2	0,1 – 0,2	0,1	< 0,1 – 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1 – 0,1	< 0,1	< 0,1 – 0,3		
Maoniuping/Sichuan	31,5 – 37,4	47,1 – 47,7	3,6 – 4,1	10,3 – 13,0	0,8 – 1,5	0,1 – 0,3	0,3 – 0,7	0,1	0,1 – 0,2	< 0,1	< 0,1 – 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1		
Maoniuping – Dagudao/Sichuan	41,7	44,3	3,3	9,7	0,6	0,1	0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	1.643 – 2.641	7 – 10
Zudong/Jiangxi	4,9	3,0	2,0	9,4	5,6	0,1	7,3	1,3	8,2	1,7	4,8	0,8	5,3	0,8	44,1	42	8
Longnan/Jiangxi	1,8 – 2,2	0,2 – 1,1	0,7 – 1,1	3,0 – 5,1	2,3 – 3,2	0,0 – 0,4	2,7 – 6,9	1,1 – 1,3	6,7 – 8,4	1,6 – 1,8	4,3 – 5,1	0,6 – 0,8	2,5 – 4,6	0,4 – 0,6	62,3 – 65,0		
Xinfeng, Jiangxi	26,2	1,9	6,0	21,1	4,5	0,7	4,8	0,8	4,1	0,8	2,0	< 0,1	1,6	0,2	2,1		
Xunwu/Jiangxi	29,8 – 43,4	2,4 – 7,2	7,4 – 9,0	28,1 – 31,7	3,9 – 6,3	0,5 – 0,6	3,0 – 4,5	< 0,1 – 0,5	< 0,1 – 1,8	< 0,1 – 0,3	< 0,1 – 0,9	< 0,1 – 0,3	0,5 – 1,5	< 0,1 – 0,1	8,0 – 15,4		
Liutang/Guangxi	21,9	3,0	5,3	18,7	4,0	0,7	4,6	0,8	4,4	0,9	2,4	0,3	1,5	0,2	31,5		



Name	Chavara
Land	Indien
Bundesstaat	Kerala
Lizenzinhaber	IREL (India) Ltd. Kerala Minerals and Metals Ltd. (KMML)

Geschichte/Konzept

1910/11 Eröffnung des 2. indischen Werks zur Abtrennung von Monazit aus den 1909 entdeckten Schwermineralstrandseifen in Chavara (damals Travancore State) zur Erhöhung der Deckung des weltweiten Bedarfs an ThO_2 durch den dt. Chemiker C.W. Schomberg, 1914 – 1947 Weiterführung des Werks mit Schwerpunkt Gewinnung von Ilmenit durch britische Unternehmen, 1947 Exportstopp von Monazit durch die indische Regierung, 1949 Beginn der Exploration der Strandseifen von Chavara durch das Atomic Minerals Directorate for Exploration and Research (Atomic Minerals Division, AMD), seit 1950 Fortführung der Schwermineralgewinnung in Chavara durch die IREL (India) Ltd. und der Vorgängerfirma der 1956 verstaatlichten KMML.

Im 1970 eröffneten Werk Chavara der IREL (India) Ltd. seit dem Wirtschaftsjahr 2014/15 auch Abtrennung des Monazits aus den angelieferten Schwermineralkonzentraten mit einer Kapazität von 4.500 t Monazitkonzentrat/J. (zudem Abtrennung des Monazits von KMML (240 t/J.) aus deren Werk Sankarmangalam).

Weiterverarbeitung des Monazitkonzentrats aus Manavalakurichi (und Chavara?) durch die Rare Earths Division der IREL (India) Ltd. seit 1952 am Standort Udyogamandal nahe Aluva/Kerala (Verarbeitungskapazität: 3.600 t Monazit/J.) zu Na_3PO_4 und (nach Modernisierung) über SE-Mischchloride zu La- und Ce-Karbonaten, Nd/Pr-, Sm-, Gd-, Dy- und Y-Oxalaten (jeweils > 99 % Reinheit) sowie Ammoniumdiuranat, weitgehender Stopp der Primärproduktion zwischen 2005 und 2014 aufgrund der Notwendigkeit zur vorrangigen Aufbereitung großer Halden unreines ThO_2 (Ø 9 %) + SEO + unlöslicher Monazitanteile (Ø 4 %).

Art der SE-Mineralisation

Subrezente und fossile Schwermineralstrandseifen von bis 9 m Mächtigkeit und 460 km Gesamtlänge (Chavara Strand zwischen den Tidekanälen Neendakara und Kayamkulam: bis 7,62 m Mächtigkeit, Ø 225 m Breite, 22,54 km Länge) mit den Wertmineralen Ilmenit, Leukoxen, Rutil, Zirkon, Sillimanit und Monazit

Ressourcen

Strand: Seifen auf 4,20 km² (Lizenzgebiet) @ 49,08 % Schwerminerale (Heavy Minerals = HM) (18,49 Mio. t HM-Inhalt) @ 0,48 % Mo (89 kt Monazit-Inhalt)

Eastern Extension: Seifen auf 115,41 km² @ 7,41 – 10,05 % HM (108,56 Mio. t HM-Inhalt) @ 0,03 – 0,1 % Mo (731 kt Monazit-Inhalt)

Chavara gesamt: Seifen auf 119,6 km² (127,09 Mio. t HM-Inhalt) mit 820 kt Monazit-Inhalt



Name	Chhatrapur
Land	Indien
Bundesstaat	Odisha
Lizenzinhaber	IREL (India) Ltd.

Geschichte/Konzept

1980 Abbaubeginn der Schwermineralseifenlagerstätte Chhatrapur durch den Lizenzinhaber, Aufbereitung der Schwerminerale und Abtrennung des Monazits aus den angelieferten Schwermineralkonzentraten mit einer Kapazität von früher 2.350 t, später 4.000 t im 1984 eröffneten Orissa Sand Complex (OSCOM); Weiterverarbeitung des Monazitkonzentrats durch die IREL (India) Ltd. in der OSCOM seit 1992 zu Thoriumnitrat (Kapazität: 240 t/J.) und später auch zu SE-Mischchloriden (Export bzw. Weiterverarbeitung in Aluva/Kerala).

Im Frühjahr 2015 Eröffnung der Monazite Processing Plant (MoPP) im OSCOM mit einer Verarbeitungskapazität von 10.000 t Monazitkonzentrat/J. zu Na_3PO_4 (Kapazität 13.500 t/J.) und SE-Mischchloriden (Kapazität: 11.200 t/J. @ 7.100 t SEO-Inhalt/J.), Ende 2015 Vertragsunterschrift zur Belieferung der Rare-Earth Extraction Plant (REEP, eröffnet 2016, Verarbeitungs(?) kapazität: 10.000 t/J.) im Dorf Moturupalem, Vi-

sakhapatnam Distrikt, Andhra Pradesh (300 km südwestlich Chhatrapur) der im Jahr 2009 gegründeten Toyotsu Rare Earths (India) Pvt. Ltd. mit SE-Mischchloriden als Vorprodukt zur Produktion von La-, Ce-, Pr-, Nd-, Pr/Nd-Oxiden, Ce-Karbonat sowie mittelschwerem/schwerem-SEO-Mischkarbonat.

Art der SE-Mineralisation

Rezente bzw. subrezente Schwermineralstrandseifen entlang der Küste des Ganjam Distrikts (Lagerstätte Chhatrapur zwischen Gopalpur Creek im Süden und Rishikulya River im Norden: 18 km Länge, Breite: bis 1,5 km, 24,64 km², südl. Abschnitt vollständig abgebaut), mit den Wertmineralen Ilmenit, Rutil, Zirkon, Sillimanit, Granat und Monazit

Ressourcen

Chhatrapur: 299,7 Mio. t Erzsand bis 11,2 m Tiefe @ 20,49 % Schwerminerale (Heavy Minerals = HM) (61,40 Mio. t HM-Inhalt) @ 0,10 – 0,77 % Mo (61 – 473 kt Monazit-Inhalt)

Tab. 27: Relative SEO-Verteilung (in %) und absolute Gehalte von ThO_2 und U_3O_8 (in %) in indischen Monazitkonzentraten, nach verschiedenen Quellen.

Lagerstätte/Staat	La_2O_3	CeO_2	Pr_6O_{11}	Nd_2O_3	Sm_2O_3	Eu_2O_3	Gd_2O_3	Y_2O_3	ThO_2	U_3O_8
Chhatrapur/Odisha	20,4	47,9	5,6	19,6	3,4	0,1	1,9	0,8	10,18	0,26
Chavara/Kerala	24,0	47,6	4,0	20,1	1,3		< 0,1	0,7	10,49	0,67



Name	Fort Dauphin
Land	Madagaskar
Region	Anosy
Lizenzinhaber	QIT Madagascar Minerals (QMM) Ltd. 80 % QIT-Fer et Titane Inc. (Rio Tinto plc) 20 % Staat Madagaskar

Geschichte/Konzept

1986 Explorationsbeginn; 1998 Abbauevertrag QIT/Staat Madagaskar; 2008 Abbaubeginn von fossilen Schwermineralsanden (Ø 4,5 – 5,5 % Schwerminerale (HM)) im Nassabbau mittels Saugbagger in der 2.000 ha großen Madena-Lagerstätte nördlich von Fort Dauphin bzw. 14 km nördlich des Hafens von Ehoala, nach Auserzung (ca. 2030) Wechsel auf die angrenzende 4000 ha große Sainte-Luce Lagerstätte und die Petriky Lagerstätte geplant; 2009 Verschiffung der ersten Zirsill- (Zirkon-Sillimanit-Gemisch) und Ilmenitkonzentrate, letztere zur Sorel-Hütte von Rio Tinto in Quebec/Kanada; 2018 Beginn des Exports von unreinen „Monazitkonzentrat“ (@ ca. 20 % Monazit) nach China an die CNNC Huasheng Minerals Co., Ltd. (Joint-Venture von Huachuang Rare Materials Co., Ltd. (Chinese National Nuclear Association) 55 % und Shenghe Resources Holding Co., Ltd. 45 %) zur Abtrennung von Th, U und SEO.

Petriky: 400 Mio. t Erzsand @ 4,5 % HM (18 Mio. t HM)

Gesamt (Stand Ende 2022): Ressourcen: 1.439 Mio. t Erzsand (ca. 1,1 Mio. t Monazit-Inhalt), inkl. Reserven: 332 Mio. t Erzsand (ca. 250 kt Monazit-Inhalt)

SE-Mineralisation

Fossile, größtenteils äolische Schwermineralseifen von bis 15 m Mächtigkeit mit den Wertmineralen Ilmenit, Leukoxen, Rutil, Zirkon, Sillimanit und Monazit

Ressourcen

Madena (Stand Ende 2009): ca. 760 Mio. t Erzsand @ 4,5 – 5,5 % Schwerminerale (Heavy Minerals = HM) (Ressourcen: 38,1 Mio. t HM, inkl. Reserven: 11,9 Mio. t HM) @ 1,5 % Monazit (@ Ø 56 % SEO, 12 % ThO₂, 0,6 % U₃O₈) (Ressourcen: 570 kt Monazit-Inhalt, inkl. Reserven: 180 kt Monazit-Inhalt)

Sainte-Luce: 600 Mio. t Erzsand @ 5,5 % HM (33 Mio. t HM)



Name	Kenering
Land	Malaysia
Provinz	Perak
Lizenzinhaber	MCRE Resources Sdn. Bhd.

Geschichte/Konzept

Seit 2016 Exploration der Lagerstätte (nordwestlich von Gerik bzw. 4 km südlich des Dorfes Kampung Pongin in Perak State) durch die Tulus Mentari Holding Sdn. Bhd. (Grundstückseigentümer) in Zusammenarbeit mit der China Nonferrous Metal (Guilin) Geological & Mining Co. Ltd.; 2018 MoU mit der Chinalco GXNF Rare Earth Development Co. Ltd. zwecks technischer Unterstützung; 2019 Antrag auf Abbaugenehmigung, MoU zwischen den malaysischen Grundstückseigentümern bzw. Projektentwicklern und Chinalco Rare Earth (über die gemeinsame Gründung eines Abbaununternehmens und den Vertrieb der hergestellten Produkte); 2020 Gründung der MCRE Resources Sdn. Bhd.; 2021/22 Erteilung der benötigten Abbaugenehmigungen; 03.2022 Abbaubeginn, 09.2022 Produktionsbeginn, 02.2023 Beginn des Exports der Produkte (09.2022 – 08.2023 Produktion von 5.139 t (bis Ende 2023 von ca. 7.000 t) SE-Mischkarbonat) nach China.

Gewinnung von SE aus Ionenadsorptionstonen (durch in situ-leaching mittels 1–2%iger Ammoniumsulfatlösung) auf einer genehmigten Abbaufäche von 2.161 ha (21,6 km²) (elf Flurstücke), verteilt über sieben Blöcke über insgesamt 32 Jahre (LOM); Herstellung eines SE-Mischkarbonats und Export nach China.

Art der SE-Mineralisation

Regolith und relativ grobkörnige Ionenadsorptionstone (mit unbekannter SE-Mineralogie) bis 12 m Mächtigkeit über tiefgründig verwittertem Syenit

Reserven/Ressourcen

Ressourcen: ca. 33.000 t SEO-Inhalt (17 % schwere SEO)

Anmerkung

Laut einer Pressemitteilung des malaysischen Umweltministeriums produzierten Anfang 2024 zudem insgesamt sechs weitere, jedoch illegale Ionenadsorptionsgewinnungsbetriebe in den Forstschutzgebieten von Sik/Bundesstaat Kedah, Lipis/Bundesstaat Pahang, Pengkalan Hulu und Kuala Kangsar/beide Bundesstaat Perak sowie auf Privatland in den Distrikten Meranti und Jelebu/beide Bundesstaat Negri Sembilan. Deren Gesamtproduktion an SE-Mischkarbonaten mit vermutet 16.000 t SEO-Inhalt wurden ebenfalls vollständig nach China exportiert.

Literatur

MOHD AKIR, M. A. B. (2022): Physical and chemical characterization of clay deposits for REE utilization. – B.Sc. dissertation, School of Materials and Mineral Resources Engineering, Universiti Sains Malaysia: > 73 S. + xii, 38 Abb., 10 Tab.; Gelugor, Malaysia. – URL: http://eprints.usm.my/56967/1/Physical%20And%20Chemical%20Characterization%20Of%20Clay%20Deposits%20For%20Ree%20Utilization_Mohamad%20Adli%20Mohd%20Akhir.pdf9 (unvollständig); https://www.macaranga.org/embed/rareearths2023_09/rareearths2023.html

	Name	Lovozero
	Land	Russische Föderation
	Region	Murmansk, Kola-Halbinsel
	Lizenzinhaber	OOO Lovozerky GOK (Rosatom)

Geschichte/Konzept

1951 Eröffnung des Werks Karnasurt (Versorgung durch zwei Tagebaue am Berg Karnasurt sowie zwei Tiefbaue zur Erschließung der Lagerstättenteile Karnasurt und Kedykvyrpakhk), 1984 – 1998 zusätzlich Betrieb des Werks Umbozero (Versorgung durch einen Tiefbau aus dem Lagerstättenteil Umbozero sowie einen Tagebau am Berg Alluaiv), seit 11.2023 Untertageabbau des Lagerstättenteils Alluaiv.

Im Werk Karnasurt (Modernisierung 2023) Produktion eines Loparitkonzentrats @ 95 – 97 % Loparit (Ausbringen 79 – 81 %) (@ 32 % SEO) (Erzverarbeitungskapazität: 455 kt/J.), zusätzlich Produktion von 192 kt Eudialytkonzentrat/J. @ 87 % Eudialyt (Ausbringen 60 %) geplant.

Zwischen 1970 und 1992 Weiterverarbeitung des Loparitkonzentrats in Sillamäe/Estland (sowie Solikamsk/Russland, später nur noch in der Magnesiumhütte von Solikamsk (im Jahr 2022 verstaatlicht; dort zwischen 2013 und 2016 auch Verarbeitung von CeCO_3 und La_2O_3 der Irtysh Rare Earth Company (IRESCO)/Kasachstan, Verarbeitungskapazität: 13 kt/J. Loparitkonzentrat mit Verarbeitung bis 1995 ausschließlich zu SE-Chloriden, SE-Nitratlösungen und CeO_2 , seitdem auch zu SE-Mischkarbonaten (Produktionsgesamtkapazität: 3,6 kt SEO-Inhalt/J.); Weiterverarbeitung der SE-Chloride sowie der SE-Mischkarbonate früher auch in Kasachstan, derzeit der SE-Mischkarbonate fast ausschließlich (95 % in 2022) in Sillamäe/Estland (vgl. Mission – USA); Herstellung von Mg-Y-Legierungen; weltweiter Vertrieb (im Jahr 2022: fast ausschließlich Estland, stark untergeordnet China) der SE-Produkte, da kaum heimischer Bedarf (v. a. für Raffinerien und die Glasindustrie); untergeordnet auch Weiterverarbeitung der SE-Mischkarbonate durch die OOO Lit (Skygrad-Gruppe) im

Werk Korolev zu CeO_2 , $\text{Ce}(\text{CO}_3)_3$, La-Nitratlösung, Nd_2O_3 (99,9 – 99,999 %), Ce-La-Poliermitteln, $(\text{NdPr})_2\text{O}_3$, Nd-Metall und $\text{C}_{30}\text{H}_{57}\text{NdO}_6$ (Gesamtkapazität 200 t/J. SEO-Inhalt); Plan zur Eigenproduktion von 2.050 t Ce- und La-Produkten/J. sowie 450 t Nd_2O_3 und Pr_6O_{11} /J. ab 2026 zur eigenen Magnetproduktion. Verstaatlichung von OOO Lovozerky GOK im Jahr 2023.

Art der SE-Mineralisation

Lagerstättenteile Karnasurt/Umbozero/Kedykvyrpakhk: 65 horizontbeständige „Flöze“ mit Lopariterz, max. 3,7 m Mächtigkeit, ab > 0,2 m (> 1,0 m) Mächtigkeit abbaubar; Erz @ Ø 4 (10 – 12, max. 85) Vol.-% Loparit @ Ø 32,4 % SEO

Lagerstättenteil Alluaiv: sieben Erzlinsen mit Eudialyt- sowie untergeordnet Lopariterz in 50 – 350 m Teufe, Eudialyt @ 2,25 % SEO

Reserven/Ressourcen

Lovozero: Reserven/Ressourcen (A – C1) (Stand: 01.01.2022): Ø 1,12 % SEO, 2,646 Mio. t SEO-Inhalt)

Alluaiv: Ressourcen (C1): 13,3 Mio. t Erz @ 8,52 % Eudialyt + 3,64 % Loparit @ 1,15 % SEO, 0,43 % Nb_2O_5 , 0,03 % Ta_2O_5 , 1,41 % TiO_2 , prognostisch: 80 Mio. t Erz @ 10 – 50 % Eudialyt @ 2,25 % SEO, davon 30 % HREO

Tab. 28: Relative SEO-Verteilung (in %) und absolute Gehalte von ThO₂ und U₃O₈ (in ppm) in russischen SE-Lagerstätten, nach verschiedenen Quellen.

Lagerstätte	La ₂ O ₃	CeO ₂	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Tb ₄ O ₇	Dy ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Tm ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Lu ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	ThO ₂	U ₃ O ₈
Lovozero – Loparit	25,2	54,6	5,4	13,8	0,7	0,1	0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	5,800	300
Lovozero – Eudialyt	13,8	28,4	3,0	12,9	3,6	1,4	4,0	0,7	4,0	0,9	2,4	0,3	2,3	0,3	21,6		
Tomtor – Buranny	23,3	42,7	4,1	16,7	2,5	0,8	1,7	< 0,1	0,8	0,2	0,6	< 0,1	0,2	< 0,1	6,4	181	



Name	Manavalakurichi
Land	Indien
Bundesstaat	Tamil Nadu
Lizenzinhaber	IREL (India) Ltd.

Geschichte/Konzept

1910/11 Eröffnung des 1. indischen Werks zur Abtrennung von Monazit aus Schwermineralstrandseifen in Manavalakurichi zur Erhöhung der Deckung des weltweiten Bedarfs an ThO₂ durch den dt. Chemiker C.W. Schomberg, seit den 1950er Jahren Fortführung der Schwermineralgewinnung in Manavalakurichi durch den heutigen Lizenzinhaber.

Im 1968 eröffneten Werk Manavalakurichi der IREL (India) Ltd. Abtrennung des Monazits aus den angelieferten Schwermineralkonzentraten mit einer Kapazität von 6.000 t Monazitkonzentrat/J., Weiterverarbeitung des Monazitkonzentrats aus Manavalakurichi durch die Rare Earths Division der IREL (India) Ltd. seit 1952 am Standort Udyogamandal nahe Aluva/Kerala (Verarbeitungskapazität: 3.600 t Monazit/J.) zu Na₃PO₄ und über SE-Th-Hydroxidlösung zu zeitweise SE-Fluoriden, vorrangig aber La-/Ce-Karbonaten, La-/Ce-Oxiden, Th-, Nd/Pr-, Sm-, Gd- und Y-Oxalaten (jeweils > 99 % Reinheit) sowie Ammoniumdiuranat, weitgehender Stopp der Primärproduktion zwischen 2005 und 2014 aufgrund der Notwendigkeit zur vorrangigen Aufbereitung großer Halden mit unreinem ThO₂ (Ø 9 %) + SEO + unlöslichen Monazitanteilen (Ø 4 %).

Art der SE-Mineralisation

Rezente, subrezente und fossile Schwermineralstrand- und -dünen-seifen (Manavalakurichi Bereich zwischen Kollamcode und Kuutapuli village: 78,5 km Länge, zentraler Manavalakurichi Strand-Dünenabschnitt zwischen Kap Colachel und Kap Muttam: 7,5 km Länge, 175 ha Fläche, Dünen bis 4 m Mächtigkeit und 75 m Breite (vollständig abgebaut), Strandseifen bis 9 m Mächtigkeit) mit den Wertmineralen Ilmenit, Leukoxen, Rutil, Zirkon, Sillimanit, Granat und Monazit

Ressourcen

Kollamcode-Vayakkallur: Seifen @ 11,12 % Schwerminerale (Heavy Minerals = HM) (5,50 Mio. t HM-Inhalt) @ 1,26 % Monazit (69 kt Monazit-Inhalt)

Thengapattanam-Midalam-Kolachel: Seifen @ 21,07 % HM (0,98 Mio. t HM-Inhalt bis 6 m Teufe) @ 5,36 % Mo (53 kt Monazit-Inhalt)

(Kolachel-)Manavalakurichi (zentraler Abschnitt) Seifen @ 29,16 % HM (3,23 Mio. t HM-Inhalt) @ 3,02 % Mo (98 kt Monazit-Inhalt)

Pillaithoppu-Pallam-Kovalam: Seifen @ 6,24 % HM (4,74 Mio. t HM-Inhalt bis Ø 5,4 m Teufe) @ 1,60 % Mo (76 kt Monazit-Inhalt)

Kanyakumari-Vattakottai-Kuttapuli: Seifen @ 33,68 % HM (1,77 Mio. t HM bis Ø 2,53 m Teufe) @ 1,60 % Mo (28 kt Monazit)

Manavalakurichi gesamt: Seifen mit 16,22 Mio. t HM-Inhalt (324 kt Monazit-Inhalt)



Name	Mission + Jesup
Land	USA
Bundesstaat	Georgia
Lizenzinhaber	The Chemours Company TT, LLC

Geschichte/Konzept

2014 Abbaubeginn von fossilen Schwermineralseifen (\emptyset 0,22 % SEO) im Trockenabbau (GW-Ab-senkung) in der Mission Mine durch Southern Ionics Minerals, LLC in Charlton + Brantley Co., SE-Georgia; im Mai 2015 Fertigstellung der Auf-bereitungsanlage (dry mill, MSP) in Offerman, Pierce Co. (65 Straßenkilometer nördlich) und Anreicherung über ein Schwermineralkonzentrat (HMC) (@ 0,79 % SEO) zu Ilmenit/Leukoxen-, Rutil-, Zirkon- und Monazitkonzentrat (@ 53,8 % SEO, 4,11 % ThO_2 , 0,56 % U_3O_8); seit 2018 Verkauf von monazitreichen Zirkonkonzentra-ten nach China zur dortigen Aufbereitung; im August 2019 Übernahme von Southern Ionics Minerals durch The Chemours Company; im September 2020 Eröffnung der Jesup Mine in Wayne Co., SE-Georgia (32 Straßenkilometer nordöstlich Offerman); seit 03.2021 Versand von Monazitkonzentrat (min. 2.300 t/J.) aus der Offerman MSP zur U_3O_8 - V_2O_5 -SE-Aufberei-tungsanlage White Mesa Mill, südlich Blanding, Utah von Energy Fuels Inc.

07.2021 Start der Produktion von SE-Mischkarbonaten (@ 32 – 34 % $(\text{NdPr})_2\text{O}_3$, 1,8 % Tb_2O_3 + Dy_2O_3) aus Monazitkonzentrat aus Georgia durch Energy Fuels Inc. in der White Mesa Mill (Verarbeitungskapazität: 720 kt Monazitkon-zentrat/J.; eigene Weiterverarbeitung der SE-Mischkarbonate zu 10 kt separierten SEO/J. ab 2025/2026 angedacht; 1. Phase, davon in H1 2024: Produktion von 35 t Nd/Pr-Oxalat, später 800 – 1.000 t $(\text{NdPr})_2\text{O}_3$ /J. aus 8 – 10 kt Monazit/J., 2. Phase ab 2026/2027 Produktion von bis zu 3.000 t $(\text{NdPr})_2\text{O}_3$ /J. sowie schweren SEO).

Bis dahin Export der SE-Mischkarbonate (min. 840 t SEO-Inhalt/J.) in Big Bags zur SE-Separa-tionsanlage NPM Silmet OÜ von Neo Perform-ance Materials Inc. in Sillamäe/Estland und

dort Weiterverarbeitung zu separierten SEO bzw. verschiedenen SE-Produkten (Ce_2O_3 , CeO_2 , $\text{Ce}_2(\text{CO}_3)_3$, $(\text{LaCe})_2\text{CO}_3$, Pr/NdO, Pr_6O_{11} , $\text{Pr}_2(\text{CO}_3)_3$, $(\text{Sm-Eu-Gd})_2\text{O}_3$, Nd_2O_3 , NdF_3 , SE-Fluoride, SE-Ni-trat-Lösungen, Ni-basierte SE-Legierungen, Nd-Fe-Legierungen, Nd-Fe-B-Legierungen) (Ka-pazität 3.000 t SEO/J.) (Produktion von 2.000 t gesinterter SE-Magneten/J. in Sillimäe ab 2025 geplant).

Art der SE-Mineralisation

Fossile, küstennahe Schwermineralseifen von bis 7 m Mächtigkeit mit den Wertmineralen Ilmenit, Leukoxen, Rutil, Zirkon, Staurolith, Dis-then/Sillimanit und Monazit

Ressourcen (Stand 2013)

Mission: 57 Mio. t Erzsand @ 2,3 – 2,8 % Schwerminerale @ 0,86 % Monazit/Xenotim (11 – 14 kt Monazit-Inhalt)

Jesup: 4 Mio. t Schwerminerale @ 0,3 – 0,5 % Mo-nazit (12 – 20 kt Monazit -Inhalt)

Literatur

OLADENI, I. A. (2022): Rare-earth element occur-rences in heavy mineral sand, southeast Geor-gia. – M. Sc. Thesis, Department of Geosciences, Georgia State University: 96 S., 44 Abb., 15 Tab., 3 Anh., Atlanta, GA. – URL: [https://scholarworks.gsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1180&con-text=geosciences_theses](https://scholarworks.gsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1180&context=geosciences_theses) [Stand: 20.10.2024].

FULP, M. S. (2011): REEs up close and personal: a visit to the Silmet plant, Estonia. – Blog: 10 S., 11 Abb. – URL: https://www.goldgeologist.com/mercenary_musings/musing-110606-REEs-Up-Close-and-Personal-A-Visit-to-Silmet-Estonia.pdf [Stand: 20.10.2024].

Tab. 29: Relative SEO-Verteilung (in %) und absolute Gehalte von ThO₂ und U₃O₈ (in %) in US-amerikanischen und madagassischen Monazitkonzentraten, nach verschiedenen Quellen.

Lagerstätte	La ₂ O ₃	CeO ₂	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Tb ₄ O ₇	Dy ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Tm ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Lu ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	ThO ₂	U ₃ O ₈
Mission/Georgia	20,2	41,2	4,8	18,4	3,4	0,2	2,3	0,3	1,4	0,2	0,5	0,1	0,4	< 0,1	6,5	4,11	0,56
Jesup/Georgia	20,9	42,5	4,9	18,9	3,4	0,2	2,2	0,3	1,2	0,2	0,4	0,1	0,3	0,1	4,7		
Toliara/Madagaskar	22,9	46,4	5,2	18,6	2,9	0,1	1,5	0,2	0,3	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,6	8,88	0,32



Name	Moma
Land	Mosambik
Bundesstaat	Nampula
Lizenzinhaber	Kenmare Moma Mining (Mauritius) Lda.) Kenmare Resources plc.

Geschichte/Konzept

Seit April 2007 Gewinnung und seit September 2007 Aufbereitung von schwermineralreichen Strand- und Dünensanden innerhalb verschiedener Teillagerstätten zwischen den Städten Moma im Süden und Mogincual im Norden im Nordosten von Mosambik. Abbau mittels vier großen Saugbaggern, die drei schwimmende Aufbereitungsanlagen („wet concentrator plants“, derzeit in den Teillagerstätten Nataka, Pilivili und Namalope) mit Roherzsand versorgen. Zusätzlich arbeiten Bulldozer den Saugbaggern zu.

zzgl.

Ressourcen (Namalope, Pilivili, Nataka, Congolone, Mualadi, Mpitini, Marrua und Quinga North): 7,538 Mrd. t Erzsand @ 2,7 % HM = 199,8 Mio. t HM

Separation der Schwermineralkonzentrate in einer stationären „dry mill“ in Konzentrate von Ilmenit (drei Qualitäten), Zirkon (drei Qualitäten, davon „secondary zircon“ mit geringen Monazitgehalten), Rutil (eine Qualität) und seit 2018 in ein monazitreiches Zirkon-Rutil-Gemisch („Mineral Sands Concentrate“ @ ca. 18 % Monazit); Zwischenlagerung der Konzentrate in einem Lagerhaus mit 145.000 t Kapazität, von dort Transport über ein 2,4 km langes Förderband auf einem 400 m langen Pier, von dort auf selbstfahrende Transportschuten, die in einem Tiefwasserstützpunkt 10 km offshore auf Ozeanfrachter verladen.

Art der SE-Mineralisation

Quartäre küstennahe Dünensande mit Anreicherungen von Ilmenit, Rutil, Zirkon und Monazit

Ressourcen zum 31.12.2023

Reserven (Namalope, Pilivili und Nataka): 1,429 Mrd.t Erzsand @ 3,2 % Schwerminerale (Heavy Minerals = HM) = 45,4 Mio. t HM @ 0,39 % Monazit = 177.000 t Monazit



Name	Mountain Pass
Land	USA
Bundesstaat	Kalifornien
Lizenzinhaber	MP Materials Corp. (Shenghe Resources Holding Co. Ltd. 7,714 %)

Geschichte/Konzept

1949: Entdeckung; 1950/51: Erwerb durch MolyCorp Corporation of America (seit 1974 MolyCorp Inc.); 1952: Beginn der Förderung; 1965: Beginn der Produktion von Eu_2O_3 , 1982: Beginn der Produktion von Sm_2O_3 und Gd_2O_3 (5N) und kurz danach von Tb_4O_7 ; 1978: Übernahme durch Union Oil of California (Unocal) Corp. (1977: erstmals hohe Geldstrafen wg. Umweltschäden aufgrund Abwasserpipelinelecks im Mojave National Preserve); 1989: Beginn der Produktion von Dy_2O_3 ; 1998: Entzug Teilgenehmigung Abwasserentsorgung nach zahlreichen Leckagen seit 1984, daraufhin Einstellung der SE-Weiterverarbeitung; 2002: Einstellung der Bergwerksförderung; 2004: Erteilung Genehmigung zur Vertiefung Abbausohle von 70 auf 230 m; 2005: Übernahme von Unocal Corp. durch Chevron Corp.; 2007: Wiederaufnahme der Produktion durch das neu gegründete Unternehmen Chevron Mining Corp.: Aufbereitung alter Konzentratbestände; 09.2008: Übernahme von MolyCorp Inc. durch Rare Earths Acquisitions LLC (im Besitz von Resource Capital Funds, Pegasus Partners IV, LP, The Goldman Sachs Group, Inc., Traxys North America LLC und Carint Group LLC) (später umbenannt in MolyCorp Minerals LLC); 29.07.2010 Börsengang der im März 2010 neu gegründeten MolyCorp Inc. als Mutterunternehmen mit enttäuschendem IPO 394 Mio. US\$ bei gleichzeitig 511 Mio. US\$ Kapitalbedarf zur Erreichung des Plans: „Mining to Magnets“; 12.2010: Wiederaufnahme der Bergwerksförderung; 2011: geplante Investition von 120 Mio. US\$ durch Sumitomo abgesagt; 08.2012: Wiederaufnahme der SE-Produktion (Plan: Phase 1: Kapazität: 19.050 t SEO/J., Phase 2: 40.000 t SEO/J.); 02.2012: 390 Mio. US\$ Investment durch MolyMet/Chile; 25.06.2015: Insolvenz von MolyCorp Inc. wg. Überschuldung

(1,7 Mrd. US\$ nach gemeinsamer Durchführung von Ausbauphasen 1 + 2 bis Ende 2013, Erwerb der SE-Aufbereitungsanlage Silmet/Estland 04.2011 und von Neo Materials Technologies Inc. im Juni 2012 für 1,2 Mrd. US\$); 08.2015: Schließung des Bergwerks; Erwerb von MolyCorp Inc. durch den größten Kreditgeber Oaktree Capital Management; 08.2016: Umbenennung in Neo Performance Materials; 05.2017: Technical Services und Offtake Agreements mit Shenghe Resources Holding; 07.2017: Erwerb der Mountain Pass Mine durch MP Mine Operations LLC (mehrheitlich im Besitz von JHL Capital Group LLC und QVT Financial LP) aus der Konkursmasse; 12.2017: Wiederaufnahme der Bergwerksförderung und im Januar 2018 der Weiterverarbeitung des Erzes zu einem Bastnäsitkonzentrat; 11.2020: Umbenennung in MP Materials Corp. und erneuter Börsengang.

Gesteinsgewinnung (\varnothing 7 Mio t/J.) durch Sprengen und Laden in einem letztendlich max. 950 m breiten, 1.160 m langen und 430 m tiefen Tagebau bei einem Abraum-Erz-Verhältnis von derzeit 6,3 : 1 und einem Durchschnittsgehalt von 6,35 % SEO im Erz über weitere 33 J. (LOM); Aufbereitung des Erzes (\varnothing 1 Mio. t/J.) durch Brechen, Mahlen, Flotation, Eindickung und Filtration zu einem Bastnäsitkonzentrat (50 – 70 kt/J.) @ 61 % SEO bei einem Ausbringen von 70 % (Stage I, ergänzt in 11.2023 um Upstream 60 K“-Projekt zur Erhöhung der Kapazität (SEO-Inhalt) der Bastnäsitkonzentratproduktion von 40.000 t/J. auf 60.000 t/J.); Verkauf des Konzentrats zur Weiterverarbeitung an Shenghe Resources (sukzessive weitere Verlängerung der Offtake-Agreements); seit Q3 2023 Umsetzung des Plans (Stage II) zur Eigenproduktion von 20.000 t SE-Produkten/J.: a) $(\text{NdPr})_2\text{O}_3$ (75 % Nd_2O_3 + 25 % Pr_6O_{11} (+/-2 %)) (99,5 %, Plan: 6.075 t/J., 10.2023: Tolling Agree-

ment mit VREX Holdco Pte. Ltd./Vietnam, einer Tochtergesellschaft von Shenghe Resources, zur Raffinade von $(\text{NdPr})_2\text{O}_3$ zu NdPr-Metall durch Vietnam Rare Earth Company Ltd. in Vietnam, Vertrieb der NdPr-Produkte in Japan durch Sumitomo), b) mittelschwerem/schwerem SE-Oxalat/-Konzentrat (99 %) (Separation in einer „HREE Facility“ mit Förderung von 35 Mio. US\$ durch das US Department of Defense geplant), c) $\text{La}_2(\text{CO}_3)_3$ (99 %) und d) CeCl_3 ; Ziel (Stage III): Eigenproduktion von SE-Metallen und SE-Legierungen (ab Ende 2024) sowie SE-Magneten (1.000 t/J., ab Ende 2025, Offtake-Agreement mit General Motors Company) in Fort Worth, TX geplant.

Art der SE-Mineralisation

Bastnäsit als Haupt-SE-Mineral in einem Karbonatit mit 850 m streichender Länge, 5 – 75 m wahrer Mächtigkeit und 930 m einfallender Teufe

Ressourcen (Stand 31.12.2023)

Reserven (cut-off grade 2,43 % SEO): 25,8 Mio. t Erz @ 6,20 % SEO (1.601 kt SEO-Inhalt)

Ressourcen (cut-off grade 2,18 % SEO): 1,32 Mio. t Erz @ 2,75 % SEO (36 kt SEO-Inhalt)



Name	Mt. Weld
Land	Australien
Bundesstaat	Western Australia
Lizenzinhaber	Lynas Rare Earths Ltd.

Geschichte/Konzept

2007 Beginn des Abbaus des Central Lanthanide Deposits (CLD) der SE-Lagerstätte Mt. Weld, 35 km südöstlich von Laverton, WA, durch den Lizenzinhaber in einem bis heute 65 m tiefen Tagebau (Abbaukampagnen 05.2007 – 04.2008, 01.2017 – 05.2017, 09.2017 – 09.2018, 12.2018 – 02.2020, 07.2021 – 06.2023) (LOM derzeit 23 J.), seit 05.2011 Aufbereitung des in den Kampagnen aufgehaldeten Erzes vor Ort durch Flotation (Kapazität 242 kt/J.) zu einem SE-Mineralkonzentrat (Kapazität 66 t/J.) (Ø 35 – 40 % SEO, 43 ppm U_3O_8 , 1.630 ppm ThO_2), Transport des Mineralkonzentrats per Lkw (road-trains) über 990 km zum Hafen von Fremantle und von dort Export, seit 02.2013 Aufbereitung des SE-Mineralkonzentrats (Kapazität 65 kt/J.) in der Lynas' Advanced Materials Plant (LAMP) in Kuantan/Malaysia über SE-Oxalatlösungen zu $(\text{NdPr})_2\text{O}_3$, CeO_2 , La/Ce-Oxid und mittelschweren SE-Mischoxiden (SEG) sowie Ce- und La/Ce-Karbonaten (Gesamtkapazität: 22 kt SE-Produkte/J.).

Plan zur Produktion (ab 2025) von insgesamt 1.500 t/J. separierten Dy, Tb, Ho, Sm-Eu-Gd-Mischkonzentrat sowie Sm-Eu-Gd-Ho-Mischkonzentrat.

Seit 2023 Erweiterung der Verarbeitungskapazitäten in Mt. Weld auf 1,3 Mio. Erz/J. bzw. 300 kt Konzentrat/J. und des Bergwerksgeländes von 429 ha auf 2.242 ha, Ende 2023 Eröffnung der Kalgoorlie Rare Earths Processing Facility zur Produktion von SE-Mischkarbonaten (Kapazität 68 kt/J.) sowie Gips (330 kt/J.) und Fe-Phosphat (132 kt/J., beides unverkäuflich) aus den aus Mt. Weld angelieferten SE-Mineralkonzentraten (Verarbeitungskapazität 162 kt/J.).

Art der SE-Mineralisation

Karbonatitkörper von ca. 3,6 km Durchmesser unterhalb ca. 25 m Sedimentbedeckung, Anreicherung der SE-Mineralen in einer 80 – 120 m mächtigen Verwitterungsschicht, SE-Mineralisation durch SE-Fluorkarbonate (Parisit, Synchysit, Bastnäsit sowie Monazit) innerhalb nicht klar definierter Bereiche, Gänge und fein verteilt im dolomitischen Karbonatit.

Reserven/Ressourcen

Central Lanthanide Deposit (Stand: 30.06.2023)
Reserven (4,0 % cut-off grade): 17,7 Mio. t Erz @ 8,0 % SEO (1.411 kt SEO-Inhalt)

Ressourcen (2,5 % cut-off grade): 54,3 Mio. t @ 5,2 % SEO (2.802 kt SEO-Inhalt)

Duncan Deposit: Ressourcen: 8,992 Mio. t Erz @ 4,8 % SEO (432 kt SEO-Inhalt)

Crown Deposit: Ressourcen: 37,7 Mio. t Erz @ 1,25 % SEO (471 kt SEO-Inhalt), 1,07 % Nb_2O_5 , 240 ppm Ta_2O_5



Name	Unterschiedliche
Land	Myanmar
Staat	Kachin u. a.
Lizenzinhaber	vorwiegend illegal

Geschichte/Konzept

Myanmar tauchte erstmals im Jahr 2011 mit damals noch unbedeutenden Importmengen von SE-Produkten (39 t) in der Zollstatistik Chinas auf. Bis 2015 stieg die Importmenge nur gering auf 392 t an. Im Jahr 2016 waren es dann 4.551 t, im Jahr 2017 19.958 t und im Jahr 2023 wurden > 70.000 t erreicht.

Nach ZHANG et al. (2023) stieg mit der Importmenge auch die Bedeutung Myanmars für die Versorgung Chinas mit SE-Rohstoffen deutlich. So stammten im Jahr 2016 28 % aller importierten SE-Rohstoffe aus Myanmar, im Jahr 2019 waren es 70 % und im Jahr 2022 bei gleichzeitig stark wachsender Bedeutung von Importen aus den USA (Mountain Pass Mine, 18 %) immer noch 53 %. Zugleich verschob sich die Art der importierten SE-Rohstoffe aus Myanmar laut HS-Code-Daten in Chinas Zollstatistik von vorwiegend (98 %) SE-Mischkarbonaten im Jahr 2016 auf 56 % gemischte SE-Oxide, 43 % SE-Metalle und -legierungen und nur noch 1 % SE-Mischkarbonate im Jahr 2021.

Mittlerweile stammen nach GLOBAL WITNESS (2022) mehr als 50 % aller schweren SE aus Myanmar. Für die Ganzhou Rare Earth Group stellt Myanmar nach Schließung aller SE-Bergwerke in Ganzhou im Jahr 2016 die einzige Primärquelle von SE-Rohstoffen dar. Auch die China Minmetals Rare Earth Company und die Guangdong Rare Earth Group beziehen einen Teil ihrer SE-Rohstoffe aus Myanmar.

Bei den in Myanmar in Gewinnung stehenden SE-Vorkommen handelt es sich ausschließlich um Ionenadsorptionstone, die sich im tropischen Klima auf Graniten entwickelten. Sie ähneln sehr stark den Ionenadsorptionstonvorkommen in der benachbarten chinesischen

Provinz Yunnan, die aufgrund der damit verbundenen Umweltproblematik schon seit einigen Jahren nicht mehr abgebaut werden. Alle Ionenadsorptionstonvorkommen in SE-Asien (Südchina, Myanmar, Thailand, Laos, Malaysia) sind durch niedrige SE-Gehalte sowie meist (aber keineswegs immer) durch große Tonnagen (verteilt über sehr große Flächen) und erhöhte Gehalte an schweren SE gekennzeichnet.

In Myanmar finden sich SE-führende Ionenadsorptionstonvorkommen von Wa Staat und Kachin Staat im Nordwesten des Landes bis nach Mergui in der Provinz Thaninthary im Südwesten. Der derzeitige Abbau konzentriert sich auf den unter paramilitärischer Kontrolle stehenden und direkt an China angrenzenden Kachin Staat und dort auf die Umgebung der Stadt Chipwi (ca. 200 Gewinnungsstellen im Jahr 2022) sowie auf die Regionen um Pangwa (Grenzübergang nach China, ca. 300 Gewinnungsstellen im Jahr 2023), Momauk (40 Gewinnungsstellen im Jahr 2023), Mai Ja Yang, Zam Nau und Bhamo. Eine Satellitenbildauswertung im Auftrag von Global Witness (2022) erbrachte im März 2022 einen Bestand von ca. 2.700 Sammelbecken für SE-Lösungen an rund 300 Lokationen in Kachin Staat. Bis 2023 soll nach Global Witness (2024) die Anzahl an Gewinnungsstellen lokal um bis zu 40 % angestiegen sein.

Die Gewinnung der SE aus den Tonen erfolgt in Myanmar ausschließlich durch Injektion von stark verdünnter Ammoniumsulfatlösung in Bohrlöcher auf Hügeln. Hiernach perkoliert die Lösung durch die Tone bzw. den Regolith, um am Hangfuß in gesättigter Form wieder aufzufangen (z. T. auch wieder herausgepumpt) und dann in mit Folie ausgekleideten Betonbecken gesammelt zu werden. Hier werden dann die SE entweder mit Oxalsäure in Form von Misch-

SE-Oxalat oder neuerdings meist mit Ammoniumbikarbonat in Form Misch-SE-Karbonat ausgefällt. Durch Brand (Kalzinierung), bei dem Wasser und Kohlendioxid ausgetrieben werden, erhält man dann direkt ein Misch-SE-Oxid.

Durch die Laugung sämtlicher Metallionen inkl. der radioaktiven Bestandteile aus den Tonen ohne Recycling der Ammoniumsulfatlösung kommt es zur weitflächigen Entwaldung und Verschmutzung des Grund- und Oberflächenwassers, somit auch des Trinkwassers, so dass diese sehr günstige Gewinnungsmethode seit 2011 in China verboten ist.

Literatur

GLOBAL WITNESS (2022): Myanmar's poisoned mountains. – 09.08.2022: 17 S., 10 Abb.; London. – URL: <https://www.globalwitness.org/en/campaigns/natural-resource-governance/myanmars-poisoned-mountains/> [Stand: 20.11.2024].

GLOBAL WITNESS (2024): Fuelling the future, poisoning the present: Myanmar's rare earth boom. – 23.05.2024: 12 S., 9 Abb.; London. – URL: <https://www.globalwitness.org/en/campaigns/natural-resource-governance/fuelling-the-future-poisoning-the-present-myanmars-rare-earth-boom/> [Stand: 20.11.2024].

ZHANG, X., ZEN, G. & ZHOU, X. (2023): Study on rare earth resources potential and industrial development in Myanmar (in Chinesisch). – China Mining Magazine, 32, 11: 12 – 19, 7 Abb.; Beijing. – URL: <https://doi.org/10.12075/j.issn.1004-4051.20230612> [Stand: 20.11.2024].



Name	Pela Erna
Land	Brasilien
Bundesstaat	Goiás
Lizenzinhaber	Serra Verde Pesquisa e Mineração Ltda., Minaçu, Goiás, Brasilien (Denham Capital Management LP, USA Vision Blue Resources Ltd., UK The Energy and Minerals Group, USA)

Geschichte/Konzept

Nach Erkundung des Vorkommens ab 2011 und Fertigstellung einer Wirtschaftlichkeitsstudie 2019 Beginn der Konstruktionsarbeiten, Ende 2023 Abbaubeginn; Gewinnung der mürben Verwitterungsschicht mittels Baggern und Radladern aus sehr flachen Tagebauen (Abraum-Erz-Verhältnis 0,14 : 1), aus Ø 1,1 Mio. t/J. Erz (ROM) Abtrennung der Fraktion > 1 mm und Verwurf, Herstellung einer Suspension aus der Fraktion < 1 mm (40 % Feststoffanteil) und Versatz mit NaCl-Salz und Na₂CO₃-Sole, Ionenaustauschreaktion in großen Tanks, über sechs Kammerfilterpressen Abtrennung der Feststoffanteile (Tonfilterkuchen) und Verwurf, Versatz der gesättigten Ionenlösung mit Na₂CO₃, Flokkulation und Eindickung und dadurch Herstellung einer SE-Mischkarbonatlösung mit 10 % Feststoffanteil, Eindickung der Lösung in einer Kammerfilterpresse und dadurch Herstellung eines transportfähigen Filterkuchens aus SE-Mischkarbonat (mit geringen Anteilen von SE-Mischoxalat) (Ø 30.000 t/J @ Ø 7.200 t SEO-Inhalt, @ 60 % Wasseranteil); Ziel Phase I: Herstellung von SE-Mischkarbonat @ > 5.000 t SEO-Inhalt/J. über 25 J. (LOM); Transport des Konzentrats in Big Bags per Lkw über 1.063 Straßenkilometer zum Hafen von Bahia oder 1.444 Straßenkilometer zum Hafen von Santos und von dort Export.

Art der SE-Mineralisation

Ionenadsorptionstone (9 % Gibbsit, 32 % Illit, 39 % Kaolinit, 20 % Montmorillonit, Ø 106 ppm ThO₂, Ø 14 ppm U₃O₈) mit verschiedensten kryptokristallinen SE-Mineralen (Xenotim, Fergusonit, Monazit, Bastnäsit) innerhalb einer Ø 4,65 m mächtigen Verwitterungsschicht (Saprolit), die sich in subtropischem Klima auf dem Serra Dou-

rada Granit (64 km Länge, 3,5 – 12 km Breite) entwickelte.

Reserven/Ressourcen (Stand 2023)

Reserven (0,1 % SEO cut-off grade): 379 Mio. t Erz @ 0,15 % SEO (569 kt SEO-Inhalt)

Ressourcen (0,1 % SEO % cut-off grade): 911 Mio. t @ 0,12 % SEO (1.093 kt SEO-Inhalt)

Literatur

DA SILVA, J. D. (2023): Serra Verde: Uma operação de Terras Raras de classe mundial. – Präsentation auf dem VI Seminário Brasileiro de Terras Raras (CETEM 07) am 08.11.2023 in Rio de Janeiro: 16 Folien; Rio de Janeiro. – URL: <https://www.gov.br/cetem/pt-br/assuntos/VI-Seminario-Brasileiro-de-Terras-Raras/VISBTRSerraVerdeJoselitoDsio.pdf> [Stand: 18.10.2024].

MINERAÇÃO SERRA VERDE (2016): Serra Verde Rare Earth Project – Geology. – Blog da Interativa Digital, Präsentation August 2016: 16 Folien; Natal, Brasilien. – URL: <https://clientesinterativa.com.br/bccc-events/uploads/files/2017-03/58c6d7b3e9c66.pdf> [Stand: 18.10.2024].

Tab. 30: Relative SEO-Verteilung (in %) und absolute Gehalte von ThO₂ und U₃O₈ (in ppm) in chinesischen SE-Lagerstätten, nach verschiedenen Quellen.

Lagerstätte	La ₂ O ₃	CeO ₂	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Tb ₄ O ₇	Dy ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Tm ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Lu ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	ThO ₂	U ₃ O ₈
Pela Ema/Erz	22,6	32,9	4,1	13,4	2,4	0,2	2,2	0,4	2,4	0,5	1,6	0,2	1,6	0,2	15,3		
Pela Ema/ Mischkonzentrat	32,1	4,2	5,9	19,3	3,3	0,2	3,2	0,5	3,2	0,7	2,0	0,3	1,8	0,3	23,0		



Name	Pulmoddai
Land	Sri Lanka
Provinz	Eastern
Lizenzinhaber	Lanka Mineral Sands Ltd.

Geschichte/Konzept

Seit 1963 Gewinnung und Aufbereitung (bis 1978 nahe China Bay bei Trincomalee, seit 1978 in Kanijapura/Pulmoddai) von Strandseifen im Nordosten von Sri Lanka durch die staatliche Ceylon Mineral Sands Corporation, gegr. 1957, umbenannt 1992 in Lanka Mineral Sands Ltd.; 1985 Zerstörung der Anlagen im Bürgerkrieg durch die Tamil Tigers; 2004 Wiedereröffnung mit erneuter Zerstörung durch den Tsunami am 26.12.2004

Gewinnung durch landgestützte Eimerkettenbagger und Bulldozer nach Ende des Monsuns im Februar an vier Lokationen (Nayaru, Kokkilai, Poduwakattu und Periyakarachchi) nahe Pulmoddai; Wäsche und Siebung der Strandsande bei Yan Oya und Periyakarachchi; Abtrennung von (meist nur unreinem) Ilmenit, Leukoxen, Rutil, Zirkon und Monazit (Kapazität: 100 t/J.) in der Aufbereitungsanlage in Pulmoddai; aufgrund mangelnder technischer Ausstattung statt eines Monazitkonzentrats meist nur Produktion eines magnetischen Schwermineral-Restkonzentrats mit Monazit, Granat und Magnetit; Verkauf nach China und dort Separation von Monazit

Art der SE-Mineralisation

Litorale Strandseifen mit Anreicherungen von Ilmenit, Leukoxen, Rutil, Zirkon, Monazit, Granat und Magnetit

Ressourcen

Schätzung: 12,5 Mio. t Schwerminerale-Inhalt über 8 km Erstreckung des Strandes von Asirimalai im Süden bis Kokilai im Norden



Name	Salvaterra di Miño
Land	Spanien
Bundesstaat	Galizien
Lizenzinhaber	Áridos Do Mendo, S.L.

Geschichte/Konzept

Seit 1985 Gewinnung von quarzreichen Sanden und Kiesen für Bauzwecke aus den Terrassenablagerungen des Río Miño (Grenzfluss Spanien – Portugal) westlich von Salvaterra de Miño; durch gravimetrische Separation (Wendelscheider, Rütteltische) Abtrennung eines Schwermineralkonzentrats (10 – 15 t/J.) und daraus nach weiterer Aufbereitung größerer Mengen an Seifengold sowie u. a. mehrere Hundert Kilogramm Monazitkonzentrat (@ 51 % Monazit); dieses ist aufgrund der geringen Produktionsmenge bisher nicht absetzbar.

Art der SE-Mineralisation

Quartäre Flusssande mit Anreicherungen von Gold und anderen Wertmineralen (Ilmenit, Rutil, Zirkon und Monazit)

Ressourcen

Nicht publiziert

Literatur

MONDINO, M. LÓPEZ, C., ARGÜELLES, A., RIVAS, T. & TABOADA, J. (2010): Recovery of dense minerals as derivative in the exploitation of the alluvial terraces of the Miño River – Recuperación de minerales densos como subproducto en la explotación de las terrazas aluviales del Río Miño. – *Dyna*, 77, 161: 71 – 76, 1 Abb., 4 Tab.; Medellín, Kolumbien (Universidad Nacional de Colombia). – URL: <https://www.redalyc.org/pdf/496/49615347007.pdf> [Stand: 20.10.2024].



Name	Yên Phú
Land	Vietnam
Provinz	Yen Bai
Lizenzinhaber	Thai Duong Rare Earth Joint Stock Company

Geschichte/Konzept

Abbau der Lagerstätte (6,24 ha) Yên Phú (in der gleichnamigen Gemeinde, Văn Yên Distrikt, Yên Bái Provinz) in einem Tagebau seit 2019; Aufbereitung des Erzes durch Brechen, Mahlen und magnetische Separation (dabei Erzeugung eines Magnetitkonzentrats > 65 % Fe) sowie mehrstufige Flotation der SE-Mineralfraktion (Ausbringen 50 %); Produktion eines Xenotimkonzentrats (653,5 t 2021) @ 19,4 % SEO, Transport per Lkw zur SE-Aufbereitungsanlage (in Betrieb seit 2012, Kapazität 18 kt SEO/J., davon 2 kt schwere SEO/J.) der Vietnam Rare Earth Joint Stock Company (VTRE) (gegr. 2017, seit 10.2023 aufgrund Steuerhinterziehung geschlossen) in Phủ Lý, Hà Nam Provinz; Aufbereitung dort u. a. zu CeO_2 , La_2O_3 , $(\text{NdPr})_2\text{O}_3$, Nd_2O_3 , Pr_6O_{11} , Gd_2O_3 , Tb_2O_3 , Dy_2O_3 , Y_2O_3 und $(\text{SmEuGd})_2\text{O}_3$.

Art der SE-Mineralisation

Zwei Magnetiterzlinen (TQ1: 260 m Länge, 190 m Breite, max. 62 m Mächtigkeit @ Ø 1,21 % SEO; TQ2: 140 m Länge, 70 m Breite, max. 30 m Mächtigkeit @ Ø 1,01 % SEO) mit hydrothermaler Vererzung von Xenotim und Fergusonit, untergeordnet auch Samarskit, Monazit, Cheralit u. a.

Reserven/Ressourcen

(unterschiedliche Angaben)

Ressourcen: 1,90 Mio. t Erz @ 1,24 % SEO (23,6 kt SEO-Inhalt)

Ressourcen: 31,7 kt SEO-Inhalt

Reserven/Ressourcen – B: 17 kt SEO-Inhalt

Ressourcen – C1: 28 kt SEO-Inhalt

Ressourcen – C2: 4 kt SEO-Inhalt

Literatur

HUNG, N. G., THUAN, L. B., THANH, T. C., WATANABE, M., NHUAN, H., KHOAI, D. V., THUY, N. T., TUNG, N. V., AOYAGI, N., TRA, D. T. T., MINH, N. T., JHA, M. K., LEE, J.-Y. & JYOTHI, R. K. (2020): Optimization of sulfuric acid leaching of a Vietnamese rare earth concentrate. – *Hydrometallurgy*, 191, 105195: 11 S., 11 Abb., 6 Tab.; Amsterdam (Elsevier). – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304386X18306030> [Stand: 10.10.2024].

LUONG, K. Q. (2012): Characteristics of mineralization of the Yen Phu rare earth deposit, Yen Bai Provinz (in Vietnamesisch). – *Journal of Mining and Earth Sciences*, 40, 10: 23 – 29, 1 Abb., 5 Tab.; Hanoi. – URL: <https://tapchi.humg.edu.vn/en/archives?article=122> [Stand: 10.10.2024].

II. Kurzbeschreibungen SE-Projekte



Name	Bear Lodge
Land	USA
Staat	Wyoming
Lizenzinhaber	Rare Element Resources Ltd., Littleton, CO, USA

Konzept (Aktualisierung geplant)

Erzgewinnung in zwei Tagebauen (200 – 332 kt/J. Abraum-Erz-Verhältnis 8,5:1) über 38 Jahre (LOM: 45 Jahre) bis ca. 260 m Teufe, Aufbereitung des Erzes mittels Siebung und Waschen vor Ort, Aufhaltung der Rückstände vor Ort, Transport des Vorkonzentrats über 64 km nach Upton zur Eisenbahnlinie, dort Separation zu (NdPr)₂O₃, schweren SEO-Mischkonzentraten sowie Ce-Produkten („unverkäuflich“) (Summe: 6.813 t SEO-Inhalt/J. über LOM).

Infrastruktur am Vorkommen

19 Straßenkilometer nordwestlich Sundance, WY (1.200 Einw.), 89 km östlich Gillette, WY (33.000 Einw.), sehr gute Zuwegung über Forststraßen (Dezember – Mai wegen hohen Schneefalls gesperrt), 54 km bis Eisenbahnlinie, 1,5 km bis Stromleitung

Klima

gemäßigt, starker Schneefall im Winter

Länderrisiko

niedrig

Aufwand für die Gewinnung

hoch, selektiver Festgesteinestagebau

Aufwand für die Aufbereitung

gering, Standardverfahren, Ausbringen 87,9 % der SEO über LOM

Aufwand für die Separation

hoch durch hohen Säureverbrauch, Ausbringen 89,9 % der SEO über LOM

Radioaktivität des Erzes

stark wechselnd, durchschnittlich 31 ppm U (55 ppm U₃O₈), 135 ppm Th (154 ppm ThO₂)

mögliche weitere Umweltrisiken

Lizenzgebiet mit Wald bestanden, Grundwasserrechte müssen erworben werden, hoher Sulfidanteil im Erz

Größe des Vorkommens

Bull Hill: Ressourcen (1,5 % cut-off grade): 12,4 Mio. t Erz @ 3,24 % SEO (402.000 t SEO-Inhalt)

Reserven: 14,2 Mio. t Erz @ 2,78 % SEO (394.000 t SEO-Inhalt)

Bull Hill: Ressourcen (2,18 % cut-off grade): 6,02 Mio. t Erz @ 4,08 % SEO (245.500 t SEO-Inhalt)

Whitetail Ridge: Ressourcen (1,5 % cut-off grade): 3,8 Mio. t Erz @ 2,47 % SEO (96.000 t SEO-Inhalt)

East Taylor: derzeit 6,3 Mio. t Erz @ 4,44 % SEO (280.000 t SEO-Inhalt)

Carbon: noch nicht verfügbar @ 4,69 % SEO

begleitende Wertminerale

MnCO₃, PbO, ZnO, BaSO₄, Gold (im Vorkommen East Taylor gewinnbar)

Art der SE-Mineralisation

meist feinkörniger Ancyilit, Synchisit, Bastnäsit, Parisit und Cerianit in Karbonatitgängen; Bastnäsit und Monazit in bis 180 m Teufe reichenden, Fe- und Mn-reichen Oxidationszonen; Einzelvorkommen schwerer SE in Exploration

Projektstand

Prefeasibility Study:
03.2012, Aktualisierung 10.2014

Feasibility Study:
ausstehend

Finanzbeteiligung:
2017 durch General Atomics (derzeit 70,6 %)

Demonstration Plant:
Darlehen des Department of Energy und der Wyoming Energy Authority über zusammen 26,3 Mio. US\$, geplante Eröffnung Q3/2025 in Upton, Plan: Produktion von 12 – 15 t Nd/PrO > 99,5 % und Beiprodukte über 8 – 10 Monate

Investitionskosten über LOM (Stand 2014)

Gewinnung: 103,4 Mio. US\$, Aufbereitung: 44,8 Mio. US\$, Separation: 147,0 Mio. US\$
gesamt inkl. anderer Kosten: 453,3 Mio. US\$

Anmerkungen

Zonierung des Vorkommens mit unterschiedlichen physikalisch-metallurgischen Anforderungen für Aufbereitung und Separation – möglicherweise nur Verwitterungshorizonte gewinnbar; vor Erreichen der Karbonatitgänge müssen 8 Mio. t Abraum bewegt werden; Aufbereitungsplanung durch Umwelt- und Ingenieurtechnik GmbH (UIT) Dresden.



Name	Browns Range (Wolverine)
Land	Australien
Staat	Western Australia
Lizenzinhaber	Northern Minerals Ltd., West Perth, WA, Australien

Konzept

Erzgewinnung (910 kt/J.) zuerst im Tagebau bis 125 m Tiefe (Abraum-Erz-Verhältnis 13 : 1), später im querschlägigen Teilsohlenweitungsbaun untertage über > 8 Jahre (LOM) bis ca. 550 m Tiefe, Aufbereitung des Erzes mittels Waschen, Sieben und Sortieren (908 kt/J.), Aufhaldung der Rückstände vor Ort, danach Mahlen, Magnettrennung und Flotation des Erzkonzentrats (585 kt/J.) vor Ort, Produktion eines **Xenotimkonzentrats** (18.200 t/J. @ 25 % SEO), Einspülen der Rückstände in einen Schlammteich, Transport des Xenotimkonzentrats über 2.686 km per Lkw zur Eneabba Rare Earths Refinery.

Infrastruktur am Vorkommen

keine Infrastruktur, 160 km Luftlinie (216 Straßenkilometer) südöstlich Halls Creek, WA (1.600 Einw.), dort Anschluss an den Great Northern Highway

Klima

semiarid, bis durchschnittlich 38 °C im November, ausgeprägte Regenzeit Dezember bis Februar

Länderrisiko

sehr niedrig

Aufwand für die Gewinnung

sehr hoch durch steil einfallenden Erzkörper

Aufwand für die Aufbereitung

gering, Standardverfahren, Ausbringen n. v.

Aufwand für die Separation

hoch durch hohen Säureverbrauch, Ausbringen n. v.

Radioaktivität des Erzes

35 ppm U₃O₈, 27 ppm ThO₂

Größe des Vorkommens

Ressourcen (Summe der sechs Einzelvorkommen Wolverine, Gambit West, Pilot Plant Stockpiles, Gambit, Area 5, Cyclops, Banshee, Dazzler) (cut-off grade 0,15 % SEO): 10,82 Mio. t Erz @ 0,76 % SEO (81.450 t SEO-Inhalt), 87 % schwere SEO

davon Wolverine: Ressourcen (cut-off grade 0,15 % SEO): 6,44 Mio. t Erz @ 0,96 % SEO (61.492 t SEO-Inhalt), 89 % schwere SEO

begleitende Wertminerale

keine

Art der SE-Mineralisation

mit Xenotim vererzte hydrothermale, bis 550 m Tiefe steil einfallende Brekzie

Projektstand

Feasibility Study:
2015, Q4 2024

Finanzbeteiligung:
2022: 53 Mio. AU\$ durch Iluka Resources Inc. (2,11 % Anteil)

Abnahmevertrag (verbindlich):
mit Iluka Resources zur Versorgung der Eneabba Rare Earths Refinery mit max. 30.500 t Xenotimkonzentrat @ max. 5.500 t SEO-Inhalt

Pilotanlage:
2018 – 2022 inkl. Testtagebau, Produktion: 1.140 t Xenotimkonzentrat

Abbaulizenz:
2015

Produktionsbeginn (Plan):
2026 (finanzierungsabhängig)

Investitionskosten (Stand 2024):

n. v.

Anmerkungen

CEO Nick Curtis war früher CEO bei Lynas Corporation.



Name	Dong Pao
Land	Vietnam
Provinz	Lai Châu
Lizenzinhaber	Lai Chau Rare Earth Joint Stock Company (LAVRECO) Thac Can, Tam Duong, Tam Duong Distrikt, Lai Chau Provinz, Vietnam Vietnam Coal and Mineral Industries Group (TKV) (55 %) Hung Hai Construction Co. (20 %)

Geschichte/Konzept

1959: Entdeckung des Vorkommens; 1964 – 1968: Lagerstättenkartierung speziell der Erzkörper F1 – F5; 1982 – 1990: Erkundung in Zusammenarbeit mit den staatlichen Behörden der DDR (Institut für Mineralische Rohstoffe und Lagerstättenwirtschaft Dresden, FIA Forschungsinstitut für Aufbereitung Freiburg, VEB Agrochemie Piesteritz) mit Schwerpunkt auf den Erzkörper F3; 1990: Rückzug der Bundesrepublik Deutschland aus den Projekten; 1995: Testabbau von 50 t Erz durch VIMICO und Detailkartierung; 1997: Joint-Venture zwischen VIMICO und LG Corp./Korea; 2000/2001: Erkundung durch JOGMEC/Japan; 2008: Gründung der Lai Chau – Vimico Rare Earth Joint Stock Company (LAVRECO) als Tochterunternehmen der Vinacomin Minerals Corporation (VIMICO, heute TKV); 2010: Vereinbarung mit den japanischen Handelsfirmen Toyota Tsusho Corp. und Sojitz Corp. (unter Gründung der Dong Pao Rare Earth Development Company) zur Erschließung der Lagerstätte und Produktion von 7 kt SEO/J.; 2014: Erteilung der Abbaugenehmigung für die Lai Chau – Vimico Rare Earth JSC über 30 Jahre auf 133 ha mit der Bedingung der Produktion eines SE-Konzentrats @ min. 44,05 % SEO sowie daraus separierter SEO @ 97 % SEO zzgl. Baryt- und Fluoritkonzentrate; Rückzug der japanischen Partner aus dem Projekt; 2018: (erfolglose) Investmenteinladung an ausländische Unternehmen zur Produktion von 5 – 10 kt **separierten SEO/J.** (aus von LAVRECO zur Verfügung zu stellenden 90 kt Bastnäsitkonzentrat/J. (> 38 % SEO), das wiederum zusammen mit Baryt- und Fluoritkonzentraten aus 1,088 Mio. t im Tagebau gewonnen Erz/J. hergestellt werden soll).

Infrastruktur am Vorkommen

keine Infrastruktur außer Frischwasser, mehrere km über gebirgige, saisonal nicht befahrbare Forstwege nach Bán Hon (2.800 Einw.), von dort zwölf Straßenkilometer nach Lai Châu (Provinzhauptstadt, 45.000 Einw.)

Klima

subtropisch-feucht mit Monatsdurchschnittstemperaturen zwischen 10 °C (Januar, nachts) und 33 °C (Mai, tagsüber) sowie ausgeprägter Regenzeit zwischen Ende April und Ende August

Länderrisiko

mäßig

Aufwand für die Gewinnung

mittel, Gewinnung von verwittertem Gestein in mehreren Tagebauen

Aufwand für die Aufbereitung

aufgrund der Feinkörnigkeit und Verwachsungen der Erzminerale sehr hoch, Ausbringen 63 – 67 % der SEO

Aufwand für die Separation

nicht bekannt

Radioaktivität des Erzes

124 ppm U₃O₈, 145 ppm ThO₂

Größe des Vorkommens (verschiedene Angaben je nach Einbeziehung unterschiedlicher Erzkörper und Mineralisationen)

Durchschnittsgehalt: 5,98 % SEO

Ressourcen – Verwitterungszone: 7,2 Mio. t Erz @ 9,25 % SEO (666 kt SEO-Inhalt)

Ressourcen (Erzkörper F1 – F5) – C1 + C2:
2,7 Mio. t Erz @ 7,86 % SEO (212 kt SEO-Inhalt)

Ressourcen – C1 + C2: @ 6,75 % SEO (1.064 kt
SEO-Inhalt)

Ressourcen/Reserven – B: 461 kt SEO-Inhalt
Ressourcen – C1: 1.698 kt SEO-Inhalt
Ressourcen – C2: 2.553 kt SEO-Inhalt

genehmigte Abbauvorräte: 1.080 kt SEO-Inhalt

begleitende Wertminerale

Fluorit (z. T. abgebaut), Baryt

Art der SE-Mineralisation

Bastnäsit in 60 intensiv verwitterten Karbonatit-
gängen, davon 16 wirtschaftlich abbaubar, da-
runter am größten: F1, F3, F4, F7, F9, F10, F15,
F16 und F17

Projektstand

Abbaugenehmigung:
2014

Investitionskosten

nicht bekannt

Anmerkungen

im Jahr 2023 erneute Auktion zur Versteigerung
der Abbaurechte angekündigt, Bieterkonsor-
tium aus VTRE (wegen Steuerhinterziehung an-
geklagt) – Blackstone Minerals Ltd. – Australian
Strategic Materials (ASM) wollte sich beteiligen



Name	Dubbo
Land	Australien
Staat	New South Wales
Lizenzinhaber	Australian Strategic Materials (Holding) Ltd. (ASM), West Perth/WA, Australien

Konzept

Erzgewinnung in einem bis 40 ha großen Tagebau (1 Mio. t/J., Abraumverhältnis 1 : 10,9) über 20 Jahre (LOM, Verlängerung auf 40 Jahre möglich) mit zwischen 15 m und 32 m Teufe, Aufbereitung des Erzes mittels Siebung und Waschen vor Ort, Aufhaltung der Rückstände in 950 m Entfernung vom Tagebaurand, Transport des Vorkonzentrats über 2,8 km per Lkw in die Aufbereitungsanlage nach Toongi, dort Separation mittels Schwefelsäureaufschluss, Laugung u. a., Fällung, Trocknung und Oxidation zu **(NdPr)₂O₃** (1.432 t/J.), **Tb₄O₇** (22 t/J.), **Dy₂O₃** (142 t/J.), **SmEuGd-Chloriden** (454 t/J.), **schweren SE-Chloriden** (1.180 t/J.) sowie LaCe-Chloriden (Abfall) (zzgl. den Hauptprodukten ZrO₂, Hf-freies ZrO₂, HfO₂ und FeNb) (Summe: 21.820 t Produkte/J.), Abtransport der Produkte per Bahn; Weiterverarbeitung der Oxide und Chloride zu Metallen in der zum Unternehmen gehörenden Korean Metals Plant (KMP) in Südkorea möglich.

Infrastruktur am Vorkommen

östlich der Siedlung Toongi, diese an der zu reaktivierenden Eisenbahnnebenlinie Dubbo-Molong, 28 Straßenkilometer südlich Dubbo (39.000 Einw., Erdgasleitung, Eisenbahnverbindung nach Newcastle und Sydney), 7 km südlich des Macquarie River, 30 km Luftlinie zur nächstgelegenen Stromleitung bei Geurie

Klima

temperiert

Länderrisiko

sehr niedrig

Aufwand für die Gewinnung

mittel, Festgesteinstagebau

Aufwand für die Aufbereitung

mittel, Standardverfahren

Aufwand für die Separation

mittel, langjährige Erfahrung durch eigene Pilot Plant in Zusammenarbeit mit der Australian Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO), Ausbringen 54,1 – 82,6 % je nach SE

Radioaktivität des Erzes

140 ppm U₃O₈, 478 ppm ThO₂

Größe des Vorkommens

Ressourcen: 75,18 Mio. t Erz @ 0,88 % SEO (665.000 t SEO-Inhalt)

Reserven: 18,90 Mio. t Erz @ 0,88 % SEO (166.000 t SEO-Inhalt)

(jeweils nur bis 100 m Teufe berechnet)

begleitende Wertelemente

Zr, Hf, Nb, Ta

Art der SE-Mineralisation

feinkörnige SE-reiche Zirkonosilikate (HREO) und Bastnäsit (LREO) in Trachyt

Projektstand

Feasibility Study:
unbekannt

Finanzbeteiligung:

2021: 250 Mio. US\$ durch südkoreanische Private Equity Partner (20 % Anteil)

Finanzierung:

2021/22: 17 Mio. AU\$ durch drei staatliche Einzelmaßnahmen

2021: 200 Mio. AU\$ Darlehen durch Export Finance Australia

2024: 600 Mio. US\$ Darlehen durch Export-Import Bank of the United States (US EXIM)

2024: 5 Mio. AU\$ durch Regierung von Australien

Abbaugenehmigung:
seit 12.2015

Optimierungsstudien:
06.2018 und 12.2021

Produktionsbeginn (Plan):
2028 (seit 2012 verschoben, finanzierungsabhängig)

Investitionskosten (Stand 2021)

Kapitalkosten: 1.678 Mio. AU\$ (Abbau: 44 Mio. AU\$, Separation: 958 Mio. AU\$, Infrastruktur u. a.: 676 Mio. AU\$)

Betriebskosten: 287 Mio. AU\$/J. über LOM

Anmerkungen

Grund und Boden (3.456 ha) im Eigentum von Australian Strategic Materials (Holding) Ltd. (ASM), ältere technische Originaldaten/-studien nicht publiziert, SE machen 14 % der Produkte, aber 44 % der erwarteten Erlöse des Projektes aus.



Name	Elk Creek
Land	USA
Staat	Nebraska
Lizenzinhaber	NioCorp Development Ltd., Centennial, CO, USA

Konzept

Erzgewinnung untertage aus 200 – 755 m Teufe (Ø 1 Mio. t/J.) über 38 Jahre (LOM), Vorbrechen des Erzes (bis Ø 115 mm Durchmesser) untertage und Förderung an die Erdoberfläche durch einen Schacht, Nachbrechen des Stückgutes auf Ø 1,1 mm Durchmesser, Aufbereitung des Erzes (Ø 36,7 kt/J.) in einer hydrometallurgischen Anlage (Details zu der geplanten SE-Produktion noch nicht publiziert), Weiterverarbeitung des Nb₂O₅ zu FeNb in einer pyrometallurgischen Anlage

Infrastruktur am Vorkommen

keine Infrastruktur bis auf sehr gute Zuwegung: Vorkommen auf Farmland, direkt an Highways 50 und 62, sieben Straßenkilometer östlich Elk Creek, NE (70 Einw.), 99 Straßenkilometer südöstlich von Lincoln, NE (State Capital 293.000 Einw.), 126 Straßenkilometer südlich von Omaha, NE (486.000 Einw.)

Klima

kontinental-humid, heiße, feuchte Sommer (Ø +18 bis +32 °C) und kalte Winter (+1,6 bis -10,4 °C)

Länderrisiko

niedrig

Aufwand für die Gewinnung

hoch, Untertageabbau

Aufwand für die Aufbereitung

für SEO noch nicht bestimmt

Aufwand für die Separation

für SEO noch nicht bestimmt

Radioaktivität des Erzes

472 ppm ThO₂, 57 ppm U₃O₈

Größe des Vorkommens

Ressourcen: 188,3 Mio. t Erz @ 0,3265 % SEO (495 kt SEO-Inhalt)

Reserven: 33,7 Mio. t Erz (nicht für SEO berechnet)

begleitende Hauptwertminerale

Nb₂O₅ (FeNb-Produktion), Sc, TiO₂

Art der SE-Mineralisation

Karbonatit mit SE-Mineralisation (auf 700 m streichende Länge, 500 m Breite und 750 m Tiefe) von Bastnäsit, Parisit, Synchysit und Monazit unter Ø 200 m Bedeckung aus Kalkstein (und quartären Sedimenten)

Projektstand

Feasibility Study:

2022 (für Nb, Sc, Ti), 2024 (für SEO, geplant)

Abnahmevertrag (SEO):

nicht-verbindlich und zu konkretisieren mit Stellantis N.V.

Investitionskosten (exkl. SEO), Stand 2022

Kapitalkosten: 1,61 Mrd. US\$

Betriebskosten: 196 Mio. US\$/J.

Anmerkungen

> 90 % des Abbaugebietes im Eigentum des Lizenzinhabers, SEO-Produktion nur als Nebenproduktion von Nb₂O₅, Sc und TiO₂!



Name	Eneabba
Land	Australien
Bundesstaat	Western Australia
Lizenzinhaber	Iluka Resources Ltd., Perth, WA, Australien

Konzept

Aufbereitung einer Halde (300 m Länge x 150 m Breite x 1 – 12 m Mächtigkeit) (32 kt/J., LOM: 9 J.) aus der ehemaligen Schwermineralsandgewinnung bei Eneabba (1975 – 2013) sowie radioaktiven Abgängen des Werks Narngulu (in Betrieb seit 1975, Aufhaldung seit 1994) auf Monazit, Xenotim, Zirkon und Ilmenit; Aufbereitung des separierten Monazit-/Xenotimkonzentrats (@ 90 % Monazit) ab 2025 in der derzeit errichteten Eneabba Rare Earths Refinery zu separierten SE-Produkten, darunter (zu Beginn) 7.400 t **CeCO₃/J.**, 3.800 t **La₂O₃/J.**, 2.700 t **(NdPr)₂O₃/J.**, 150 t **Dy₂O₃/J.**, 50 t **Tb₄O₇/J.** sowie **Sm-Eu-Gd-Karbonat** (SEG) und **schwerer SE-Karbonat** (17,5 – 23 kt SEO/J.); Raffination zu SE-Metallen wird geprüft; nach Aufbereitung der Halde bei Eneabba Fortsetzung der Verarbeitung von Abgängen aus dem Werk Narngulu, von zugekauften Monazitkonzentraten sowie (geplant) von Xenotimkonzentraten des Browns Range-Projekts (Wolverine) von Northern Minerals Ltd.

Infrastruktur am Vorkommen

270 km nördlich Perth, 8 km südlich Eneabba (142 Einw., vollständige Infrastruktur), 9 km Entfernung über eine ausgebaute Zufahrtsstraße zum Brand-Highway 1

Klima

mediterran mit heißen Wintern bis 36 °C, max. 49 °C

Länderrisiko

sehr niedrig

Aufwand für die Gewinnung

sehr gering, Sandhalde

Aufwand für die Aufbereitung

sehr gering, Standardverfahren, Ausbringen ca. 90 – 95 % des Monazits

Aufwand für die Separation

hoch durch hohen Säureverbrauch, Standardverfahren

Radioaktivität des Erzes

0,25 % U (0,29 % U₃O₈), 6,2 % Th (7,1 % ThO₂)

Größe des Vorkommens

Ressourcen: 1,15 Mio.t Sand @ 80,5 % HM (925.000 t SM) @ 18,8 % Monazit/Xenotim (174.000 t Mo/Xe)

Reserven: 1,08 Mio. t Sand @ 80,8 % HM (873.000 t SM) @ 19,1 % Monazit/Xenotim (167.000 t Mo/Xe)

begleitende Wertminerale

Ilmenit, Zirkon

Art der SE-Mineralisation

Monazit und Xenotim aus Schwermineralseifen

Projektstand

Investitionsentscheidung:
04.2022

Baubeginn:
Ende 2022

Finanzbeteiligung:

1,45 – 1,65 Mrd. AU\$ durch Government of Australia

Produktionsbeginn:

2026 (Plan)

Investitionskosten

Kapitalkosten Aufbereitungsanlage:
1,7 – 1,8 Mrd. AU\$

Anmerkungen

sehr hohe Bergbau- und Aufbereitungserfahrung des Lizenzinhabers, hohe Nuklear- und Bergbauprojekterfahrung des beauftragten Unterauftragnehmers Fluor Corporation/USA, sehr hohe SEO-Separationserfahrung des Unterauftragnehmers Carester/Frankreich



Name	Fen
Land	Norwegen
Provinz	Telemark
Lizenzinhaber	Rare Earths Norway AS, Molde, Norwegen

Konzept

Erzgewinnung untertage, Aufbereitung durch Brechen, Mahlen und Flotation mit dem Ziel der Produktion eines SE-Mineralkonzentrats, hydro-metallurgische Separation zu einem SE-Mischkonzentrat (Details noch nicht bekannt), Transport per LKW über 35 km zur (derzeit im Aufbau befindlichen) Separationsanlage der REEtec AS in Porsgrunn und dort Weiterverarbeitung (mit anderen SE-Rohstoffen) zu separierten SE-Produkten ((NdPr)₂O₃, Dy₂O₃, Tb₄O₇ u. a., nach Bedarf).

Infrastruktur am Vorkommen

vollständige Infrastruktur mit Lage in einem alten Bergbauggebiet (seit 1675), 108 km (Luftlinie) bzw. 158 km über Straße südwestlich Oslo, südöstlich des Städtchens Ulefoss (2.300 Einw.) in einem intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebiet, angrenzend an den Inlandssee Norsjø mit Anbindung über Schleusen an die Nordsee, gute Zug- und sehr gute Straßenanbindung.

Klima

gemäßigt-humid, mit langen und (früher häufig) schneereichen Wintern

Länderrisiko

sehr niedrig

Aufwand für die Gewinnung

hoch durch Untertageabbau

Aufwand für die Aufbereitung und Separation

noch nicht bewertbar

Radioaktivität des Erzes

12 ppm U₃O₈, 235 ppm ThO₂

Größe des Vorkommens

Ressourcen: 559 Mio. t Erz @ 1,564 % SEO (8.743 kt SEO-Inhalt)

begleitende Wertminerale

evtl. Nb₂O₅

Art der SE-Mineralisation

Bastnäsit und Parisit (sowie untergeordnet Synchisit und Monazit) in Fe-dolomitischem Karbonatit

Projektstand

Aufsuchungserlaubnis:
2023 für 3,2 km² Fläche

Feasibility Study:
ausstehend

Finanzierung:
10 Mio. NOK durch Telemark Utviklingsfond (TUF)
für eine Pilotanlage

Investitionskosten (Stand 2024)

Kapitalkosten (geschätzt, 1. Schritt): 10 Mrd. NOK
(ca. 840 Mio. €)

Finanzierung

2024: 60 Mio. NOK durch Innovation Norway

Anmerkungen

Projekt in sehr frühem Stadium, aber mit herausragender Infrastruktur, starker politischer Unterstützung und (noch) geringem örtlichen Widerstand



Name	Halleck Creek
Land	USA
Staat	Wyoming
Lizenzinhaber	Wyoming Rare Earths (USA), Inc. American Rare Earths, Inc., Sydney, NSW, Australien

Konzept

Erzgewinnung (@ Ø 0,367 % SEO) in zwei Tagebauen (3,0 Mio. t/J., Abraum-Erz-Verhältnis 0,03 : 1) der „Cowboy State Mine“ über 20 Jahre (LOM: 180 J.) bis (vermutlich) ca. 160 m Teufe, Aufbereitung und Separation des Erzes mittels Brechen, Mahlen, Schwerentrennung und magnetische Separation vor Ort, Aufhaltung der Rückstände vor Ort, Transport des Vorkonzentrats (232 kt/J. @ Ø 3,5 % SEO) über 39 km nach Wheatland, dort weitere Aufbereitung mittels Laugung, Ionenaustausch und Lösungsmittelextraktion zu **(NdPr₂)O₃** (Ø 1.529 t/J.), **La₂CO₃** (Ø 1.486 t/J.), **Tb₄O₇** (Ø 17 t/J.), **Dy₂O₃** (Ø 91 t/J.) und **mittelschweren SE-Mischoxiden** (Ø 383 t/J.) (Summe: 3.506 t/J. über LOM), Verwerfen des Cers.

Infrastruktur am Vorkommen

70 km nordöstlich Laramie, WY (31.500 Einw.), 39 Straßenkilometer (davon 29 km geteert und 10 km Schotter) südwestlich Wheatland, WY (3.560 Einw.), dort Anbindung an Eisenbahnlinie und Interstate 25, Stromleitung quert das Vorkommen.

Klima

semiarid, kontinental, gemäßigt

Länderrisiko

niedrig

Aufwand für die Gewinnung

mittel, selektiver Festgesteinestagebau

Aufwand für die Aufbereitung

mittel nach bisherigen Tests, Ausbringen 77 – 78 % (mit Laugung 85 %) der SEO

Aufwand für die Separation

noch nicht bewertbar, Gesamtausbringen 64 – 70 % je nach Produkt (Ø 67 %)

Radioaktivität des Erzes

61 ppm ThO₂, 7 ppm U₃O₈

mögliche weitere Umweltrisiken

Grundwasserrechte müssen erworben werden, hoher Eisenoxidanteil im Erz

Größe des Vorkommens

Ressourcen Overton Mountain (2.335 x 1.075 m) (0,1 % cut-off grade): 1,382 Mrd. t Erz @ 0,3328 % SEO (4.601 kt SEO-Inhalt)

Ressourcen Red Mountain (1.620 x 1.610 m) (0,1 % cut-off grade): 959 Mio. t Erz @ 0,3003 % SEO (2.880 kt SEO-Inhalt)

Gesamtressourcen (0,1 % cut-off grade): 2,342 Mrd. t Erz @ 0,3195 % SEO (7.481 kt SEO-Inhalt)

Gesamtressourcen (0,4 % cut-off grade): 650 Mio. t Erz @ 0,4428 % SEO (2.878 kt SEO-Inhalt)

begleitende Wertminerale

keine

Art der SE-Mineralisation

Ø 1,31 % Allanit (Ø 232 µm Durchmesser) in Quarzmonzoniten und -syeniten

Projektstand

Scoping Study:
03.2024

Feasibility Study:
ausstehend

Finanzierung:
2024: 7,1 Mio. US\$ durch den Staat Wyoming für weitere Projektarbeiten

Investitionskosten (Stand 2023)

Gesamt: 456,1 Mio. US\$, Produktionskosten (Ø über 20 J.): 97,7 Mio. US\$/J.

Anmerkungen

Ressourcenberechnung beruht auf einem unrealistisch niedrigen cut-off grade (Hinweise in den Studien, dass bei einem cut-off grade von 1,0 % SEO keine SEO-Lagerstätte existiert), Wasserrechte (Farmland!) noch nicht gesichert, Radioaktivität des Allanits: 0,49 % ThO₂, 700 ppm U₃O₈.



Name	Kringlerne (Tanbreez)
Land	Grönland
Region	Südwesten
Lizenzinhaber	TANBREEZ Mining Greenland A/S 94,45 % Rimbali Pty Ltd., South Perth, WA, Australien (42 % Critical Metals Corp., New York, NY, USA)

Konzept

Erzgewinnung in zwei Tagebauen (500 kt/J.) in 4 km Entfernung vom Fjord Kangerdluarssuk, Aufbereitung des Erzes (500 kt/J.) durch Brechen, Mahlen, magnetische Sortierung und/oder Flotation an einem Standort in Fjordnähe zu einem **Eudialytkonzentrat** (100 kt/J.), einem Feldspatkonzentrat (200 kt/J.) und einem Amphibolkonzentrat (200 kt/J.), wobei letzteres in den auf 480 m ü. NN gelegenen Foster Lake verspült werden soll; Verschiffung des Feldspat- und des Eudialytkonzentrats an Kunden.

Infrastruktur am Vorkommen

keine Infrastruktur, angrenzend an den eisfreien Tiefwasserfjord Kangerdluarssuk, 10 km Luftlinie von Narsaq (2.500 Einw.), 25 km Luftlinie von Qaqortoq (3.500 Einw.); 35 km vom Internationalen Flughafen Narsarsuaq.

Klima

subarktisch (durchschnittlich bis -5 °C im Winter und $+15\text{ °C}$ im Sommer), wenig Schneefall, häufig sehr starke Stürme, häufig Küstennebel

Länderrisiko

sehr niedrig

Aufwand für die Gewinnung

mittel, Festgesteinstagebau

Aufwand für die Aufbereitung

gering, Ausbringen $\gg 90\%$ der Wertstoffe

Aufwand für die Separation

mittel, aufgrund geringem Aufbereitungswissen zur SE-Mineralisation, Ausbringen: $\gg 90\%$ der Wertstoffe

Radioaktivität des Erzes

94 ppm ThO_2 , 28 ppm U_3O_8

Größe des Vorkommens

Erzkörper: ca. 4,7 Mrd. t Gestein (auf $12,5\text{ km}^2$ Fläche und 335 m Mächtigkeit) @ ca. 20 % Eudialyt (940 Mio. t Eudialyt) @ 0,60 % (andere Quellen: 0,635 %) SEO (5,6 Mio. t SEO-Inhalt)

Ressourcen (nie exakt berechnet) (cut-off grade ca. 0,5 % SEO): ca. 700 Mio. t Eudialyterz @ ca. 0,7 % SEO (ca. 4,9 Mio. t SEO-Inhalt)

begleitende Wertminerale

Na-Feldspat, Nb_2O_5 , Ta_2O_5 , $\text{Zr}(\text{Hf})\text{O}_2$ (Ta Nb REE Zr = Tanbreez)

hohes Potenzial an Metallen, u. a. Au, in basalen Sulfiderzen

Art der SE-Mineralisation

Eudialyt, untergeordnet auch Monazit und Rinkit, in stark geschichtetem Kakortokit (Eudialyt-Amphibol-Feldspat-Mischgestein) und Pegmatiten

Projektstand

Feasibility Study:
2002

Abbaugenehmigung:
2020

Abbaubeginn:
2024 (Plan, finanzierungsabhängig)

Investitionskosten (Stand 2002)

186 Mio. US\$

Anmerkungen

Rimbal Pty Ltd., zu 94,45 % im Besitz einer Privatperson (Greg Barnes) mit sehr hohen Erlöserwartungen; umfassende Projektstudien (exkl. einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung) liegen (der DERA) vor, sind ansonsten aber unpubliziert; SEO-Verteilung nicht unabhängig verifizierbar; starke wirtschaftliche Abhängigkeit des Projektes von fossilen Energierohstoffen; Projekt geht nur von 500 kt/J. Erzproduktion aus, da in Fjordnähe nicht ausreichend Platz für eine größere Aufbereitungsanlage vorhanden ist; einer der zwei geplanten Tagebaue liegt auf ei-

nem Hochplateau mit zu erwartenden sehr starken Stürmen; Havarie (Küstennebel, Stürme) eines Dieseltransportschiffs könnte zur nachhaltigen Schädigung der sensiblen Meeresfauna (Robben, Wale) und damit zu einem erheblichen weltweiten Imageschaden des Betreibers/ seiner Abnehmer führen; Verspülung des nicht nutzbaren Materials unter hohem Energieaufwand in einen auf 480 m ü. NN gelegenen See ist unwirtschaftlich, ökologisch fragwürdig und dieser See ist nach Abbau von 22,4 Mio. t Erz bereits aufgefüllt; frühere Verhandlungen über ein Offtake-Agreement mit Toyota nicht bestätigt.



Name	Kvanefjeld
Land	Grönland
Region	Südwesten
Lizenzinhaber	Greenland Minerals A/S Energy Transition Minerals Ltd., Subiaco, WA, Australien (10,5 % Shenghe Resources Holding Co. Ltd.)

Konzept

Gewinnung in einem Großtagebau (ca. 3 Mio. t/J.) (Abraum-Erz-Verhältnis 0,8 : 1) auf einem 600 m hohen Plateau über mind. 37 Jahre (initial LOM), Aufhaldung des Erzes nach Qualitäten vorsortiert, Transport des Erzes aus den Halden per Lkw über 1,5 km zu einer zentralen Aufbereitungsanlage, dort Aufbereitung durch Brechen, Mahlen und mehrere Flotationsstufen zu einem Sphaleritkonzentrat (6.060 t Zn-Inhalt/J.), einem Steenstrupinkonzentrat (250 kt/J.) und einem Flussspatkonzentrat (12.420 t/J., Anm.: das Erz enthält kein CaF_2 , sondern NaF), Aufhaldung der Rückstände in einer bis 120 m hohen Gesteinshalde bzw. Verspülung (2,8 Mio. t/J.) in einer großen natürlichen Senke, Pumpen des verflüssigten Steenstrupinkonzentrates (@ 22 – 25 % SEO) in eine angeschlossene hydrometallurgische Anlage und dort (ggf. auch im Ausland) durch Säurelaugung und Lösemittelextraktion Produktion einer SE-Chloridlösung und daraus Produktion von ca. 4.300 t **La₂O₃/J.**, ca. 6.900 t **Ce(OH)₃/J.**, ca. 3.900 t **LaCe-Oxid/J.** sowie einem **SE-Mischkarbonat** (Summe 32.100 t SEO-Inhalt/J., inkl. 5.692 t (NdPr)₂O₃, 270 t Dy₂O₃, 44 t Tb₄O₇ und 30 t Eu₂O₃) zzgl. UO₄ (451 t U₃O₈-Inhalt/J.); Transport der Konzentrate über eine noch zu bauende 13 km lange und 7 m breite Straße zum Hafen von Narsap Ilua und von dort Verschiffung zu den Kunden.

Infrastruktur am Vorkommen

keine Infrastruktur, 7,5 km Luftlinie nördlich von Narsaq (2.500 Einw., eisfreier Tiefwasserhafen), 25 km Luftlinie von Qaqortoq (3.500 Einw.), 40 km vom Internationalen Flughafen Narsarsuaq

Klima

subarktisch (durchschnittlich bis -5 °C im Winter und $+15\text{ °C}$ im Sommer), wenig Schneefall, häufig sehr starke Stürme, häufig Küstennebel

Länderrisiko

sehr niedrig

Aufwand für die Gewinnung

mittel, Festgesteinstagebau

Aufwand für die Aufbereitung

hoch, Ausbringen 79 % der SEO

Aufwand für die Separation

hoch, sehr hoher Chemikalienbedarf, Ausbringen 70 % der SEO

Gesamtausbringen 55 % der SEO

Radioaktivität des Erzes

282 ppm U₃O₈ (abzubauenes Erz: 314 ppm U₃O₈),

853 ppm ThO₂ (abzubauenes Erz: 933 ppm ThO₂)

Größe des Vorkommens

Ressourcen (@ 150 ppm U₃O₈ cut-off grade): 1.010 Mio. t Erz @ 1,10 % SEO (abzubauenes Erz: 1,01 % SEO) (11,11 Mio. t SEO-Inhalt) (12 % schwere SEO)

Reserven: 108 Mio. t Erz @ 1,43 % SEO (1.544 kt SEO-Inhalt) (11 % schwere SEO)

begleitende Wertminerale

U₃O₈, Zn, NaF

Art der SE-Mineralisation

Steenstrupin und Vitusit, untergeordnet auch Monazit und Cerit, in Lujavrit (Nephelinsyenit)

Projektstand

Feasibility Studien:
2015, 2016, 2019

Finanzbeteiligung:
08.2018 mit Shenghe Resources Holding Co. Ltd. (10,5 % Anteil)

Abbaugenehmigung:
beantragt 2019, abgelehnt am 01.06.2023 durch die Regierung von Grönland aufgrund des „Uranium Acts“ vom 01.12.2021, Schadenersatzklage gegen die Regierungen von Grönland und Dänemark durch den Lizenzinhaber am 19.07.2023 in Höhe von 11,3 Mrd. US\$.

Abbaubeginn:
offen

Investitionskosten (Entwicklung)

2,31 Mrd. US\$ (2012), 1.361 Mio. AU\$ (2015), 832 Mio. US\$ (2016), 505 Mio. US\$ (2019)

Anmerkungen

Ursprünglich reines Uranprojekt; Aufbereitung und ursprüngliche Abbauplanung auf hohe Uranausbeute ausgelegt; ein Großteil der Projektstudien, v. a. aller jüngeren unpubliziert, so dass die aktuell geplanten Produktionsmengen nicht genau bekannt sind; starke wirtschaftliche Abhängigkeit des Projektes von fossilen Energierohstoffen; Tagebau liegt auf einem Hochplateau mit zu erwartenden sehr starken Stürmen; Havarie (Küstennebel, Stürme) eines Diesel-/Chemikalientransportschiffs könnte zur nachhaltigen Schädigung der sensiblen Meeresfauna (Robben, Wale) und damit zu einem erheblichen weltweiten Imageschaden des Betreibers/seiner Abnehmer führen.



Name	Lofdal
Land	Namibia
Region	Kunene
Lizenzinhaber	Namibia Rare Earths (Pty) Ltd., Windhoek, Namibia Namibia Critical Metals Inc., Halifax, NS, Kanada (95 %) Philco One Hundred Ninety-Six (Pty) Ltd., Namibia (5 %)

Konzept

Erzgewinnung (Ø 2,16 Mio. t/J.) in zwei „flachen und engen“ Tagebauen (Abraum-Erz-Verhältnis 4,4 : 1 – 5 : 1) über 16 Jahre (LOM), Aufbereitung des Erzes mittels Mahlen und Flotation zu einem SE-Mineralkonzentrat (Ø 626.400 t/J. @ Ø 2,89 % SEO), Einspülen der Flotationsrückstände in einen Teich, Aufbereitung des SE-Mineralkonzentrats in einer hydrometallurgischen Anlage über SE-Oxalate zu einem SE-Mischoxid (Ø 2.532 t/J.) (@ 99 % SEO); Transport per Lkw über 315 km nach Walvis Bay und von dort Export, v. a. nach Japan.

Infrastruktur am Vorkommen

keine Infrastruktur, 25 km NW' Khorixas (6.900 Einw.), dort Telekommunikation und Strom (132 kV), 351 Straßenkilometer zum Hafen von Walvis Bay, 450 Straßenkilometer von Windhoek

Klima

semiarid mit Regenzeit zwischen November und April und ausgeprägter Trockenzeit in den anderen Monaten, gelegentlich bis 40 °C von Oktober bis April

Länderrisiko

mäßig

Aufwand für die Gewinnung

mittel durch flache, aber enge Festgesteinsteigebäude

Aufwand für die Aufbereitung

hoch durch komplexe Mineralogie, Ausbringen Flotation: 64,4 % SEO

Aufwand für die Separation

hoch durch komplexe Mineralogie und hohen Chemikalienbedarf, Ausbringen 93,5 % SEO

Gesamtausbringen: 60 % gesamte SEO (53 % leichte SEO, 68 % schwere SEO)

Radioaktivität des Erzes

3 ppm U₃O₈, 191 ppm ThO₂

Größe des Vorkommens

Ressourcen (Einzelvorkommen Area 4 und 2B) (cut-off grade 0,1 % SEO): 58,5 Mio. t Erz @ 0,16 % SEO (93.731 t SEO-Inhalt), 56,4 – 57,3 % schwere SEO

begleitende Wertminerale:

keine

Art der SE-Mineralisation

Karbonatitgänge sowie hydrothermale Alterationszonen mit sehr feinkörnigem Xenotim (sowie untergeordnet Monazit, Parisit, Apatit und Thorit) auf einer Fläche von ca. 200 km²

Projektstand

Prel. Econ. Assessment (PEA):
2014, 2022

Pre-Feasibility Study:
2024 (Plan)

Finanzbeteiligung:

2020: bis zu 20 Mio. C\$ (für Explorationsaufwendungen) durch Japan Oil, Gas and Metals National Corporation (JOGMEC) gegen eine Beteiligung von bis zu 50 %

Abbaulizenz:

05.2021

Investitionskosten (Stand 2022)

Kapitalkosten: Aufbereitung: 207 Mio. US\$,
Separation: unbekannt
Betriebskosten: 69 Mio. US\$/J.

Anmerkungen:

Seit 2008 befindet sich das Projekt Lofdal immer noch im Explorationsstadium, widersprüchliche Angaben zur Erzgewinnungsmenge t/J. im PEA, keine Angaben zu den Kapitalkosten der hydro-metallurgischen Aufbereitungsanlage.



Name	Longonjo
Land	Angola
Region	Huambo
Lizenzinhaber	Ozango Minerais S.A. Pensana plc., London, England (84 %) Angolan Sovereign Wealth Fund & andere (16 %)

Konzept

Gewinnung (Ø 1,6 Mio. t/J.) in einem bis 70 m tiefen Tagebau (Abraum-Erz-Verhältnis 0,1 : 1) über 18 Jahre (LOM 20 J.), Aufbereitung des Erzes mittels Mahlen und danach Flotation zur Abtrennung des Baryts, danach weitere Flotation zur Abtrennung eines SE-Mineralkonzentrats (@ ca. 20 % SEO), Einspülen der Rückstände in einen Schlammteich, Trocknung des SE-Mineralkonzentrats und Lösung der enthaltenen SE mittels Schwefelsäure, danach Nanofiltration, Neutralisation und Ausfällung eines SE-Mischkarbonats (1. Phase: 19.600 t/J., 2. Phase: 40.000 t/J.), Transport des SE-Mischkarbonats zum Hafen von Lobito (bevorzugt per Bahn) und von dort Export nach Saltend/UK zur dortigen Produktion einer SE-Chloridlösung und daraus zu **La- und Ce-Karbonaten, (NdPr)₂O₃** sowie einem **Mischkarbonat aus mittelschweren/schweren SE** (12.500 t SEO-Inhalt/J.).

Infrastruktur am Vorkommen

keine Infrastruktur, jedoch nur wenige km von der Kleinstadt Longonjo (ca. 100.000 Einw.) entfernt, 4,5 km Luftlinie zur Benguela Eisenbahnlinie (Nebenlinie zum Longonjo Projekt geplant) bzw. zur asphaltierten Nationalstraße, 60 Straßenkilometer von Huambo (751.000 Einw.), 320 km per Straße oder Bahn zum Hafen Lobito.

Klima

subtropisch mit ausgeprägter Regenzeit zwischen Oktober und April, Höchsttemperaturen im September bis > 32 °C

Länderrisiko

hoch

Aufwand für die Gewinnung

nicht bewertbar, da keine Informationen publiziert

Aufwand für die Aufbereitung

nicht bewertbar, da unzureichende Informationen publiziert, Ausbringen 41 %

Aufwand für die Separation

nicht bewertbar, da unzureichende Informationen publiziert, Ausbringen 70 %

Radioaktivität des Erzes

< 29 ppm U₃O₈, < 967 ppm ThO₂ (Publikation eines früheren Lizenzinhabers vom 24.01.2014)

Größe des Vorkommens

Ressourcen (cut-off grade 0,1 % NdPrO): 313 Mio. t Erz @ 1,43 % SEO (4,47 Mio. t SEO-Inhalt), 7 % schwere SEO

Reserven (cut-off grade 0,3-0,4 % NdPrO): 30,1 Mio. t Erz @ 2,55 % SEO (767 kt SEO-Inhalt)

begleitende Wertminerale

keine

Art der SE-Mineralisation

Karbonatit von ca. 2,5 km Durchmesser und 50 m, max. 75 m Verwitterungstiefe mit Monazit, untergeordnet auch Bastnäsit als SE-Minerale

Projektstand

Pre-Feasibility Study:
2019, 2020

Feasibility Study:
2022 (Teile, nicht publiziert)

Finanzbeteiligung:

Angolan Sovereign Wealth Fund (Darlehen):
15 Mio. US\$

UK Government (Darlehen Raffinerie): 4 Mio. £

2024 Konsortium von Darlehensgebern:
156 Mio. US\$

Abbaulizenz:
2020

Produktionsbeginn (Plan):
Q1 2026

Investitionskosten (Stand 2021)

Kapitalkosten Angola: 305 Mio. US\$ (1. Phase:
216,5 Mio. US\$)

Kapitalkosten Raffinerie in UK: 197 Mio. US\$

Betriebskosten Angola: 127,2 Mio. US\$/J.

Betriebskosten Raffinerie in UK: 59,1 Mio. US\$/J.

Anmerkungen

Bau einer 56 km langen 220 kV-Stromleitung nach Huambo (Hydroenergie) geplant, für leichte SEO-Projekte sehr niedriger cut-off grade zur Ressourcenberechnung gewählt, keine aktuellen Daten zu den Th- und U-Gehalten des Erzes oder des SE-Mineralkonzentrats und auch sonst nur wenige Daten aus der seit 2022 zumindest in Teilen vorliegenden (?) DFS publiziert.



Name	Nechalecho
Land	Kanada
Provinz	Northwest Territories
Lizenzinhaber	Basal Zone: Avalon Advanced Materials Inc., Toronto, ON, Kanada Upper Zone (Tardiff + T): Cheetah Resources Pty Ltd. 100 % Vital Metals Ltd., Sydney, NSW, Australien (9,9 % Shenghe Resources)

Konzept

Basal Zone: Untertageabbau von Erz (\emptyset 730 kt/J.) durch Sprengungen aus der in \emptyset 200 m Teufe lagernden, 5 –> 30 m (\emptyset 20 m) mächtigen Basal Zone über 20 J. (LOM), Brechen untertage, Förderung des Brechguts über ein 1,6 km langes Förderband an die Erdoberfläche, dort Aufmahlung, Entschlammung, Flotation und Filtration, Herstellung eines Erzkonzentrats (\emptyset 130 kt/J. @ 7,4 % SEO, 15,5 % ZrO₂, 1,7 % Nb₂O₅ und 0,2 % Ta₂O₅) (sowie ggf. eines Magnetitkonzentrats), Zwischenlagerung des Konzentrats in 45t-Containern, Transport der Container im Sommer über eine 5 km lange Straße zu einer Verladestelle und von dort mittels Schuten nach Südwesten über der Great Slave Lake zu einer Anlagestelle nördlich Pine Point, Transport per Lkw nach Pine Point, dort in einer hydrometallurgischen Anlage Separation zu einem **SE-Mischkarbonat** (max. 10 kt/J., \emptyset 8,4 kt SEO-Inhalt/J.) und einem angereicherten Zr-Konzentrat, Transport des SE-Mischkarbonats entweder per Bahn ab Hay River (> 5.000 km) zu einer SE-Raffinerie in Geismar, Louisiana/USA und dort Herstellung von **separierten SE-Oxiden** (\emptyset 10.000 t/J., \emptyset aufgeteilt in 1.381 t La₂O₃ (99,9 %), 3.024 t CeO₂ (99,9 %), 381 t Pr₂O₃ (99,9 %), 1.529 t Nd₂O₃ (99,9 %), 343 t Sm₂O₃ (99 %), 48 t Eu₂O₃ (99,99 %), 353 t Gd₂O₃ (99,9 %), 59 t Tb₂O₃ (99,99 %), 324 t Dy₂O₃ (99,99 %), 1.454 t Y₂O₃ (99,999 %), 18 t Lu₂O₃ (99,9 %) und 292 t Er-Ho-Tm-Yb-Mischkarbonat (99 %)) oder Vertrieb an Solvay S.A. zur Weiterverarbeitung in der SE-Anlage La Rochelle/Frankreich.

Upper Zone: Beginn des Erzabbaus (max. 600 kt/J.) in der North T-Zone in einem bis 30 m tiefen Tagebau (Abraum-Erz-Verhältnis 6,8 : 1)

mittels Löffelbagger (zur Anschubfinanzierung, später Abbau der Tardiff Zone geplant), Herstellung eines Bastnäsitkonzentrats (@ 40 % SEO) durch gravimetrische und/oder XRF-Sortierung, Transport des Konzentrats über 220 km per Schute (im Sommer) bzw. über Eisstraßen (im Winter) über den Great Slave Lake nach Hay River und von dort über ca. 1.500 km per Bahn nach Saskatoon, SK in eine SE-Pilotanlage (Fertigstellung in 04.2023 gestoppt, Insolvenz in 09.2023), dort Herstellung eines **SE-Mischkarbonats** (zu Beginn 1 kt SEO-Inhalt/J., aus der Tardiff Zone später mit 5 kt SEO-Inhalt/J.), Transport des Mischkarbonats a) nach Norwegen in eine Pilotanlage der REETec AS und dort Weiterverarbeitung zu **separierten SE-Produkten** (und Vertrieb dieser an die Schaeffler AG) sowie b) Verkauf an Ucore Rare Metals Inc. zur Weiterverarbeitung in deren Strategic Metals Complex ebenfalls zu **separierten SE-Produkten**.

Infrastruktur am Vorkommen

keine Infrastruktur außer Frischwasser, ca. 100 km (per Flugzeug) südöstlich von Yellowknife (ca. 20.000 Einw.), ca. 160 km (per Schiff/Flugzeug) nach Pine Point (< 10 Einw., 12 km südlich des Great Slave Lake, von dort 90 Straßenkilometer nach Hay River), ca. 220 km (per Schiff/Flugzeug) nach Hay River (3.200 Einw.)

Klima

subarktisch (\emptyset +16 °C im Juli bis \emptyset -26 °C im Januar), kurze kühle Sommer, lange kalte Winter, ständiger, oft böiger Wind, \emptyset Schneehöhen im Winter 31 – 67 cm

Länderrisiko

sehr niedrig

Aufwand für die Gewinnung

Untertage: sehr hoch mit Störungen im Erzhorizont, Erwärmung der Stollen/des Gesteins notwendig

Übertage: gering, nur im Sommer möglich

Aufwand für die Aufbereitung

hoch, Ausbringen 79,5 % der Wertstoffe (Ausbringen T-Zone 80 – 87 % der SEO)

Aufwand für die Separation

hoch, Ausbringen 93,0 % der Wertstoffe (Ausbringen T-Zone 93 – 97 % der SEO)

Gesamtausbringen 73,9 % der Wertstoffe

Radioaktivität des Erzes

Basal Zone: 139 ppm ThO₂, 28 ppm U₃O₈

Größe des Vorkommens

Basal Zone: Reserven (cut-off grade 1 % SEO): 14,6 Mio. t Erz @ 1,70 % SEO (248 kt SEO-Inhalt) (17 % schwere SEO), Ressourcen: 66,7 Mio. t Erz @ 1,57 % SEO (1.047 kt SEO-Inhalt) (22 % schwere SEO)

Tardiff Zone: Ressourcen (cut-off grade 1,0 % SEO): 119,0 Mio. t Erz @ 1,40 % SEO (1.666 kt SEO-Inhalt)

North T-Zone: Ressourcen: 105 kt Erz @ 8,9 % LSEO (9,3 kt SEO-Inhalt), davon 74,1 kt Erz @ 10,1 % SEO (8,0 kt SEO-Inhalt) im geplanten Tagebau, davon ca. 58 kt Erz in 2021 abgebaut (Verkauf der Erzhalde an Shenghe Resources angekündigt)

begleitende Wertminerale

ZrO₂, Nb₂O₅, Ta₂O₅

Art der SE-Mineralisation

Vererzungen von feinkörnigem Bastnäsit, Parisit, untergeordnet auch Monazit, Allanit, Fergusonit und Xenotim in geschichtetem Syenit

Projektstand

Pre-Feasibility Study:
2010

Feasibility Study:
2013, Aktualisierung für 2025 geplant

Verkauf der Upper Zone:

10.2019 für 5,0 Mio. C\$ an Cheetah Resources Pty Ltd.

Abbaulizenz North T-Zone:

05.2020

Off-Take Agreement T-Zone:

10.2021 mit ReeTEC AS, Norwegen, über SE-Mischkarbonat @ 2.000 t SEO-Inhalt (@ max. 25 % CeO₂), 2022 MoU mit Ucore Rare Metals, Alaska, über SE-Mischkarbonat @ 500 t SEO-Inhalt (inkl. CeO₂)

Beteiligung:

10.2023 9,9 % an Vital Metals für 9,34 Mio. US\$ durch Shenghe Resources

Abbaubeginn North T-Zone:

06.2021

Abbaubeginn Tardiff Zone:

offen

Produktionsbeginn Basal Zone:

2026 (finanzierungsabhängig)

Investitionskosten Basal Zone (Stand 2013)

Kapitalkosten: 729 Mio. C\$ für Gewinnung und Aufbereitung, 346 Mio. C\$ für Separation, 423 Mio. C\$ für Raffination

Betriebskosten: 265 Mio. C\$/J.

Investitionskosten North T-Zone (Stand 2020)

Kapitalkosten: 15 Mio. C\$ für Gewinnung und Aufbereitung, 5,1 Mio. C\$ für Separation

Anmerkungen

Basal Zone: hohe Kosten für Gewinnung untertage; hohe Zusatzkosten für Störungen im Erzhorizont untertage möglich; sehr hohe Energiekosten für Bewetterung/Heizung untertage; hohe Abhängigkeit des Projekts von fossilen Energierohstoffen; sehr hohe Kosten für den Transport des Konzentrats über den Great Slave Lake mit der Notwendigkeit der Beschaffung eigener Schuttenverbände.



Name	Ngualla
Land	Tansania
Region	Songwe
Lizenzinhaber	Mamba Minerals Corporation Ltd. Peak Rare Earths Ltd., Perth, WA, Australien (84 %) (50 % Shenghe Resources) Government of Tanzania (16 %)

Konzept

Gewinnung (Ø 2.152 kt Gestein/J. mit Ø 787 kt Erz/J.) in einem Tagebau (Abraum-Erz-Verhältnis 1,77 : 1) von 500 m x 1.000 m Durchmesser über initial 24 Jahre (LOM), Aufbereitung des Erzanteils mittels Mahlen (Ø 795 kt/J.) und danach Flotation zur Abtrennung des Baryts, danach weiteres Aufmahlen und weitere Flotation zur Abtrennung eines **Bastnäsitkonzentrats** (@ 45 % SEO) (Ø 37.200 t/J. @ 16.200 t SEO-Inhalt/J.), Transport des Bastnäsitkonzentrats in Big Bags über 1.050 km per Lkw (Option: ab Mbeya per Bahn) zum Hafen von Dar es Salaam und von dort Export in Containern nach China, Überlegungen zur Produktion eines SE-Mischkarbonats vor Ort oder in Teesside/UK.

Infrastruktur am Vorkommen

keine Infrastruktur, 4,5 km nördlich Ngwala (5.600 Einw.), 147 km nördlich von Mbeya (650.000 Einw.), von dort 820 km nach Dar es Salaam per Straße bzw. Zug

Klima

subtropisch, ausgeprägte Regenzeit zwischen Dezember und April, ausgeglichene Jahresdurchschnittstemperaturen zwischen 20 und 27 °C

Länderrisiko

mäßig

Aufwand für die Gewinnung

gering durch Tagebau in stark verwittertem Festgestein

Aufwand für die Aufbereitung

erhöht durch notwendige Vorabtrennung von Baryt, Ausbringen 42,7 % SEO

Aufwand für die Separation

entfällt derzeit

Radioaktivität des Erzes

18 ppm U_3O_8 , 60 ppm ThO_2

Größe des Vorkommens

Ressourcen (cut-off grade 1 % SEO): 214,4 Mio. t Erz @ 2,15 % SEO (4,61 Mio. t SEO-Inhalt), 3 % mittelschwere und schwere SEO

Reserven: 18,5 Mio. t Erz @ 4,80 % SEO (887 kt SEO-Inhalt)

begleitende Wertminerale

Nb, Vermiculit, CaF_2 , $BaSO_4$, P_2O_5 (noch nicht bewertet)

Art der SE-Mineralisation

bis in 140 m Tiefe verwitterter Fe-dolomitischer Karbonatit mit Bastnäsit als Haupt-SE-Mineral

Projektstand

Feasibility Study:
2017, 2022

Finanzbeteiligung:
2022: 39 Mio. AU\$ durch Shenghe Resources (19,9 % Anteil)

2024: 96 Mio. AU\$ durch Shenghe Resources (50,0 % Anteil an Peak Rare Earth Ltd.)

Abnahmevertrag:

2023 mit Shenghe Resources (Singapore) Pte Ltd. zur Abnahme von 100 % der Produktion der ersten sieben Jahre

Abbaulizenz:
2023

Produktionsbeginn (Plan):
2026

Investitionskosten (Stand 2022)

Kapitalkosten: 321 Mio. US\$

Produktionskosten: 93 Mio. US\$/J.

Anmerkungen

hohe Transportaufwendungen durch sehr schlechte Straßen/Infrastruktur (ca. 2.000 Lkw-Konzentrattransporte nach Dar es Salaam/J.).



Name	Nolans
Land	Australien
Staat	Northern Territory
Lizenzinhaber	Arufura Rare Earths Ltd., Perth, WA, Australien

Konzept

Erzgewinnung (3,2 Mio. t/J., ab 10. Jahr bis 11,2 Mio. t/J.) der mittel bis steil einfallenden Gänge (0,3 – 75 m Mächtigkeit) und Brekzien in einem Tagebau bis 190 m Tiefe (Abraum-Erz-Verhältnis 5 : 1) über 38 Jahre (LOM), Aufbereitung des Erzes mittels Waschen, Sieben und Sortieren (bis 1 Mio. t/J.), Aufhaltung der Rückstände vor Ort, danach Mahlen, Magnettrennung und Flotation des Erzkonzentrats in einer Anlage in 8,5 km Entfernung (bis 340 kt/J.), Einspülen der Rückstände in einen Schlammteich, in einer hydrometallurgischen Anlage vor Ort Produktion von $(\text{NdPr})_2\text{O}_3$ (4.440 t/J.), **gemischten mittel-schweren/schweren SEO** (474 t/J.), Ce-Hydroxid (unverkäuflich) (sowie 54%iger Phosphorsäure (144.393 t/J.)), Export der Produkte per Bahn ab Alice Springs über Darwin; Aufbereitung der mittelschweren/schweren SEO in der SRC Rare Earth Processing Facility in Saskatchewan (Kanada) geplant.

Infrastruktur am Vorkommen

keine Infrastruktur, 135 km nördlich Alice Springs (29.000 Einw.), 1.500 km südlich Darwin (122.000 Einw.), 10 km vom Stuart Highway, 65 km von Darwin–Adelaide Eisenbahnlinie, wenige Kilometer von Amadeus Basin–Darwin Gasleitung, 25 km nördlich designiertes Grundwasservorkommen

Klima

semiarid, bis durchschnittlich 36 °C im Januar, häufig > 45 °C

Länderrisiko

sehr niedrig

Aufwand für die Gewinnung

mittel, Festgesteinstagebau

Aufwand für die Aufbereitung und Separation

hoch durch hohen Säureverbrauch, total recovery 69,7 % SEO über LOM

Radioaktivität des Erzes

200 ppm U_3O_8 , 2.700 ppm ThO_2

Größe des Vorkommens

Ressourcen (cut-off grade 1,0 % SEO): 56 Mio. t Erz @ 2,6 % SEO (1.456 kt SEO-Inhalt)

Reserven: 29,5 Mio. t Erz @ 2,9 % SEO (856 kt SEO-Inhalt)

begleitende Wertminerale

U, Th, P_2O_5 (Produktion von 54%iger Phosphorsäure geplant, frühere Planungen zur Produktion von U_3O_8 und CaCl_2 fallengelassen)

Art der SE-Mineralisation

v. a. Monazit und Allanit, als feinkörnige Einschlüsse im Fluorapatit und eingebaut in dessen Kristallgitter

Projektstand

Pre-Fesaibility Study:
2007 (nicht publiziert)

Feasibility Study:
02.2019

Finanzierung:
2017: 200 Mio. AU\$ Darlehen durch Export Finance Australia

2022: 30 Mio. AU\$ durch Federal Government Modern Manufacturing Initiative

2023: 600 Mio. US\$ Darlehen durch Euler Hermes

2023: 75 Mio. US\$ Darlehen durch KoreaEXIM Bank

2023 mit Siemens Gamesa Renewable Energy mit 520 t Nd/PrO₃.

2023: 150 Mio. AU\$ Darlehen durch Northern Australia Infrastructure Facility (NAIF)

Abbaulizenz:
11.2022

2024: 333 Mio. US\$ Darlehen durch Critical Minerals Facility (CMF)/Northern Australia Infrastructure Facility (NAIF)

Produktionsbeginn (Plan):
Ende 2026 (finanzierungsabhängig)

2024: 200 Mio. US\$ Darlehen durch Export Finance Australia

Investitionskosten (Stand 2023)
Kapitalkosten: 1.680 Mio. AU\$

2024: 300 Mio. US\$ Darlehen durch Export Development Canada

Betriebskosten: 273 Mio. AU\$/J.

2024: 223 Mio. AU\$ Darlehen durch Export-Import Bank of Korea (KEXIM)

Anmerkungen

deutliche Abweichungen in LOM, Mengen, Produkten und Kosten zwischen den Ergebnissen der Feasibility Study 2019 und der aktuellen Planung; sehr hohe Radioaktivität des Erzes (Th), die vom Lizenzinhaber nicht hervorgehoben wird; früheres MoU mit ThyssenKrupp Metallurgical Products GmbH.

2024: 115 Mio. US\$ Darlehen durch Euler Hermes

Abnahmevertrag (verbindlich):
2022 mit Hyundai Motor Company/Kia mit 1.500 t Nd/PrO₃.



Name	Phaxay
Land	Laos
Provinz	Xieng Khouang
Lizenzinhaber	China Investment Mining (Laos) Sole Co., Ltd. (86 %) 90 % CHIXIA Laos Holdings Ltd. (51 % Chifeng Jilong Gold Mining Co., Ltd./49 % Xiamen Tungsten Co., Ltd.)

Geschichte/Konzept

Details nicht bekannt: 03.2024 Übernahme von 90 % der Explorationsfirma „China Investment Mining Laos Sole“ für umgerechnet 19 Mio. US\$ durch Chixia Laos Holding; 05.2024: geplanter Produktionsbeginn (vermutlich von SE-Mischkarbonaten mit 3.675 t SEO-Inhalt/J.), Export der Produkte über den Grenzübergang Mengkang nach China.

Infrastruktur am Vorkommen

Details nicht bekannt: nahe der Bezirkshauptstadt Phonsavan (ca. 50.000 Einw.) im Phaxay Distrikt

Klima

subtropisch-feucht mit Monatsdurchschnittstemperaturen zwischen 8 °C (Dezember, nachts) und 29 °C (April, tagsüber) sowie ausgeprägter Regenzeit zwischen April und Ende September

Länderrisiko

hoch

Aufwand für die Gewinnung

entfällt, da in-situ-Laugung von Ionenadsorptionstonen

Aufwand für die Aufbereitung

sehr gering, da in-situ-Laugung von Ionenadsorptionstonen

Aufwand für die Separation

nicht bekannt

Radioaktivität des Erzes

sehr gering

Größe des Vorkommens

Ressourcen: @ 0,047 % SEO (100 kt SEO-Inhalt) (45 % mittelschwere/schwere SEO) auf 50 km² Fläche

Reserven: 101,46 Mio. t Erz @ 0,025 % SEO (25,5 kt SEO-Inhalt) auf 8 km² Fläche

begleitende Wertminerale

keine

Art der SE-Mineralisation

Ionenadsorptionstone auf 50 km² Fläche bei Ø 9,1 m Mächtigkeit

Projektstand

geplanter Produktionsbeginn Mitte 2024

Investitionskosten

nicht bekannt

Anmerkungen

Die Gesamtressourcen an SEO in Laos, v. a. in den Provinzen Xieng Khouang und Houaphan im Grenzgebiet zu China, werden nach Lü et al. (2022) auf 600 kt SEO-Inhalt, davon 40 – 50 % mittelschwere/schwere SEO ausschließlich in Ionenadsorptionstonen (@ 0,01 – 0,176 % SEO, Ø 0,04 – 0,07 % SEO) über verwitterten Graniten geschätzt; bisher wurden 18 Explorationslizenzen an 18 verschiedene Unternehmen vergeben. Dem Laos Department of Geology and Minerals (DGM) waren im August 2022 elf Unternehmen bekannt, die in verschiedenen Provinzen (Xieng Khouang und Houaphan, untergeordnet auch Salavan, Sekong und Xaisomboun) teils auf Flächen bis 200 km² in der Exploration aus SE aktiv waren (frdl. schriftl. Mitt.).

Die drei Unternehmen:

- BSL Sengsawang Sole & Kuang Jirvin Industry and Trade Co. Ltd. (Xieng Khouang)
- LMD & Tang Lizeng Industry Development Co., Ltd. (Xieng Kkhouang)
- Phadeng Huanghueng & Beijing Platinum World Technology (Houaphanh)

hatten auf Flächen von jeweils 500–600 ha bereits mit der testweisen Förderung begonnen.

Literatur

LÜ, L., WANG, S., ZU, B., LIU, J. & ZHANG, G. (2022): Rare earth resources in Laos: Characteristics and the prospects for exploration and development (in Chinesisch). – Bulletin of Geological Science and Technology, 41, 3: 20–31; 8 Abb., 3 Tab.; Wuhan, China. – URL: <https://dzkjqb.cug.edu.cn/en/article/doi/10.19509/j.cnki.dzkq.2022.0087> [Stand: 20.10.2024].



Name	Strange Lake B
Land	Kanada
Provinz	Quebec
Lizenzinhaber	Tornгат Metals Ltd., Montreal, QC, Kanada (2018 umbenannt von Quest Rare Minerals Ltd.)

Konzept

Maximale Erzgewinnung (9,0 – 13,0 Mio. t/J.) in einem bis 59 ha großen Tagebau (bis 1,75 km Länge, 1,0 km Breite, 400 m Tiefe) (Abraum-Erz-Verhältnis 0,23 : 1) über 30 J. (LOM), Herstellung eines Mineralkonzentrats (150 – 300 kt/J. @ 8 – 12 % SEO, 1.528 – 8.010 ppm Th, 280 – 1.563 ppm U) durch Brechen, XRF-Vorsortierung des groben Brechgutes > 10 mm, Nassaufmahlung des feinen Brechgutes < 10 mm auf 200 µm, Nassmagnetische Separation, Feinaufmahlung, Flotation und Filtration zuerst des hochgradigen Erzes (2,5 – 3,0 Mio. t/J. über 18 J.) und danach des aufgehaldeten niedriggradigeren Erzes (5,0 – 7,0 Mio. t/J. über 12 J.), Aufhaltung der trockenen sowie der getrockneten und zementierten, ehemals nassen Rückstände vor Ort, Transport des Konzentrats in speziellen Big Bags per Lkw (90 t/Lkw) über eine 168 km lange, 6 – 8 m breite, einspurige Piste (befahrbar über vier Monate im Winter, Überquerung von 273 Fließgewässern, darunter drei großen Flüssen) nach Anaktalak Bay, Labrador (Standort des Ni-Cu-Bergwerks Voisey's Bay von Vale), dort Verpackung in Container und im Sommer (Juni – Oktober) per Schiff (5 – 10 x pro Jahr) Weitertransport zu einer SE-Separationsanlage im Industriehafengebiet von Sept-Îles, Quebec, dort bei einer Verarbeitungskapazität von 350 kt Konzentrat/J. Produktion von 14 kt **SE-Mischoxiden/J.** sowie 2,8 – 5,5 kt **separierten SEO/J.**

Infrastruktur am Vorkommen

keine Infrastruktur außer Frischwasser aus Lac Brisson in 1,5 km Entfernung, 235 km nordöstlich von Schefferville (200 Einw., Eisenbahn, Flughafen, Hydroenergie), 156 km westlich Nain/Neufundland (1.000 Einw., Nordatlantikküste, 26 km nordöstlich Anaktalak Bay), 260 km nördlich eines Wasserkraftwerks

Klima

subarktisch (bis –45 °C im Januar), kurze kühle Sommer, lange kalte und schneereiche Winter, ständiger, oft böiger Wind, zwei Drittel des Jahres schneebedeckt, bis 350 cm Schneefall/J.

Länderrisiko

sehr niedrig

Aufwand für die Gewinnung

hoch, Festgesteinstagebau in diskontinuierlichem Permafrost und subarktischem Klima

Aufwand für die Aufbereitung

erhöht durch komplexe Mineralisation

Aufwand für die Separation

hoch, aufgrund komplexer SE-Mineralogie, Ausbringen 85 – 91 % SEO

Radioaktivität des Erzes

305 ppm ThO₂, 60 ppm U₃O₈

Größe des Vorkommens

Ressourcen (cut-off grade 0,50 % SEO): 278,1 Mio. t Erz @ 0,93 % SEO (2.586 kt SEO-Inhalt) (39 % schwere SEO)

begleitende Wertminerale

ZrO₂, HfO₂, Nb₂O₅

Art der SE-Mineralisation

feinkörnige seltene SE-Mineralie (Gerenit, Gittinsit, Gadolinit, Kainosit), zudem Allanit, Thorit, Monazit und Bastnäsit in peralkalinen Apliten sowie Pegmatiten

Projektstand

Pre-Feasibility Study:
2012, 2024 (Plan)

Teilfinanzierung:

11.2022 Cerberus Capital Management L.P.
(50 Mio. US\$ für Feasibility Studien)

Abbaubeginn:

2027 (Plan)

Investitionskosten

PEA (2014): Kapitalkosten 1,321 Mio. US\$ für Gewinnung und Aufbereitung

Anmerkungen

CEO von Torngat Metals ist Dr. Dirk Naumann, Göttingen; Energiegewinnung durch Dieselgeneratoren = hohe Abhängigkeit des Projekts von fossilen Energierohstoffen sowie Windkraftanlagen geplant; ständige Tagebauwasserhaltung notwendig; Lage in und Transport der Produkte/Betriebsstoffe durch zahlreiche Inuit-Lebensräume; Gebiet diskontinuierlichen Permafrosts.



Name	Toliara
Land	Madagaskar
Lizenzinhaber	Base Resources Ltd., West Perth, WA, Australien Energy Fuels, Inc., USA

Konzept

Trockenabbau von Schwermineralsanden (Ø 23,9 Mio. t/J.) aus der Toliara-Teillagerstätte des Ranobe Schwermineralvorkommens über 38 Jahre, Aufbereitung der Sande in einer Trocken- und einer Nassanlage vor Ort, Produktion verschiedener Ilmenit-, Rutil-, Zirkon- und eines **Monazitkonzentrats** @ 90 % Monazit (1. Phase 17.400 t/J., 2. Phase 26.100 t/J.), Transport in Containern über 45 km neu zu bauende Straße zum Hafen von Toliara, Verladung über einen neu zu bauenden Pier und Verschiffung zu den weltweiten Kunden bzw. des Monazitkonzentrats zur White Mesa Mill von Energy Fuels Inc. in Utah/USA (Verarbeitungskapazität: 720 kt Monazitkonzentrat/J.; eigene Weiterverarbeitung der dort bisher produzierten SE-Mischkarbonate zu separierten SEO ab 2025/26 angedacht).

Infrastruktur am Vorkommen

keine nutzbare Infrastruktur, im Inland, 45 km nördlich der Hafenstadt Toliara (170.000 Einw.)

Klima

heiß, gemäßigt humid

Länderrisiko

hoch

Aufwand für die Aufbereitung

gering, Standardverfahren, Ausbringen 78,3 % des Monazits

Radioaktivität des Monazits

3.190 ppm U (3.762 ppm U₃O₈), 8,88 % Th (10,1 % ThO₂)

Größe des Vorkommens

Ressourcen (measured/indicated): 1.390 Mio. t Erzsand @ 5,1 % Schwerminerale @ 1,9 % Monazit (@ 59 % SEO) (1,35 Mio. t Monazit; 795.000 t SEO-Inhalt)

Reserven: 904 Mio. t Erzsand @ 6,1 % Schwerminerale

begleitende Wertminerale

Zirkon, Ilmenit, Rutil, Leukoxen

Art der SE-Mineralisation

Seifenmonazit

Projektstand

Feasibility Study:

2021, Monazit-Update in 12.2023

Finanzbeteiligung:

04.2024: Übernahme durch Energy Fuels Inc.

Produktionsbeginn:

geplant Ende 2027

Investitionskosten über LOM

(Stand 2021/2023)

Kapitalkosten: 728 Mio. US\$

Betriebskosten 104 Mio. US\$/J.

Anmerkungen

große Projekterfahrung des Lizenzinhabers durch vorangegangenen Schwermineral-Abbau in Kenia; keinerlei nutzbare Infrastruktur im und zum Abbaugbiet; MoU in 12.2024 mit der Regierung von Madagaskar



Name	Tomtor (Buranny)
Land	Russische Föderation
Republik	Sacha, Region Oleneksky
Lizenzinhaber	OOO Vostok Engineering (OOO ThreeArc Mining), Russische Föderation

Konzept

Erzgewinnung in einem Tagebau im Teilfeld Buranny (1,5 km²) des Tomtor Polymetallvorkommens (250 km²) in zwei Abbauschritten über insgesamt 41 Jahre, Aufbereitung des Erzes mittels Vorseparation, Mahlen und Flotation vor Ort, Transport des Konzentrats im Winter über Eisstraßen und weiter im Sommer über verschiedene Flüsse und Ozeane sowie Schienenwege zu einer noch zu errichtenden Aufbereitungsanlage vorzugsweise in Krasnokamensk (Region Transbaikalien, 5.050 km/Seeroute: 10.680 km), dort Aufbereitung (160 kt/J.) zu SE-Mischkarbonaten sowie weiter zu **CeO₂** (6.625 t/J.), **La₂O₃** (3.571 t/J.), **(NdPr)₂O₃** (2.614 t/J.) sowie **schweren SE-Mischkarbonaten** (1.844 t/J.) sowie 561 t Sc/J. + 4.520 t FeNb/J.

Infrastruktur am Vorkommen

keine Infrastruktur, nächstgelegenes Dorf Tomtor (1.200 Einw.), 400 km südlich der Küste des arktischen Ozeans (Laptev-See), 350 km vom nächstgelegenen Hafen bei Yuryung-Khaya

Klima

hocharktisch-arid, Dauerfrost September – Mai, Jahresdurchschnittstemperatur -16 °C, Kältepol (niedrigste Temperatur aller bewohnten Gebiete der Erde bis -70 °C)

Länderrisiko

sehr hoch

Aufwand für die Gewinnung

hoch, selektiver Festgesteinstagebau im hocharktischen Klima

Aufwand für die Aufbereitung

hoch, aufgrund kryptokristalliner Mineralisation, Ausbringen 75 – 78 % der SEO

Aufwand für die Separation

vermutlich hoch

Radioaktivität des Erzes

181 ppm ThO₂, U-Gehalt nicht bekannt

mögliche weitere Sozial- und Umweltrisiken

indigenes Gebiet

Größe des Vorkommens

Tomtor: Ressourcen (vermutet): 154 Mio. t SEO-Inhalt

Buranny: Reserven (JORC): 11,4 Mio. t Erz @ 6,0 % Nb₂O₅ + 14,5 % SEO (1.653 kt SEO-Inhalt), zusätzliche Ressourcen: 1,5 Mio. t Erz @ 4,8 % Nb₂O₅ + 15,2 % SEO (228 kt SEO-Inhalt)

begleitende Wertelemente

Sc, Nb (Weiterverarbeitung zu FeNb) sowie Ti, V, Zr, P, Ba, Sr (Ausbringen derzeit nicht geplant)

Art der SE-Mineralisation

kryptokristalliner Monazit und Rhabdophan in 2 – 42 m mächtigen Verwitterungskrusten über Karbonatiten

Projektstand

Reservenberechnung:
April 2021

Feasibility Study:
ausstehend

Abbaubeginn:
2027/2028 (derzeitiger Plan)

Investitionskosten

Aufbereitung: 560 Mio. US\$, gesamt: 1,8 Mrd. US\$ (Stand: 2023)

Anmerkungen

Entwicklung des Vorkommens seit ca. 2010 durch verschiedene Lizenzinhaber, bisher immer erfolglos, geplant.

Literatur

POTRAVNY, I., NOVOSELOV, A., NOVOSELOVA, I., CHÁVEZ FERREYRA, K. Y. & GASSIY, V. (2022): Route selection for minerals' transportation to ensure sustainability of the Arctic. – *Sustainability*, 14, 16039: 16 S., 3 Abb., 7 Tab. – URL: <https://doi.org/10.3390/su142316039> [Stand: 20.10.2024].



Name	Yangibana
Land	Australien
Staat	New South Wales
Lizenzinhaber	Hastings Technology Metals Ltd., Perth, WA, Australien

Konzept

Phase 1: Gewinnung (1,1 Mio./J.) in zahlreichen bis 125 m tiefen Tagebauen von mit bis zu 85° einfallenden, mineralisierten Eisensteinen mit 3,0 – 4,6 m (max. 20 m) wahrer Mächtigkeit in sechs Einzelvorkommen über (initial) 24,2 km ausstreichende Länge auf 650 km² Projektfläche über 17 Jahre (initial LOM), Aufbereitung des Erzes mittels Siebung, Waschen und Flotation vor Ort, Aufhaltung der Rückstände vor Ort.

Phase 2: Transport des Vorkonzentrats @ 27 % SEO (37 kt/J.) über 519 km zur Aufbereitungsanlage bei Onslow (Hafen), dort Separation zu **SEO-Mischkarbonaten** (@ 59 % SEO, 15 kt/J.) (8.850 t SEO-Inhalt/J.) sowie Export (angedacht u. a. zur SE-Aufbereitungsanlage der NPM Sillmet OÜ von Neo Performance Materials Inc. in Sillimäe/Estland).

Infrastruktur am Vorkommen

keine Infrastruktur (wird derzeit errichtet), auf dem „Farm“gelände von Gifford Creek Station, 250 km Luftlinie (400 Straßenkilometer) nord-östlich von Carnarvon, WA (4.400 Einw.), 29 km östlich der nicht-asphaltierten (?) Cobra Gifford Creek Road, GW-Spiegel in 45 m Tiefe

Klima

trocken-arid, Temperaturen im Januar bis +40,5 °C

Länderrisiko

sehr niedrig

Aufwand für die Gewinnung

vermutlich hoch, da Gewinnung in zahlreichen Tagebauen entlang 24 km Ausstrichlänge

Aufwand für die Aufbereitung

nicht bewertbar, Ausbringen Sortierung: 96,0 % SEO, Ausbringen Aufbereitung: 87,6 % SEO

Aufwand für die Separation

Lizenzinhaber: „simple and effective“

Gesamtausbringen 86,3 % SEO

Radioaktivität des Erzes

300 ppm U₃O₈, 600 ppm ThO₂

Größe des Vorkommens

Ressourcen (Summe der sechs Einzelvorkommen Bald Hill, Fraser's, Simons Find, Auer, Yangibana, Yangibana North): 29,93 Mio. t Erz @ 0,93 % SEO (276.955 t SEO-Inhalt), Reserven: 20,93 Mio. t Erz @ 0,90 % SEO (188.135 t SEO-Inhalt) (cut-off grade 0,20 % SEO)

Ressourcen (Summe der vier potenziellen Erweiterungsvorkommen Gossan, Lion's Ear, Hook, Kane's Gossan): 1,82 Mio. t Erz @ 1,39 % SEO (24.814 t SEO-Inhalt)

begleitende Wertminerale

keine

Art der SE-Mineralisation

weit vorwiegend Monazit wechselnder SEO-Verteilung in Eisensteinen

Projektstand

Feasibility Study:
2017, 2021

Optimierungsstudie:
02.2022

Finanzbeteiligung:

06.2023 durch Neo Performance Materials Inc. (19,9 % Anteil)

07.2024 durch Jinli Magnet Green Technology (Hong Kong) (9,8 % Anteil).

Finanzierung:

2023: 220 Mio. AU\$ Darlehen durch Northern Australia Infrastructure Facility

2023: 100 Mio. AU\$ Darlehen durch Export Finance Australia

Abnahmeverträge:

2019: Schaeffler Technologies AG (noch zu definierende Menge an SE-Mischkarbonat)

2021: thyssenkrupp Materials Trading GmbH (Jahre 1 – 5: 9.000 t SE-Mischkarbonat/J., Jahre 5 – 10: 5.000 t SE-Mischkarbonat/J.)

2023: Solvay (2,5 kt SE-Mischkarbonat/J. zur Versorgung der Aufbereitungsanlage in LaRoche/Frankreich)

2024: Baotou Sky Rock Rare Earth New Material Co., Ltd (10 kt SE-Mineralkonzentrat/J.) über sieben Jahre

Produktionsbeginn (Plan):
H1 2026 (finanzierungsabhängig)

Investitionskosten (Stand 2022)

Kapitalkosten: 470 Mio. AU\$, davon Infrastruktur: 126 Mio. AU\$, Aufbereitung: 210 Mio. AU\$

Anmerkungen

Projekt weit abseits jeglicher Infrastruktur



Name	Zandkopsdrift
Land	Republik Südafrika
Provinz	Northern Cape
Lizenzinhaber	Sedex Minerals (Pty) Ltd., Cape Town, Rep. South Africa Frontier Rare Earths Ltd., Luxemburg (65,1 %) BEE Partner (26 %) Korea Mine Rehabilitation and Mineral Resources Corporation (8,9 %)

Konzept

Erzgewinnung (Ø 1,5 Mio. t/J @ Ø 1,9 % SEO + 4,7 % MnO) in einem Tagebau (Abraum-Erz-Verhältnis 0,56 : 1) (LOM 45,5J.) bis ca. 100 m Tiefe, Aufbereitung des Erzes (Phase 1: Ø 500 kt/J., Phase 2: Ø 1 Mio. t/J.) mittels Brechen und Mahlen vor Ort, Aufhaltung der Rückstände vor Ort, komplexe hydrometallurgische Aufbereitung des Erzkonzentrats zu einem **gemischten SE-Hydroxid** (Ø 15 kt/J.) und MnSO₄ (Ø 100 kt/J.) vor Ort (derzeitiger Plan), Transport der Produkte nach Saldanha Bay, von dort Export.

Infrastruktur am Vorkommen

keine Infrastruktur, 20 km Schotterpiste zur nächstgelegenen Straße N7, 35 km zur nächstgelegenen Eisenbahnlinie, 36 km südlich der nächstgelegenen Ortschaft Garies (2.100 Einw.), 320 Straßenkilometer nördlich des Tiefseehafens Saldanha Bay, 450 Straßenkilometer nördlich Kapstadt, 100 km südlich Deponie für radioaktive Abfälle Vaalputs

Klima

Arid: warm, trocken und klar im Sommer (Oktober – April), selten über 36 °C; kühl, trocken und windig im Winter (Mai – September); sehr geringer Niederschlag (72 mm/J.)

Länderrisiko

mäßig

Aufwand für die Gewinnung

mittel, Lockergesteinstagebau

Aufwand für die Aufbereitung

gering, Standardverfahren

Aufwand für die Separation

im frischen Karbonatit hoch durch hohen Säurebedarf

Gesamtausbringen 71 % SEO

Radioaktivität des Erzes

60 – 70 ppm U₃O₈, 215 – 235 ppm ThO₂

Größe des Vorkommens

Ressourcen (cut-off grade 1,0 % SEO): 42,48 Mio. t Erz @ 2,23 % SEO (948 kt SEO-Inhalt)

Reserven (cut-off grade 1,0 % SEO): 41,12 Mio. t Erz @ 1,92 % SEO (789 kt SEO-Inhalt)

begleitende Wertminerale

MnO

Art der SE-Mineralisation

mit feinkörnigen, oft verwachsenen SE-Mineralen (zu 97 % Monazit) angereicherte karbonatitische Phlogopit-Brekzie (Karbonatitschlot von ca. 1 km Durchmesser, 40 m Höhe über Umgebung, ca. 80 – 100 m Verwitterungstiefe, an der Oberfläche an Eisen- und Manganoxiden angereichert), die von SE-mineralisierten Gängen durchschlagen ist.

Projektstand

Pre-Feasibility Study:
2015, 2022

Feasibility Study:
2023 – 2025

Finanzbeteiligung:

2012: 23,8 Mio. AU\$ durch Korea Mine Rehabilitation and Mineral Resources Corporation (KOMIR) (derzeit 8,9 % Anteil)

Abbaulizenz:

2016

Produktionsbeginn (Plan):

H1 2028 (finanzierungsabhängig)

Investitionskosten (Stand 2022)

Kapitalkosten: 491 Mio. US\$, Abbau: 16 Mio. US\$

Aufbereitung: 475 Mio. US\$

Anmerkungen

Grundbesitz im Eigentum des Lizenzinhabers; intensive Exploration; starke Zonierung des Vorkommens mit unterschiedlichen physikalisch-metallurgischen Anforderungen an Aufbereitung und Separation; Eigenversorgung mit grüner Energie geplant; Wasserversorgung aus Meerwasserentsalzungsanlage.

III. Auflistung weiterer SE-Projekte mit publizierten Ressourcen

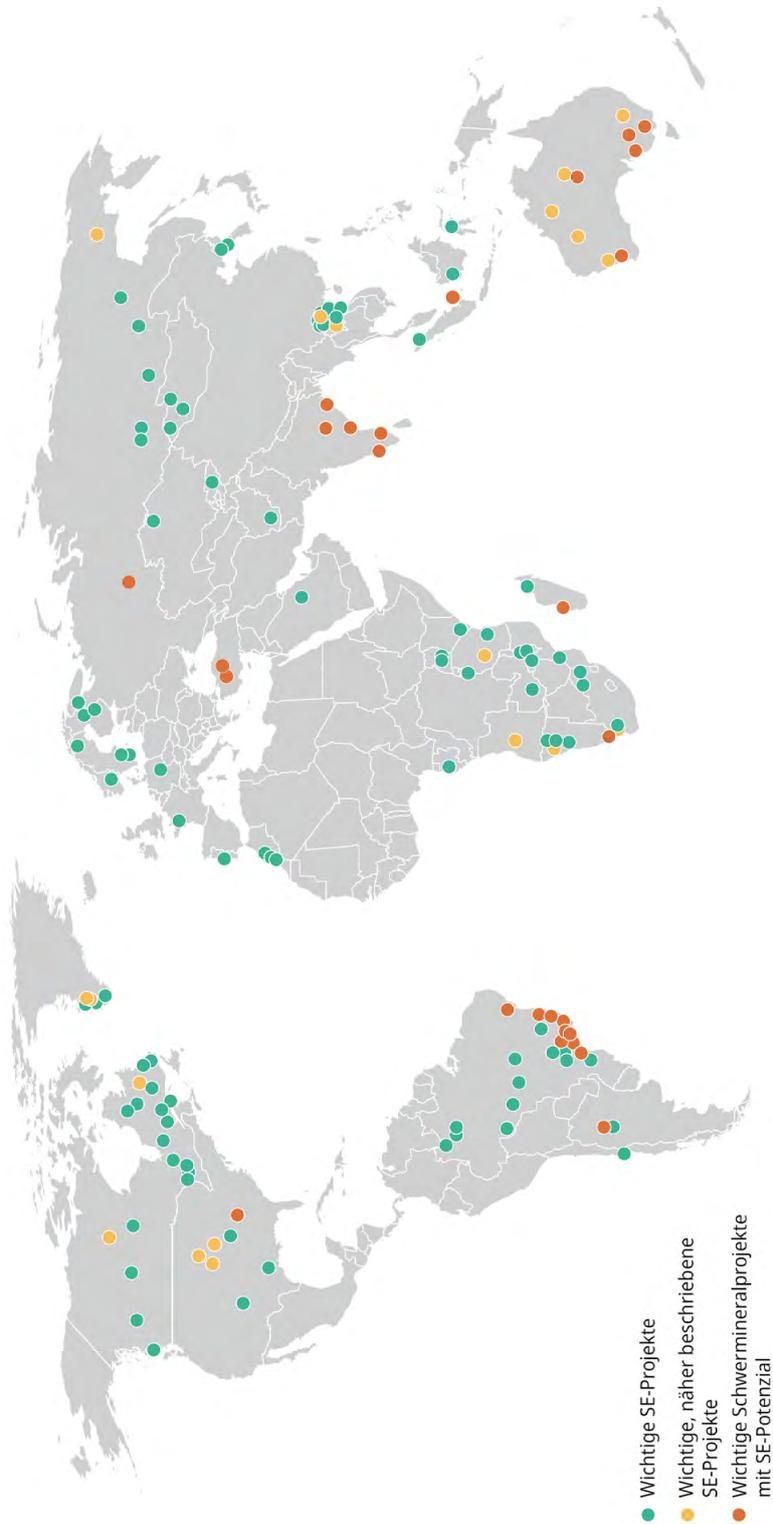


Abb. 32: Karte der weltweiten Standorte von SE-Bergbauprojekten.



Name	verschiedene
Kontinent	Afrika
Länder	verschiedene (s. Tab. 31)
Lizenzinhaber	verschiedene (s. Tab. 31)

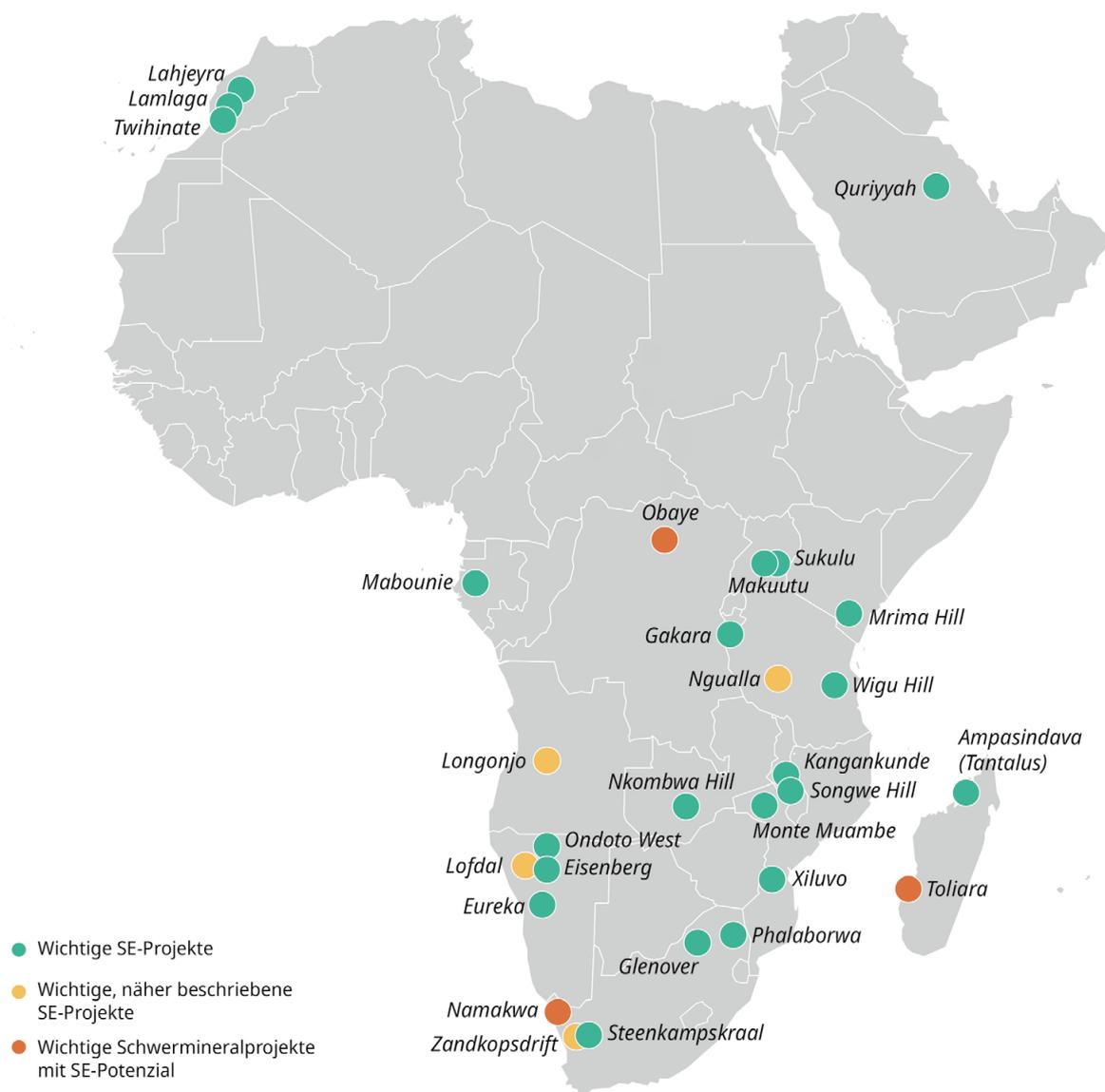


Abb. 33: Karte der Standorte von SE-Bergbauprojekten in Afrika.

Tab. 31: Wichtige Projekte mit SEO-Potenzial in Afrika, soweit dazu derzeit Vorratsangaben vorliegen (Quelle: Firmenberichte und staatliche Angaben) (HM = heavy minerals, Il = Ilmenit, Lx = Leukoxen, Mo = Monazit, Rt = Rutil, Xe = Xenotim, Zr = Zirkon).

Name	Land	Lizenzinhaber	Typ/Wertminerale	Ressourcen
Mrima Hill ¹⁾	Kenia	ohne ²⁾	Karbonatit/ Nb ₂ O ₅ , SEO	159,4 Mio. t Erz @ 3,85 % SEO (6,1 Mio. t SEO)
Kangan- kunde	Malawi	Lindian Resources	Karbonatit/SEO	261 Mio. t Erz @ 2,19 % SEO (5,7 Mio. t SEO)
Eisenberg	Namibia	Broadmind Mining	Karbonatit/SEO	570 Mio. t Erz @ 0,9 % SEO (5,1 Mio. t SEO)
Twihinate	Marokko	ONHYM Maroc	Karbonatit/SEO, Nb ₂ O ₅ , Fe ₂ O ₃ , U ₃ O ₈	584,5 Mio. t Erz @ 0,7 % SEO (4,1 Mio. t SEO)
Lamlaga	Marokko	ONHYM Maroc	Eisensteine + Quarz- brekzien/SEO, Nb ₂ O ₅ , Fe ₂ O ₃	618 Mio. t Erz @ 0,64 % SEO (4,0 Mio. t SEO)
Lahjeyra	Marokko	ONHYM Maroc	Eisenstein- und Quarz- gänge/SEO, Nb ₂ O ₅ , Th	372 Mio. t Erz @ 0,68 % SEO (2,5 Mio. t SEO)
Mabounie	Gabun	ohne ³⁾	Karbonatit unter Laterit/ Nb ₂ O ₅ , P ₂ O ₅ , SEO	Erz @ 1 % SEO (2 Mio. t SEO)
Sukulu	Uganda	Guangzhou Dong Song Energy Group	Karbonatit/ Phosphat, Fe, Nb ₂ O ₅ , SEO	62,5 Mio. t Erz @ 1,4 % SEO (891 kt SEO)
Ampasinda- va (Tantalus)	Madagaskar	Harena Resources ⁴⁾	Regolith über Syeniten ⁵⁾	627,7 Mio. t Erz @ 0,0895 % SEO (562 kt SEO) ⁵⁾ (17 % schwere SEO)
Quriyyah (Ghurayyah)	Saudi- Arabien	ohne	Alkaligranit/ ZrO ₂ , Ta ₂ O ₅ , Nb ₂ O ₅ , SEO	400 Mio. t Erz @ 0,127 % Y ₂ O ₃ (508 kt Y ₂ O ₃)
Makuutu	Uganda	Rwenzori Rare Metals/Ionic Rare Earth	Regolith auf Sediment- gesteinen/SEO	617 Mio. t Erz @ 0,063 % SEO (389 kt SEO) ⁶⁾ Reserven: 172,9 Mio. t Erz @ 0,0848 % SEO (146 kt SEO)
Songwe Hill	Malawi	Mkango Resources	Karbonatit/SEO	27,5 Mio. t Erz @ 1,33 % SEO (366 kt SEO)
Glenover ⁷⁾	Republik Südafrika	galileo Resources	Karbonatit + Pyroxenit + Apatit-Brekzie + Halden/ P ₂ O ₅ , SEO, Nb ₂ O ₅ , Sc ₂ O ₃	28,9 Mio. t Erz @ 1,24 % SEO (359 kt SEO)
Monte Muambe	Mosambik	Altona Rare Earths	Karbonatit	13,6 Mio. t Erz @ 2,42 % SEO (329 kt SEO)
Nkombwa Hill	Sambia	Marula Mining	Karbonatit/P ₂ O ₅ , SEO, Nb, Ta	21,8 Mio. t Erz @ 1,17 % SEO (255 kt SEO)
Phalaborwa	Republik Südafrika	Rainbow Rare Earths	Phosphogipshalden/ SEO	35,1 Mio. t Halden- material @ 0,44 % SEO (154 kt SEO)

Name	Land	Lizenzinhaber	Typ/Wertminerale	Ressourcen
Steenkampskraal ^{8), 9)}	Republik Südafrika	Steenkampskraal Holdings	Monazitgang und Halden/SEO, Th	605 kt Erz @ 14,5 % SEO (87 kt SEO) Reserven: 800 kt Erz @ 8,68 % SEO (69 kt SEO)
Wigu Hill	Tansania	Vital Metals ¹⁰⁾	Karbonatitgänge/SEO	3,3 Mio. t Erz @ 2,6 % leichte SEO (86 kt SEO)
Xiluvo	Mosambik	Ohne	Karbonatit	1,1 Mio. t @ 2,05 % SEO (23 kt SEO)
Eureka	Namibia	E-Tech Resources	Karbonatitgänge	310 kt Erz @ 4,8 % SEO (15 kt SEO) (1 % schwere SEO)
Ondoto West	Namibia	Ondoto Mining	Karbonatitgänge	213 kt Erz @ 2,59 % SEO (5,5 kt SEO)
Gakara ¹¹⁾	Burundi	Rainbow Rare Earths	Karbonatitgänge und -brekzien/SEO	nicht berechnet bzw. publiziert
Obaye	Demokratische Republik Kongo	Kibara Minerals ¹²⁾	Monazit-Cassiterit-Seifen/SEO, SnO ₂	nicht berechnet, Schätzung: > 1 Mio. t Monazit
Namakwa ¹³⁾	Republik Südafrika	Tronox Holdings	Il, Zr, Rt, Lx, Mo, Xe	306 Mio. t Erzsand @ 6,3 % HM (= 19,3 Mio. t HM) @ Ø 0,23 % Mo (= 44 kt Mo) Halden @ 3,2 % Mo (ca. 75 kt Mo) Reserven: 666 Mio. t Erzsand @ 5,9 % HM (= 39,3 Mio. t HM) @ Ø 0,23 % Mo (= 90 kt Mo)

¹⁾ Lage in einem Naturschutzgebiet

²⁾ Ehemalige Lizenzinhaber haben Rechtsstreit mit der Regierung verloren, derzeit ohne Lizenz.

³⁾ Ehemaliger Lizenzinhaber Eramet hat Lizenz an die Regierung zurückgegeben.

⁴⁾ zahlreiche Eigentümerwechsel in der Vergangenheit

⁵⁾ Nach frdl. mdl. Auskunft eines leitenden Angestellten eines früheren Lizenzinhabers wurde das Vorkommen von einem chinesischen Ionenadsorptionston-Spezialisten geprüft und aufgrund seiner Tonmineralogie als nicht abbaubar bewertet.

⁶⁾ cut-off grade 200 ppm (0,0200 %) SEO, @ cut-off grade 500 ppm ca. 125 kt SEO-Inhalt

⁷⁾ Abbau auf Phosphat zwischen 1963 und 1984

⁸⁾ Abbau auf Monazit zwischen 1952 und 1963 durch Anglo American Corporation

⁹⁾ gilt mit Ø 2,14 – 2,88 % ThO₂ sowie Ø 400 – 597 ppm UO₂ (je nach Quelle) im Erz als das radioaktivste SE-Vorkommen der Erde

¹⁰⁾ Beteiligung Shenghe Resources 9,9 %

¹¹⁾ historischer Abbau sowie zwischen 2017 und 2021 (unter Verlusten), Vertrieb des produzierten SE-Mineralkonzentrats @ Ø 54 % SEO über ThyssenKrupp Metallurgical Products GmbH

¹²⁾ bis Ende 2024 Vertrieb über Auxico Resources Canada Inc.

¹³⁾ Ressourcen an Monazit nicht ausgewiesen, aber Gewinnung angedacht; Lage in einem Naturschutzgebiet

Literatur

AFRICAN DEVELOPMENT BANK GROUP (2021): Rare earth elements. Value chain analysis for mineral based industrialization in Africa. – 126 S., 33 Abb., zahlr. Fotos., 9 Tab.; Abidjan. – URL: https://www.afdb.org/sites/default/files/documents/publications/rare_earth_elements_ree.pdf [Stand: 20.10.2024].

BEKOE, D. A., BURCHARD, S., M., DEATHERAGE, S. N. & SINDLE, E.L. (2022): Rare Earth Elements in Namibia and South Africa: Considerations for U.S. Investment. – Institute for Defense Analyses, IDA Document NS D-33189: 19 S., 2 Abb., 4 Tab.;

Alexandria, VA. – URL: <https://apps.dtic.mil/sti/trecms/pdf/AD1207214.pdf>. [Stand: 20.10.2024].

HARMER, R. & NEX, P. A. M. (2016): Rare earths deposits in Africa. – Episodes, 39, 2: 318–406, 22 Abb., 6 Tab.; Peking. – URL: https://www.researchgate.net/publication/305918070_Rare_Earth_Deposits_of_Africa/link/581c3a2e-08aea429b2911937/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicHJldmlvdXNqYWdlIjoieX2RpcmVjdCJ9fQ [Stand: 20.10.2024].

Tab. 32: Relative SEO-Verteilung (in %) und absolute Gehalte von ThO₂ und U₃O₈ (in ppm) in afrikanischen SE-Lagerstätten, nach verschiedenen Quellen.

Lagerstätte/Land	La ₂ O ₃	CeO ₂	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Tb ₄ O ₇	Dy ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Tm ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Lu ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	ThO ₂	U ₃ O ₈
Ngualla/Tansania	27,6	48,3	4,8	16,5	1,6	0,3	0,6	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,0	0,2	472	125
Wigu Hill/Tansania	38,6	46,6	3,6	9,4	0,7	0,1	0,4	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,3		
Zandkopsdrieff/RSA	25,4	44,0	4,6	15,9	2,3	0,6	1,4	0,2	0,8	0,1	0,3	<0,1	0,2	<0,1	4,1		
Phalaborwa/RSA	18,5	40,0	5,6	23,4	4,4	0,9	3,2	0,3	1,0	0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	2,0	48	2
Steenkampskraal/ RSA	20,8	45,3	5,1	18,0	2,9	0,1	2,0	0,2	1,0	0,2	0,3	<0,1	0,1	<0,1	4,1	8,01 %	800
Glenover/RSA	15,9 – 19,1	44,6 – 45,8	5,3 – 5,9	21,0 – 22,5	3,0 – 3,7	0,7 – 0,9	1,7 – 2,1	0,2	0,7 – 0,9	0,1	0,2	<0,1	0,1	<0,1	2,1 – 2,9		
Lofdal Erz/Nambibia	9,2	16,0	1,7	6,3	2,2	1,1	4,3	0,9	6,2	1,3	3,8	0,6	3,5	0,5	42,4	191	3
Lofdal Konz./ Nambibia	0,5	0,8	0,1	0,3	0,5	0,5	3,5	1,1	9,1	2,0	6,3	0,9	4,6	0,8	67,9	3.223	99
Ondoto West/ Nambibia	37,8	47,1	3,9	10,0	0,8	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1.818	1
Logonjo/Angola	24,5	46,7	4,9	16,8	2,2	0,5	1,1	0,1	0,5	0,1	0,2	<0,1	0,1	<0,1	2,3		
Kangankun./Malawi	27,3	50,4	5,0	15,2	1,1	0,2	0,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	50	6
Songwe Hill/Malawi	24,6	44,6	4,8	16,4	2,4	0,6	1,4	0,2	0,8	0,1	0,3	<0,1	0,2	<0,1	3,7		
Mrima Hill/Kenia	29,9	44,5	4,6	14,2	2,0	0,3	1,6	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2,6		
Mukuutu/Uganda	19,0	33,3	4,8	17,5	3,2	0,5	3,2	0,3	1,6	0,5	1,3	0,2	1,1	0,2	14,3		
Xiluvo/Mosambik	21,5	45,9	4,9	17,1	2,4	0,7	1,7	0,2	0,9	0,1	0,3	<0,1	0,2	<0,1	4,0		
Tantalus/ Madagaskar	24,9	35,9	4,7	15,4	2,5	0,3	2,0	0,3	1,7	0,3	0,9	0,1	0,9	0,1	10,1	50	9

Tab. 33: Wichtige Projekte mit SEO-Potenzial in Asien (exkl. Indien, Russland und China), soweit dazu derzeit Vorratsangaben vorliegen (Quelle: Firmenberichte u. a.) (Cs = Cassiterit, Il = Ilmenit, Mo = Monazit, Rt = Rutil, Xe = Xenotim, Zr = Zirkon).

Name	Land	Lizenzinhaber	Typ/Wertminerale	Ressourcen
Eskişehir Beylikova (Kizilcaören)	Türkei	n. v.	Brekzierte hydrothermale Gänge/ThO ₂ , CaF ₂ , SEO, BaSO ₄	694 Mio. t Erz @ 3,14 % SEO (2.179 Mio. t SEO) ¹⁾
Khanneshin	Afghanistan	ohne	Karbonatit/SEO, Ba, Sr, P, U	233,7 Mio. t Erz @ 2,8 % LSEO (1.113 kt leichte SEO)
Khotgor	Mongolei	Temarise/Khotgor Minerals	Karbonatitgänge/-brekzien/SEO, P ₂ O ₅	81,6 Mio. t Erz @ 1,34 % SEO (1.091 kt SEO)
Mushgai Khudag	Mongolei	REMET/Ji Es Bi Mining	Karbonatit/SEO	25,2 Mio. t Erz @ Ø 1,41 % SEO (355 kt SEO)
Çanakli (Aksu Diamas) ³⁾	Türkei	n. v. ²⁾	Seifen in Lavasanden/Magnetit, Fe ₂ O ₃ , ThO ₂ , SEO, TiO ₂ , ZrO ₂ , U ₃ O ₈	494 Mio. t Erzsand @ 0,073 % SEO (345 kt SEO) (@ 40 ppm ThO ₂)
Khalzan Buregtei	Mongolei	Mongolian National Rare Earth	Peralkaliner Granit/SEO, Nb, Ta, Zr	49,1 Mio. t Erz @ 0,59 % SEO (289 kt SEO)
Kundybai ⁴⁾	Kasachstan	Kundybai Mining	Regolith über Metamorphiten/SEO	49 Mio. t Erz @ 0,051 % SEO (204 kt SEO, davon C2: 25 kt SEO)
Kutessay II	Kirgistan	Ohne ^{5), 6)}	Metamorphite/SEO, Mo, Bi, Pb, Ag, Th, Sn, Cu	16,3 Mio. t Erz @ 0,264 % SEO (43 kt SEO)
Talairyk	Kasachstan	East Star Resources	Tone/SEO	25,4 Mio. t Erz @ 0,0786 % SEO (20 kt SEO)
Lugiiin Gol	Mongolei	REO/EKTU	Karbonatitgänge/SEO	506 kt Erz @ Ø 2,67 % SEO (13 kt SEO)
Ryongpo (Jongju)	DVR Korea	Pacific Century Rare Earth Mineral	Peralkaliner Syenit/SEO, CaF ₂ , Il, Zr	6.065 Mio. t Erz @ 3,6 % SEO (218,3 Mio. t SEO) @ 0,5 – 0,6 % SEO (16,9 Mio. t SEO) ^{7), 8)}
Cheolsan ⁸⁾	DVR Korea	n. v.	Peralkaliner Granit/SEO	500 kt Erz @ 0,5 – 0,6 % SEO
Bangka Belitung	Indonesien	PT Timah u. a.	Flusseifen/Cs, Zr, Rt, Il, Mo/Xe	@ 0,95 % Mo (187 kt Mo, 21 kt Xe)
Nord-Sumatra	Indonesien	n. v.	Laterit/SEO	20 kt SEO
West Kalimantan	Indonesien	n. v.	Laterit/SEO	219 t SEO

Name	Land	Lizenzinhaber	Typ/Wertminerale	Ressourcen
Zentral Sulawesi	Indonesien	n. v.	Laterit/SEO	443 t SEO

¹⁾ Ressourcen auf 50 km² Fläche; Förderung von 570 kt Erz/J. und Aufbereitung zu 10 kt SEO/J., 72 kt Baryt/J., 70 kt Fluorit/J. und 250 t Th/J. geplant

²⁾ letzter bekannter Lizenzinhaber: AMR Madencilik A.Ş.

³⁾ Die Ressourcen des gesamten Aksu Dianas Vorkommens betragen ca. 1,45 Mrd. t Erzsand bei stets ähnlichen SEO-Gehalten. Das Ausbringen liegt aufgrund der Feinkörnigkeit der SE-Minerale (50 % < 45 µm) bei < 20 % der SEO.

⁴⁾ Vier Einzelvorkommen über 32,2 km², die von der Kundybai Mining JSC in drei Tagebauen abgebaut werden sollten. Aufgrund der Verwachsungen und extremen Feinkörnigkeit der SE-Minerale lagen die geschätzten Investitionskosten 2012 bei 1,439 Mrd. US\$.

⁵⁾ letzter bekannter Lizenzinhaber Stans Energy Corp., Lizenz erworben 2009, entzogen 2012; neue Lizenz beantragt durch Neon Mining Company

⁶⁾ zwischen 1958 und 1991 Produktion von 5,454 Mio. t Erz @ 0,41 % SEO (22.109 t SEO) (+ 21.100 t Pb, 167 t Mo, 25 t Bi, 17,3 t Ag), 1995 Einstellung der Produktion, Ausbringen SEO: Ø 63,4 %

⁷⁾ Ressourcen nach KORES (PARK et al. 2023)

⁸⁾ In Produktion in zwei Bergwerken zwischen 1991 und 1995, wobei das Erz in der Hamghung Anlage zu ca. 350 t/J. Monazitkonzentrat @ 65 % SEO weiterverarbeitet wurde.

Literatur

ERDMANN, M. & ALTANGEREL, T. (2023): Rare Earths of Mongolia: Evaluation of market opportunities for the principal deposits of Mongolia. – 2nd Edition – Update 2023: 76 S., 12 Abb., 6 Tab., 2 Anh.; Hannover, Ulaanbaatar. – URL: https://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/studie_rare_earths_Mongolia.pdf?_blob=publicationFile&v=7 [Stand: 20.11.2024].

LIANG, L., SIDE, W., BO, Z., JIANGTAO, L. & GUANGQIANG, Z. (2022): Rare earth resources in Laos: Characteristics and the prospects for exploration and development. – Bulletin of Geolo-

gical Science and Technology, 41, 3: 20–31, 8 Abb., 4 Tab.; Wuhan, China – URL: <https://dzkjqb.cug.edu.cn/en/article/doi/10.19509/j.cnki.dzkq.2022.0087#:~:text=The%20rare%20earth%20resources%20of,up%20to%20600%2C%20000%20tons> [Stand: 20.11.2024].

PARK, S., McNULTY, T. P. & EWING, R. C. (2023): Critical metal resources in Democratic People's Republic of Korea. – International Geology Review, 65, 17: 2717–2737, 8 Abb., 8 Tab. – URL: <https://doi.org/10.1080/00206814.2022.2151049> [Stand: 20.11.2024].

Tab. 34: Relative SEO-Verteilung (in %) und absolute Gehalte von ThO₂ und U₃O₈ (in ppm)
in asiatischen SE-Lagerstätten, nach verschiedenen Quellen.

Lagerstätte/Land	La ₂ O ₃	CeO ₂	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Tb ₄ O ₇	Dy ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Tm ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Lu ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	ThO ₂	U ₃ O ₈
Kutessay II – Tagebau/Kirgisistan	9,1	25,0	3,2	8,5	3,8	2,5	2,7	1,2	6,3	0,8	4,8	0,1	1,8	0,1	26,7		
Kutessay II – Untertage/ Kirgisistan	14,0	24,6	2,7	10,0	2,8	0,4	2,5	0,3	4,3	0,9	2,4	0,5	1,9	0,5	30,7		
Kundybai/ Kasachstan	3,0	5,1	0,6	7,0	2,1	0,9	5,4	0,9	7,1	1,7	5,6	0,9	5,2	0,5	54,0		
Yen Phu – Konz./VN	8,7	17,6	1,2	16,8	3,3	0,4	4,0	0,3	5,4	0,4	4,8	1,2	2,7	0,4	33,1	1.934	472
Dong Pao – Erz/VN	33,7	48,7	3,6	11,3	1,1	0,2	0,5	0,1	0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,6	145	124
Dong Pao – Konz./ VN	36,9	47,7	3,7	9,6	0,8	0,2	0,4	0,1	0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,5		
Phaxay/Laos	24,6	3,8	5,8	20,6	4,5	0,6	4,3	0,8	4,2	0,8	2,0	0,3	1,5	< 0,2	26,2		
Mushgai Khudag/ Mongolei	26,9	49,1	4,7	13,5	1,3	0,2	1,3	0,1	0,4	0,1	0,2	< 0,1	0,2	< 0,1	1,8	1.604	1.259
Monazit/DVR Korea	25,8	48,7	4,7	19,2	2,7		2,0									1,54 %	



Name	verschiedene
Land	Indien
Bundesstaaten	verschiedene (s. Tab. 35)
Lizenzinhaber	verschiedene (s. Tab. 35)

Tab. 35: Schwermineralvorkommen mit SEO-Potenzial in Indien, soweit dazu derzeit Vorratsangaben vorliegen (Quelle: RAJU 2021, INDIAN BUREAU OF MINES 2022) (HM = heavy minerals, HMC = heavy minerals concentrate, Gr = Granat, Il = Ilmenit, Lx = Leukoxen, Ma = Magnetit, Mo = Monazit, Rt = Rutil, Si = Sillimanit, Xe = Xenotim, Zr = Zirkon).

Name	Land	Lizenzinhaber	Typ/Wertminerale
Siri River	Chhattisgarh	Xe	516 t Xe
Mahan River Basin	Chhattisgarh	Xe	493 t Xe ¹⁾
S' Chavara	Kerala	Il, Rt, Lx, Zr, Mo, Gr, Si	1,80 Mio. t HM, 39 kt Mo
N' Chavara	Kerala	Il, Rt, Lx, Zr, Mo, Gr, Si	16,93 Mio. t HM, 60 kt Mo
Nord-Kerala	Kerala	Il, Rt, Lx, Zr, Mo, Gr, Si	3,36 Mio. t HM, 3 kt Mo
Lagunen	Kerala	Il, Rt, Lx, Zr, Mo, Gr, Si	373 kt Mo
Nearshore	Kerala	Il, Rt, Lx, Zr, Mo, Gr, Si	50 kt Mo
Ovari Bereich (68 km Länge)	Tamil Nadu	Il, Rt, Lx, Zr, Mo, Gr, Si	4,57 Mio. t HM, 9 kt Mo
Tuticorin Bereich (247 km Länge)	Tamil Nadu	Il, Rt, Lx, Zr, Mo, Gr, Si	1,44 Mio. t HM, 2 kt Mo
Karikal Bereich (110 km Länge)	Tamil Nadu	Il, Rt, Lx, Zr, Mo, Gr, Si	7,70 Mio. t HM, 31 kt Mo
Kalpakkam Bereich (5 km Länge)	Tamil Nadu	Il, Rt, Lx, Zr, Mo, Gr	200 kt HM, 1,4 kt Mo
Teri Red Sands	Tamil Nadu	Il, Rt, Lx, Zr, Mo, Gr, Si	110,79 Mio. t HM, 1.230 kt Mo
Offshore ²⁾	Kerala/Tamil Nadu	Il, Lx, Rt, Zr, Mo, Si, Gr	4.716 kt HM, 143 kt Mo
N' Bereich (352 km Länge)	Andhra Pradesh	Il, Lx, Gr, Si, Rt, Zr, Mo	870 kt Mo ³⁾
Zentraler Bereich (328 km Länge)	Andhra Pradesh	Il, Lx, Gr, Si, Rt, Zr, Mo, Ma	1.420 kt Mo
S' Bereich (302 km Länge) inkl. Inlandseifen	Andhra Pradesh	Il, Lx, Gr, Si, Rt, Zr, Mo, Ma	1.400 kt Mo
Gopalpur (S' Chhatrapur) (25 km Länge)	Odisha	Il, Rt, Mo, Zr, Gr, Si	17,3 Mio. t HM @ 0,90 % Mo (156 kt Mo)
Rishikulya-Bajarkot (N' Chhatrapur) (22 km Länge)	Odisha	Il, Rt, Mo, Zr, Gr, Si	12,17 Mio. t HM @ 1,02 % Mo (130 kt Mo)

Name	Land	Lizenzinhaber	Typ/Wertminerale
Bramhagriri (30 km Länge) ⁴⁾	Odisha		1.111 Mio. t Erzsand @ 10,15 % HM (113 Mio. t HM) @ 0,51 % Mo (575 kt Mo)

¹⁾ Die bisher untersuchten Flusseifen in Chhattisgarh und Jharkhand enthalten insgesamt ca. 2.000 t Xenotim, von denen 137 t in Aufbereitungsversuchen gewonnen wurden.

²⁾ zwischen Inayam nahe Manavalakurichi/Tamil Nadu bis Vizhinjam/Kerala auf 52 km² Fläche bis 2,5 km offshore

³⁾ davon Srikurmam Schwermineral-Seifenlagerstätte: 30 Mio. t HM @ 0,7 % Mo (210 kt Monazit)

⁴⁾ in der Entwicklung durch IREL (India) Ltd.

Tab. 36: Monazitressourcen (alle Ressourcenkategorien inkl. spekulativer Ressourcen) in Indien nach Bundesstaat, Stand: März 2021 (Quelle: INDIAN BUREAU OF MINES 2023).

Bundesstaat	Anzahl der Lagerstätten	Monazitressourcen (in kt)
Andhra Pradesh	24	3.780
Gujarat ¹⁾	2	70
Jharkhand	2	210
Kerala	35	1.840
Maharashtra	5	4
Odisha	12	3.160
Tamil Nadu	50	2.470
West Bengalen	1	1.200
Indien – gesamt	130	12.730²⁾

¹⁾ Karbonatite, davon ist das Ambadungar-Vorkommen (1.120.201 t SEO-Inhalt, Stand 12.2023) in der fortgeschrittenen Exploration bzw. Entwicklung

²⁾ September 2022: 13.070 kt HM

Literatur

ANITA, J. K., JOSEPH, S., REJITH, R. G. & SUNDARAJAN, M. (2020): Monazite chemistry and its distribution along the coast of Neendakara–Kayamkulam belt, Kerala, India. – SN Applied Sciences, 2, 812: 18 S., 11 Abb., 8 Tab. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-020-2594-6> [Stand: 20.10.2024].

RAJU, R. D. (Ed.) (2021): Indian placer deposits. – 621 S.; Newcastle upon Tyne (Cambridge Scholars Publishing).

MOHANTY, A. K., DAS, S., VIJAYAN, V., SENGUPTA, D. & SAHA, S. K. (2003): Geochemical studies of monazite sands of Chhatrapur beach placer deposit of Orissa, India by PIXE and EDXRF method. –

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B, Beam Interactions with Materials and Atoms, 211, 1: 145 – 154, 5 Abb., 1 Tab.; Amsterdam (Elsevier). – URL: https://www.researchgate.net/publication/229186083_Geochemical_studies_of_monazite_sands_of_Chhatrapur_beach_placer_deposit_of_Orissa_India_by_PIXE_and_EDXRF_method/link/5b4c786e45851519b4c0a91d/download?tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6Il-9kaXJlY3QiLCJwYXN0IjoicHVibGljYXRpb24ifX0 [Stand: 20.10.2024].

	Name	verschiedene
	Land	Russland
	Republik	verschiedene (s. Tab. 37)

Tab. 37: Wichtige Projekte mit SEO-Potenzial in der Russischen Föderation, soweit dazu derzeit Vorratsangaben vorliegen (Quelle: INFOMINE 2023).

Name	Region	Mineralisation	begleitende Wertminerale	Gehalte/Vorräte
Kukisvumchorr Yuksporskoe Apatit Circus Koashvinskoe N'orkpakhkskoe Oleniy Ruchey Plato Rasvumchorr	Murmansk	Nephelin-Apatit ¹⁾		0,20 – 0,42 % SEO Reserven/Ressourcen (A-C1): Σ 7,83 Mio. t SEO (Stand: 01.01.2022)
Chuktukon ²⁾	Krasnojarsk	Pyrochlor, Monazit	Fe, Mn, Nb, Ti, V	5,38 % SEO Reserven/Ressourcen (A-C1): 538 kt SEO (Stand: 01.01.2022) (104 ppm ThO ₂ , 7 ppm U ₃ O ₈)
Kiy	Krasnojarsk	Bastnäsit, Rhabdophan, Monazit, Xenotim, Churchit		1,35 – 5,4 % SEO (ca. 3 Mio. t SEO), 20 % schwere SEO
Seligdar	Sacha	Nephelin-Apatit		0,35 % SEO Reserven/Ressourcen (A-C1): 4,41 Mio. t SEO (Stand: 01.01.2022)
Belozimin	Irkutsk	Pyrochlor, Apatit, Monazit	Nb, Ta, Apatit	0,7 – 0,9 % SEO (im Apatit)
Katugin	Transbaikalien	Pyrochlor, Bastnäsit, Gagarinit, Y-Fluorit	Nb, Ta, Zr	0,37 % SEO (800 kt SEO)
Krasnoufimsk (Sverdlowsk)	Sverdlowsk	Monazitkonzentrat ³⁾		84.000 t Monazit @ 56 – 58 % SEO (5,4 % ThO ₂ , 200 ppm U ₃ O ₈)

¹⁾ Gewinnung von SE aus Apatit aus den sechs aktiven Tagebauen der OAO Akron im März 2021 aufgrund Unwirtschaftlichkeit eingestellt

²⁾ geschätzte Investitionskosten: 1,7 Mrd. US\$

Literatur

INFOMINE RESEARCH GROUP (2023): Rare Earth Elements (Metals) and Their Compounds Production, Market and Forecast in Russia. – 14th Edition: 121 S.; Moskau.



Name	verschiedene
Land	Vietnam
Provinzen	verschiedene (s. Tab. 38)
Lizenzinhaber	verschiedene (s. Tab. 38)

Tab. 38: Wichtige Projekte mit SEO-Potenzial in Vietnam, soweit dazu derzeit Vorratsangaben vorliegen (Quelle: Firmenberichte und verschiedene Internetangaben).

Name	Provinz	Lizenzinhaber	Mineralisation	Ressourcen
Bắc Nậm Xe (North Nam Xe)	Lai Châu	Hung Hai Group JSC ¹⁾	Karbonatitgänge/SEO, Baryt	14,2 Mio. t Erz @ 4,89 % SEO (694 kt SEO) ²⁾ C1: 1.745 kt SEO C2: 5.963 kt SEO
Thèn Thầu	Lai Châu	n. v. ³⁾	n. v./SEO, U ₃ O ₈ , ThO ₂	1.329 kt SEO ⁵⁾
Nam Nậm Xe (South Nam Xe)	Lai Châu	Tay Bac Rare Earth JSC	Karbonatitgänge/SEO, Baryt	B+C1+C2: 9,3 Mio. t Erz @ 10,12 % SEO (940 kt SEO) B: 6 kt SEO C1: 193 kt SEO C2: 741 kt SEO
Nam Đông Pao (South Đông Pao)	Lai Châu	n. v.	Karbonatit/SEO	409 kt SEO ⁵⁾
Thèn Sìn	Lai Châu	n. v. ⁴⁾	n. v./SEO	126 kt SEO ⁵⁾
Khu Làng Phát	Yên Bái	n. v. ⁴⁾	n. v./SEO	124 kt SEO ⁵⁾
Khu Tân An	Lào Cai	n. v. ⁴⁾	n. v./SEO	102 kt SEO ⁵⁾
Mường Hum	Lào Cai	n. v. ⁴⁾	Karbonatit- und Pegmatitgänge/SEO, ThO ₂ , U ₃ O ₈	@ 1,45 % SEO (1.570 ppm ThO ₂ , 160 ppm U ₃ O ₈) C2: 46 kt SEO (22 % schwere SEO)
Bến Đền	Lào Cai	Khanh An Industrial JSC	Ionenadsorptionstone/SEO	@ 0,0094 % SEO B: 42,7 kt SEO C2: 24 kt SEO

¹⁾ Zusammenarbeit mit der koreanischen Trident Global Holdings Co., Ltd.

²⁾ im Jahr 2023 Gewinnung von 600 kt Erz/J. @ 4,60 % SEO beantragt

³⁾ gemäß Entscheidung No. 866/QĐ-TTg des Premierministers vom 18.07.2023 zur weiteren Exploration/Entwicklung im Zeitraum 2031 – 2050 vorgesehen

⁴⁾ gemäß Entscheidung No. 866/QĐ-TTg des Premierministers vom 18.07.2023 zur weiteren Exploration/Entwicklung im Zeitraum 2021 – 2030 vorgesehen

⁵⁾ Einzelheiten nicht bekannt, vermutlich inkl. prognostischer Ressourcen

Literatur

NHU, T. K. D., PHAM, V. L., VU, T. C. & TRAN, V. D. (2021): An overview of rare earth ores beneficiation in Vietnam. – Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, 2, 1: 227 – 236, 3 Abb., 6 Tab.; Krakau.

– URL: <http://doi.org/10.29227/IM-2021-02-20>
[Stand: 20.11.2024].



Name	verschiedene
Land	Australien
Bundesstaaten	verschiedene (s. Tab. 39 und 40)
Lizenzinhaber	verschiedene (s. Tab. 39 und 40)

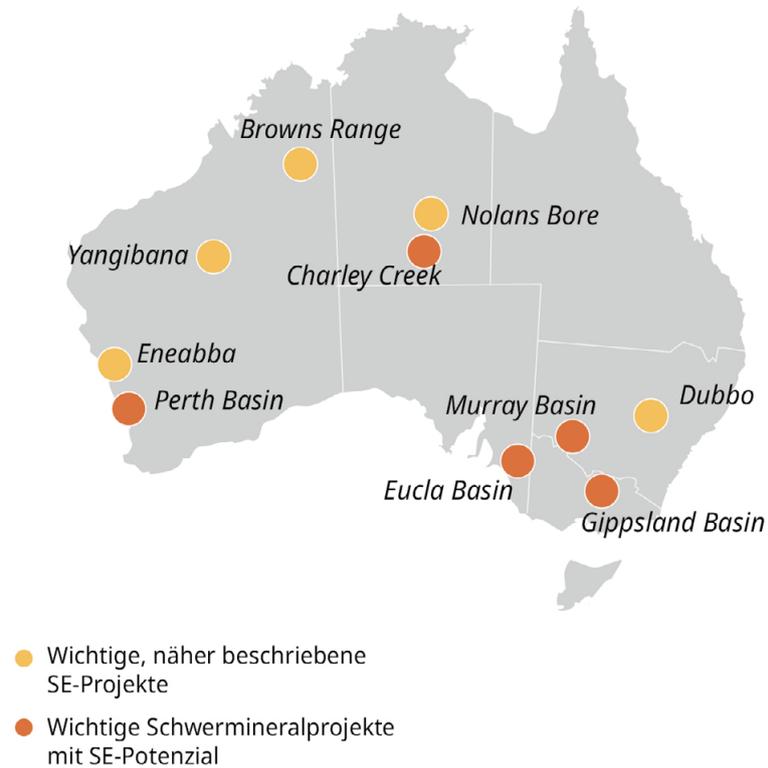


Abb. 35: Karte der Standorte von SE-Bergbauprojekten in Australien.

Tab. 39: Wichtige Schwermineralprojekte mit SEO-Potenzial in Australien, soweit dazu derzeit Vorratsangaben vorliegen (Quelle: Firmenberichte) (HM = heavy minerals, HMC = heavy minerals concentrate, REMC = rare earth mineral concentrate, At = Anatas, Il = Ilmenit, Lx = Leukoxen, Mo = Monazit, Rt = Rutil, Xe = Xenotim, Zr = Zirkon).

Name	Bundesstaat	Lizenzinhaber	Wertminerale	Gehalte/Vorräte
Donald	VIC	Astron Corporation ^{1), 2)}	Il, Zr, Rt, Lx, Mo, Xe	Ressourcen: 5.783 Mio. t Erzsand @ 3,2 % HM (185 Mio. t HM) @ 2 % Mo (3,7 Mio. t Mo) Reserven: 825 Mio. t Erzsand @ 4,5 % HM (37,1 Mio. t HM) @ 1,7 % Mo (631 kt Mo), 0,6 % Xe (223 kt Xe)
WIM 150	VIC	Murry Zircon ³⁾	Il, Lx, Rt, Zr, At, Mo, Xe	Ressourcen: 1.650 Mio. t Erzsand @ 3,7 % HM (61,1 Mio. t HM) @ 2,1 % Mo (1.282 kt Mo), 0,38 % Xe (232 kt Xe) Reserven: 552 Mio. t Erzsand @ 4,3 % HM (24,0 Mio. t HM) @ 2,3 % Mo (552 kt Mo), 0,4 % Xe (96 kt Xe)
WIM 50/ WIM 50 North/ WIM 100 ⁴⁾	VIC	Iluka Resources	Il, Lx, Zr, Rt, Mo, Xe	Ressourcen: 1.377 Mio. t Erzsand @ 5,0 % HM (69 Mio. t HM) @ 1,9 % Mo (1.311 kt Mo) + 0,4 % Xe (276 kt Xe) Reserven: 183,2 Mio. t Erzsand @ 5,4 % HM (8,9 Mio. t HM) @ 2,0 % Mo (198 kt Mo) + 0,6 % Xe (59 kt Xe)
Fingerboards ⁵⁾	VIC	Gippsland Critical Minerals	Il, Zr, Rt, Lx, Mo, Xe	Ressourcen: 1.170 Mio. t Erzsand @ 0,049 % TREO (580 kt TREO) Reserven: 173 Mio. t Erzsand @ 0,11 % TREO (191 kt TREO)
Goschen	VIC	VHM ⁶⁾	HMC (Il, Zr, Rt, Lx) REMC (Mo, Xe)	Ressourcen: 628,7 Mio. t Erzsand @ 2,91 % HM (18,3 Mio. t HM) @ 3,7 % Mo (677 kt Mo), 0,7 % Xe (128 kt Xe) Reserven: 210,2 Mio. t Erzsand @ 3,8 % HM (8,0 Mio. t HM) @ 3,6 % Mo (288 kt Mo), 0,7 % Xe (56 kt Xe)
Goschen Central	VIC	acdc metals	Rt, Lx, Il, Zr, Mo, Xe	Ressourcen: 620 Mio. t Erzsand @ 2,2 % HM (13,6 Mio. t HM) @ 3,0 % Mo (409 kt Mo), 0,45 % Xe (61 kt Xe)
Charley Creek	NT	Enova Mining	Mo, Xe, Zr	Ressourcen: 805,3 Mio. t Erzsand @ 0,0292 % SEO (328 kt Mo, 58 kt Xe)

Name	Bundesstaat	Lizenzinhaber	Wertminerale	Gehalte/Vorräte
Eneabba Area (inkl. Halden)	WA	Iluka Resources	Il, Zr, Rt, Lx, Mo/Xe	Ressourcen: 519 Mio. t Erzsand @ 5,3 % HM (27,6 Mio. t HM) @ 1,3 % Mo/Xe (358 kt Mo/Xe)
Avonbank	VIC	WIM Resource ⁷⁾	HMC (Zr, Il, Rt, Lx, Mo/Xe)	Reserven: 311,8 Mio. t Erzsand @ 4,3 % HM (13,4 Mio. t HM) @ 2,0 % Mo (268 kt), 0,6 % Xe (80 kt)
Cannie	VIC	VHM ⁶⁾	HMC (Il, Zr, Rt, Lx) REMC (Mo, Xe)	Ressourcen: 191,7 Mio. t Erzsand @ 3,1 % HM (5,9 Mio. t HM) @ 4,1 % Mo (242 kt Mo), 0,8 % Xe (47 kt Xe)
Balranald	NSW	Iluka Resources	Il, Zr, Rt, Mo, Xe	Ressourcen: 54 Mio. t Erzsand @ 31,2 % HM (16,7 Mio. t HM) @ 0,9 % Mo/Xe (150 kt Mo/Xe)
Wedderburn	VIC	WIM Resource ⁷⁾	HMC (Zr, Il, Lx, Rt/At, Mo/Xe)	Ressourcen: 223 Mio. t Erzsand @ 2,9 % HM (6,5 Mio. t HM) @ 1,8 % Mo (116 kt Mo)
Cataby	WA	Iluka Resources	Il, Lx, Zr, Rt, Mo, Xe	Ressourcen: 275 Mio. t Erzsand @ 4,2 % HM (11,7 Mio. t HM) @ 0,8 % Mo/Xe (92 kt Mo/Xe) Reserven: 91 Mio. t Erzsand @ 5,6 % HM (5,1 Mio. t HM) @ 0,6 % Mo/Xe (31 kt Mo/Xe)
Bungallaly	VIC	WIM Resource ⁷⁾	HMC (Zr, Il, Rt, Lx, At, Mo/Xe)	Ressourcen: 205 Mio. t Erzsand @ 2,7 % HM (5,5 Mio. t HM) @ 1,4 % Mo (77 kt Mo)
Dongara ⁸⁾	WA	Tronox Holdings	Il, Rt, Lx, Zr	Ressourcen: 186 Mio. t Erzsand @ 3,9 % HM (7,3 Mio. t HM) @ 1,0 % Mo (73 kt Mo)
Euston	NSW	Iluka Resources	Il, Zr, Rt, Mo, Xe	Ressourcen: 44 Mio. t Erzsand @ 14,2 % HM (6,2 Mio. t HM) @ 1,0 % Mo/Xe (62 kt Mo/Xe)
Governor Broome	WA	Astute Metals	Il, Zr, Rt, Mo	Ressourcen: 101 Mio. t Erzsand @ 4,5 % HM (4,5 Mio. t HM) @ 0,8 % Mo (36 kt Mo)
Ouyen	VIC	Iluka Resources	Il, Zr, Rt, Lx, Mo/Xe	Ressourcen: 43 Mio. t Erzsand @ 10,8 % HM (4,6 Mio. t HM) @ 0,7 % Mo/Xe (32 kt Mo/Xe)
Tutunup	WA	Iluka Resources	Il, Zr, Rt, Lx, Mo/Xe	Ressourcen: 29,6 Mio. t Erzsand @ 10,5 % HM (3,1 Mio. t HM) @ 0,9 % Mo/Xe (28 kt Mo/Xe) Reserven: 14,1 Mio. t Erzsand @ 10,0 % HM (1,4 Mio. t HM) @ 0,8 % Mo/Xe (11 kt Mo/Xe) ⁹⁾

Name	Bundesstaat	Lizenzinhaber	Wertminerale	Gehalte/Vorräte
Douglas	NSW	Iluka Resources	Il, Zr, Rt, Mo, Xe	Ressourcen: 23 Mio. t Erzsand @ 10,3 % HM (2,4 Mio. t HM) @ 0,9 % Mo/Xe (22 kt Mo/Xe)
Nowie	VIC	VHM	Il, Zr, Rt, Lx, Mo, Xe	Ressourcen: 16,4 Mio. t Erzsand @ 3,8 % (0,6 Mio. t HM) @ 2,1 % Mo (13 kt Mo), 0,5 % Xe (3 kt Xe)
Sea Lake	VIC	Iluka Resources	Il, Zr, Rt, Lx, Mo/Xe	Ressourcen: 29 Mio. t Erzsand @ 13,0 % HM (3,7 Mio. t HM) @ 0,4 % Mo/Xe (15 kt Mo/Xe)
Cooljarloo ^{9), 10)}	WA	Tronox Holdings	Il, Rt, Lx, Zr	Ressourcen: 295 Mio. t Erzsand @ 1,6 % HM (4,7 Mio. t HM) @ 0,3 % Mo (14 kt Mo) Reserven: 307 Mio. t Erzsand @ 1,8 % HM (5,5 Mio. t HM) @ 0,3 % Mo (16 kt Mo)
Bindaminna	WA	Image Resources	Il, Lx, Zr, Rt, Mo	Ressourcen: 109 Mio. t Erzsand @ 2,5 % HM (2,7 Mio. t HM) @ 0,33 % Mo (9 kt Mo) Reserven: 123 Mio. t Erzsand @ 1,8 % HM (2,2 Mio. t HM) @ 0,3 % Mo (7 kt Mo)
Atlas	WA	Image Resources	Il, Lx, Zr, Rt, Mo	Reserven: 5,5 Mio. t Erzsand @ 9,2 % HM (506 kt HM) @ 1,1 % Mo (6 kt Mo)
Yandanooka	WA	Image Resources	Il, Lx, Zr, Rt, Mo	Ressourcen: 57 Mio. t Erzsand @ 3,1 % HM (1,8 Mio. t HM) @ 0,17 % Mo (3 kt Mo) Reserven: 30 Mio. t Erzsand @ 3,9 % HM (1,2 Mio. t HM) @ 0,19 % Mo (2 kt Mo)

- ¹⁾ MoU zwischen Astron Corporation Ltd. und Energy Fuels Inc./USA, wonach Energy Fuels gegen 49 % der Unternehmensanteile 183 Mio. US\$ in das Donald Projekt investiert und dafür Vorkaufsrechte auf bis zu 100 % des dort produzierten Monazit-/Xenotimkonzentrats zur Versorgung seiner SE-Aufbereitungsanlage White Mesa Mill in den USA erhält.
- ²⁾ mehrheitlich in Besitz von Kobe Investments Ltd./Hongkong
- ³⁾ JV zwischen Orient Zirconic Pty Ltd./China und Million Up Ltd./Hongkong
- ⁴⁾ Ersatzlagerstätte zur Versorgung der Eneabba Rare Earths Refinery
- ⁵⁾ Aufbereitung durch Minhub Operations Pty Ltd im Northern Territory geplant
- ⁶⁾ Produktion eines gemischten HM-Konzentrats (HMC, 134,5 kt/J.) und eines SE-Mineralkonzentrats (REMC @ 61 % SEO, 9.428 t/J.) und daraus evtl. auch eines SE-Mischkarbonats (@ 61 % SEO, 8.568 t/J.) ab H2 2025 geplant, MoU mit Shenghe Resources (Singapore) Pte Ltd. zur Abnahme von 6.400 t/J. SE-Mineralkonzentrat +10.000 t/J. HM-Konzentrat
- ⁷⁾ Minderheitsbeteiligung (9,9 %) von Shenghe Resources Holding
- ⁸⁾ Aufbereitung des enthaltenen Monazits/Xenotims sowie importierten Monazits aus Namakwa/RSA in Chandala/WA angedacht
- ⁹⁾ in Produktion
- ¹⁰⁾ Ausbringen Monazit/Xenotim bei 55 %

Tab. 40: Weitere Projekte mit SEO-Potenzial in Australien, soweit dazu derzeit Vorratsangaben vorliegen (Quelle: Firmenberichte).

Name	Bundesstaat	Lizenzinhaber	Mineralisation	Ressourcen
Olympic Dam	SA	BHP ¹⁾	Bastnäsit, Synchronit, Florencit, Monazit, Xenotim	11,32 Mrd. t @ 0,18 % SE-Mineralen bzw. @ 0,3163 % SEO (3,5 % schwere SEO) (35,8 Mio. t SEO)
Cummins Range	WA	RareX	Karbonatit	524,3 Mio. t @ 0,3120 % SEO (1.636 kt SEO)
Splinter Rock	WA	OD6 Metals	Regolith auf Granit	344 Mio. t @ 0,1308 % SEO (450 kt SEO) ²⁾
Yin	WA	Dreadnought Resources	Eisensteine	29,98 Mio. t @ 1,04 % SEO (312 kt SEO)
Mount Gee	SA	Government of South Australia ³⁾	Monazit	44 Mio. t @ 0,61 % SEO (268 kt SEO)
Salazar	WA	West Cobar Metals	Regolith über Amphibolithen und Granit ⁴⁾	190 Mio. t @ 0,1172 % SEO (223 kt SEO) ⁵⁾
Mary Kathleen Tailings	QLD	Government of Queensland	Allanit, Stillwellit	5,5 – 7,5 Mio. t @ 2,3 % LREO (126 – 173 kt leichte SEO) (200 ppm ThO ₂ , 100 ppm U ₃ O ₈)
Cowalinya	WA	Heavy Rare Earths	Regolith über Granit ⁶⁾	159 Mio. t @ 0,0870 % SEO (138 kt SEO)
Koppamurra	SA	Australian Rare Earth ⁷⁾	Lakustrine Tone auf Kalkstein	186 Mio. t @ 0,0712 % SEO (132 kt SEO)
North Stanmore	WA	Victory Metals	Regolith über Gabbro	250 Mio. t @ 0,0520 % SEO (130 kt SEO) (33 % schwere SEO) ⁸⁾
Milo	QLD	IsoEnergy	IOCG	176 Mio. t @ 0,0620 % SEO (108 kt SEO) ⁹⁾
Gifford Creek	WA	Dreadnought Resources	Karbonatit	10,84 Mio. t @ 1,00 % SEO (108 kt SEO)
Tower/Mt. Clere	WA	Krakatao Resources	Regolith über Magmatiten und Gneisen	101 Mio. t @ 0,0840 % SEO (85 kt SEO) (28 % schwere SEO, 32 ppm ThO ₂ , 2 ppm U ₃ O ₈)
Brockman (Hastings)	WA	Hastings Technology ¹⁰⁾	Gel-Zirkon, Thorit	41,6 Mio. t @ 0,20 % SEO (83 kt SEO)
Deep Leads-Rubble Mound & Wind Break	TAS	ABx Group	Tone über Dolerit und Laterit/Bauxit ¹¹⁾	88,6 Mio. t @ 0,0848 % SEO (75 kt SEO)

Name	Bundesstaat	Lizenzinhaber	Mineralisation	Ressourcen
Narraburra	NSW	Godolphin Resources	Regolith über peralkalinem Granit	94,9 Mio. t @ 0,0739 % SEO (70 kt SEO) (40 % mittel-schwere/schwere SEO, 33 ppm ThO ₂ , 11 ppm U ₃ O ₈)
Mitre Hill	VIC/SA	Ressource Base	Lakustrine Tone auf Kalkstein	21 Mio. t @ 0,0767 % SEO (16 kt SEO) (29 % schwere SEO, 26 ppm ThO ₂ , 2 ppm U ₃ O ₈)

¹⁾ Separation von SE durch BHP nicht geplant

²⁾ cut-off grade 1.000 ppm (0,1000 %) SEO

³⁾ innerhalb der Arkaroola Protection Area, in der Bergbau verboten ist

⁴⁾ unter 10 – 15 m quartärer Bedeckung

⁵⁾ cut-off grade 600 ppm (0,0600 %) SEO

⁶⁾ unter Ø 5 m quartärer Bedeckung

⁷⁾ MoU in 2022 mit Neo Performance Materials zur gemeinsamen Entwicklung des Koppamurra Projekts

⁸⁾ cut-off grade 400 ppm (0,0400 %) SEO, bei einem cut-off grade von 500 ppm (0,0500 %) SEO: 127 Mio. t @ 0,0590 % SEO (75 kt SEO)

⁹⁾ cut-off grade 300 ppm (0,0300 %) SEO

¹⁰⁾ Projekt wird wegen komplex-komplizierter Aufbereitungstechnologie nicht weiterverfolgt

¹¹⁾ unter Ø 4,2 m quartärer Bedeckung

Tab. 41: Relative SEO-Verteilung (in %) und absolute Gehalte von ThO₂ und U₃O₈ (in %) in australischen Monazit-/Xenotimkonzentraten, nach verschiedenen Quellen.

Lagerstätte/Staat	La ₂ O ₃	CeO ₂	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Tb ₄ O ₇	Dy ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Tm ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Lu ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	ThO ₂	U ₃ O ₈
Eneabba/WA	21,8	45,0	4,6	16,6	2,5	0,1	1,4	0,2	0,9	0,2	0,5	0,1	0,4	0,1	5,6	7,1	0,29
West Ballanald/ NSW	19,1	40,9	4,7	16,7	2,9	0,1	2,0	0,3	1,6	0,3	1,1	0,2	1,4	0,2	8,2		
Goschen/VIC	16,7	35,1	4,0	14,6	2,8	0,1	2,4	0,4	2,5	0,1	1,7	0,3	1,8	< 0,1	17,0		
Goschen Central/ VIC	16,3	33,3	4,0	14,7	2,7	0,1	2,7	0,4	2,5	0,1	1,7	0,3	1,8	< 0,1	17,0		
WIM 100/VIC	17,7	37,4	4,0	16,1	2,7	0,1	2,3	0,3	2,0	0,4	1,2	0,2	1,1	0,1	14,2		
Nowie/VIC	15,6	33,9	3,9	14,4	2,8	0,2	2,2	0,5	2,8	0,5	2,2	0,5	2,2	0,4	18,3		

Tab. 42: Relative SEO-Verteilung (in %) und absolute Gehalte von ThO₂ und U₃O₈ (in ppm) in australischen SE-Lagerstätten, nach verschiedenen Quellen.

Lagerstätte/Staat	La ₂ O ₃	CeO ₂	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Tb ₄ O ₇	Dy ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Tm ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Lu ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	ThO ₂	U ₃ O ₈
Mt. Weld – CLD/WA	23,9	47,6	5,2	18,1	2,4	0,5	1,1	0,1	0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,0	0,8	790	34
Mt. Weld – Duncan/WA	24,9	39,4	4,8	17,9	2,8	0,8	2,0	0,3	1,3	0,2	0,4	< 0,1	0,2	< 0,1	5,2		
Dubbo/NSW	19,6	36,9	4,0	14,1	2,2	0,1	2,2	0,3	2,0	0,4	1,2	0,2	1,0	0,2	15,8	478	140
Nolans Bore/NT	19,3	48,7	5,9	20,5	2,3	0,4	1,0	0,1	0,3	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,4	2.900	190
Brockman/WA	1,6	6,0	0,9	3,5	2,2	0,1	3,6	1,1	8,8	2,1	8,2	1,1	6,6	0,9	53,3		
Cummins Range/WA	24,1	45,5	4,9	16,9	2,4	0,6	1,5	0,2	0,8	0,1	0,2	< 0,1	0,1	< 0,1	2,7	32	57
Browns Range/W	2,0	5,0	0,7	3,2	2,2	0,5	5,8	1,3	8,7	1,8	5,2	0,7	4,1	0,6	58,3	470	640
Yangibana – Bald Hill, Frasers/NSW	10,7	40,7	7,8	32,4	3,4	0,1	1,7	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,4		
Milo/QLD	24,2	41,9	3,9	12,9	1,9	0,6	1,6		1,3		0,8				8,4		
North Stanmore/WA	12,1	30,8	3,8	13,5	1,9	1,0	1,9	0,4	1,9	0,6	1,0	0,2	1,7	0,2	21,1		
Splinter Rock/WA	21,2	44,3	4,8	16,8	2,4	0,4	1,5	0,2	1,1	0,2	0,5	0,1	0,5	0,1	5,9		
DL-Rubble Mound & Wind Break/TAS	15,3	22,7	4,4	17,4	3,9	1,0	3,9	0,6	3,7	0,7	2,1	0,3	1,8	0,3	21,7	6	2
Cowallinga/WA	16,7	27,4	5,0	19,6	3,9	0,9	3,5	0,5	2,7	0,5	1,4	0,2	1,2	0,2	16,3	17	7



Name	verschiedene
Kontinent	Europa
Länder	verschiedene (s. Tab. 43)
Lizenzinhaber	verschiedene (s. Tab. 43)

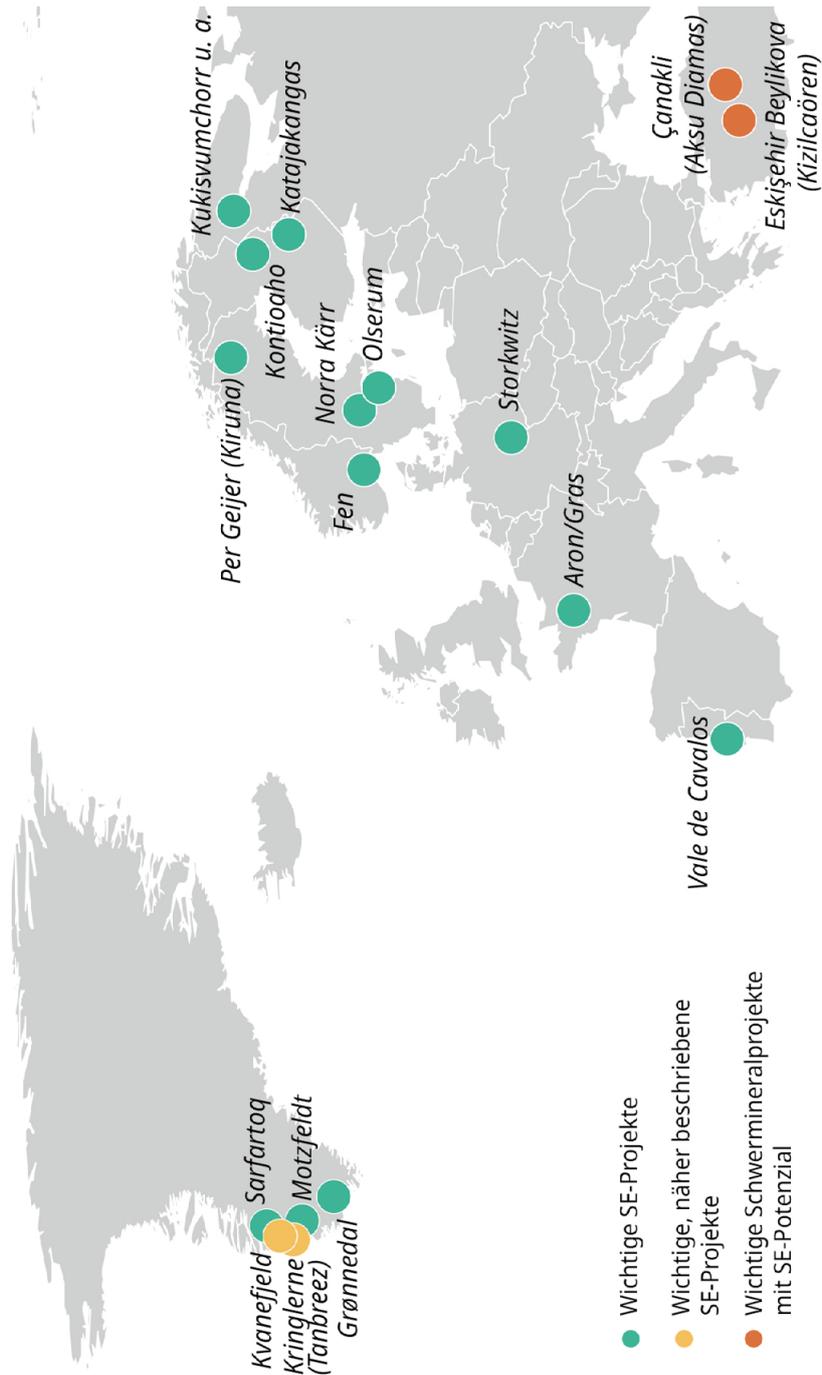


Abb. 36: Karte der Standorte von SE-Bergbauprojekten in Europa.

Tab. 43: Wichtige Projekte mit SEO-Potenzial in Europa, soweit dazu derzeit Vorratsangaben vorliegen (Quelle: Firmenberichte u. a.) (Mo = Monazit).

Name	Land	Lizenzinhaber	Typ/Wertminerale	Ressourcen
Fen	Norwegen	Rare Earths Norway	Karbonatit/SEO	559 Mio. t Erz @ 1,56 % SEO (8.743 kt SEO)
Per Geijer (Kiruna)	Schweden	LKAB	Apatit in Eisenerz/ Apatit, SEO ¹⁾	585 Mio. t Erz @ 0,18 % SEO (1.053 kt SEO)
Norra Kärr ²⁾	Schweden	Leading Edge Materials	Peralkaliner Nephelinsyenit/Nephelinsyenit, SEO, Nb ₂ O ₅ , ZrO ₂	110 Mio. t Erz @ 0,5 % SEO (550 kt SEO)
Olserum	Schweden	European Green Metals	Hydrothermale Gänge/SEO	7,8 Mio. t Erz @ 0,61 % SEO (476 kt)
Kontioaho	Finnland	Otanmäki Mine	Alkaliner Gneis/SEO, Nb ₂ O ₅ , ZrO ₂	7,69 Mio. t Erz @ 0,454 % SEO (35 kt SEO)
Storkwitz	Deutschland	ohne ³⁾	Karbonatit/SEO, Nb ₂ O ₅	4,4 Mio. t Erz @ 0,45 % SEO (20 kt SEO)
Katajakangas	Finnland	Otanmäki Mine	Alkaliner Gneis/SEO, Nb ₂ O ₅	460 kt Erz @ 2,71 % SEO (12 kt SEO)
Vale de Cavalos	Portugal	n. v.	Quarzite/SEO	2,4 Mio. t Erz @ 0,46 % SEO (11 kt SEO)
Aron/Gras	Frankreich	n. v.	Flusseifen/SEO	1.900 t Mo

¹⁾ Weiterverarbeitung ab 2027 in einer Anlage der REEtec AS am Standort Luleå, Nordschweden, geplant

²⁾ Abbaulizenz im Jahr 2013 erteilt, jedoch 05.2021 aufgrund fehlender Natura 2000-Prüfung widerrufen

³⁾ Letzter Lizenzinhaber Seltenerden Storkwitz AG, die die Erlaubnis zur Exploration im Jahr 2015 an das Sächsische Oberbergamt wegen Unwirtschaftlichkeit zurückgab.

Literatur

AL-ANI, T., MOLNÁR, F., LINTINEN, P. & LEINONEN, S. (2018): Geology and mineralogy of rare earth elements deposits and occurrences in Finland. – minerals, 8, 356: 38 S., 22 Abb., 2 Tab., 1 Anh.; Basel. – URL: <https://www.mdpi.com/2075-163X/8/8/356#B7-minerals-08-00356> [Stand: 20.10.2024].

GOODENOUGH, K.M., SCHILLING, J., JONSSON, E., KALVIG, P., CHARLES, N., TUDURI, J., DEADY, E.A., SADEGHI, M., SCHIELLERUP, H., MÜLLER, A., BERTRAND, G., ARVANITIDIS, N., ELIOPOULOS, D. G., SHAW, R. A., THRANE, K. & KEULEN, N. (2016): Europe's rare earth element resource potential: An overview of REE metallogenetic provinces and their geodynamic setting. – Ore Geology Reviews, 72, Part 1: 838 – 856. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169136815300755> [Stand: 20.10.2024].

SADEGHI, M. (2019): Rare earth elements distribution, mineralisation and exploration potential in Sweden. – Rapport och meddelanden, 146: 168 S., 103 Abb., 13 Tab., 2 Anh.; Uppsala (Geological Survey of Sweden). – URL: <https://resource.sgu.se/produkter/rm/rm146-rapport.pdf> [Stand: 20.10.2024].

SILVA, C. M., LODE, S., AASLY, K. & KOWALCZUK, P. B. (2023): Early-stage application of process mineralogy methodologies for mineral tracking in flotation of rare earth elements (REE)-bearing minerals from a deposit in Norway. – Minerals Engineering, 202: 9 S., 10 Abb., 3 Tab., 2 Anh.; Amsterdam. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0892687523002820> [Stand: 20.10.2024].

SARAPÄÄ, O., AL ANI, T., LAHTI, S. I., LAURI, L. S., SARALA, P., TORPPA, A. & KONTINEN, A. (2013): Rare earth exploration potential in Finland. – Journal of Geochemical Exploration, 133: 25 – 41, 8 Abb., 5 Tab.; Amsterdam. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0375674213001118> [Stand: 20.10.2024].

Tab. 44: Relative SEO-Verteilung (in %) und absolute Gehalte von ThO₂ und U₃O₈ (in ppm) in europäischen SE-Lagerstätten, nach verschiedenen Quellen.

Lagerstätte/Land	La ₂ O ₃	CeO ₂	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Tb ₄ O ₇	Dy ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Tm ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Lu ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	ThO ₂	U ₃ O ₈
Fen/Norwegen	31,2	49,6	4,3	12,6	1,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	235	12
Kiruna/Schweden	17,6	39,0	3,9	16,9	2,8	0,3	2,7	0,3	1,7	0,4	1,0	0,1	0,7	0,1	12,3	200	
Norra Kärr/Schweden	9,3	20,9	2,7	10,9	3,0	0,4	3,3	0,7	4,5	1,0	3,1	0,5	2,9	0,4	36,3	8	14
Olserum/Schweden	13,8	31,8	3,9	14,8	3,3	0,2	3,5	0,7	3,5	0,7	2,0	0,3	1,8	0,3	21,3	82	109
Storkwitz/ Deutschland	28,4	47,5	4,7	14,4	1,5	0,3	0,7	0,1	0,4	0,1	0,1	<0,1	0,1	<0,1	1,7		
Canakli SM-Konz./Türkei	22,9	47,3	4,8	15,6	2,2	0,4	1,4	0,1	0,7	0,1	0,3	<0,1	0,3	<0,1	3,7	663	138
Eskişehir Beylikova Konz./ Türkei	33,0	52,8	3,0	8,8	0,3	0,1	0,4	0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1,0	3.800	300



Name	verschiedene
Land	Grönland
Lizenzinhaber	verschiedene (s. Tab. 45)

Tab. 45: Wichtige Projekte mit SEO-Potenzial in Grönland, soweit dazu derzeit Vorratsangaben vorliegen (Quelle: Firmenberichte).

Name	Region	Lizenzinhaber	Mineralisation	Ressourcen
Motzfeldt	Süden	Elemental Rare Metals	Peralkaliner Nephelinsyenit/ ZrO_2 , Nb_2O_5 , Ta_2O_5 , SEO	340 Mio. t Erz @ 0,260 % SEO (884 kt SEO)
Sarfartoq	Westen	Neo North Star Resources ¹⁾	Karbonatit/SEO	5,9 Mio. t Erz @ 1,8 % SEO (104 kt SEO) ²⁾
Grønnedal	Süden	eclipse Metals	Karbonatit/SEO	1,2 Mio. t Erz @ 0,6859 % SEO (8 kt SEO)

¹⁾ April 2023 Verkauf der Lizenz für 3,5 Mio. US\$ durch Hudson Resources Inc. an Neo North Star Resources Inc. (mehrheitlich im Besitz von Neo Performance Materials), Offtake-Agreement über 60 % der geplanten Produktion von 6.500 t/j. SE-Karbonat @ 42 - 45 % SEO an NPM Silmet OÜ

²⁾ cut-off grade: 1,0 % SEO

Literatur

SØRENSEN, L. L., KALVIG, P. & ROSA, D. (2018): The rare earth element potential in Greenland. – *Geology and Ore*, 29: 12 S., 12 Abb., 1 Tab.; Kopenhagen. – URL: <https://eng.geus.dk/media/13174/go29.pdf> [Stand: 22.10.2024].

PAULICK, H., ROSA, D. & KALVIG, P. (2015): Rare Earth Element (REE) exploration potential and projects in Greenland. – *MiMa Rapport*, 2015/2: 52 S., 18 Abb., 6 tab., 1 Anh.; Kopenhagen. – URL: https://data.geus.dk/pure-pdf/MiMa-R_2015_02.pdf [Stand: 22.10.2024].

Tab. 46: Relative SEO-Verteilung (in %) und absolute Gehalte von ThO₂ und U₃O₈ (in ppm) in grönländischen SE-Lagerstätten, nach verschiedenen Quellen.

Lagerstätte	La ₂ O ₃	CeO ₂	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Tb ₄ O ₇	Dy ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Tm ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Lu ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	ThO ₂	U ₃ O ₈
Kringlerne	18,0	35,3	3,8	13,0	2,4	0,3	2,4	0,4	2,9	0,6	1,9	0,3	1,8	0,3	16,6	94	28
Kvanefjeld	25,2	44,6	4,3	13,3	1,4	0,1	1,1	0,2	1,0	0,2	0,5	< 0,1	0,4	< 0,1	7,7	933	314
Motzfeldt	24,7	40,2	4,1	12,4	2,1		2,1	0,0	2,1						12,4		
Grønnedal	11,5	42,0	6,0	27,4	4,5	1,3	2,7	0,3	1,1	0,1	0,2	< 0,1	0,1	< 0,1	2,8		
Safartog	21,8	50,0	5,7	18,6	1,8	0,4	1,0	0,1	0,2						0,4		
Karrat	21,7	40,2	4,5	17,1	3,2	0,9	2,7	0,3	1,5	0,2	0,6	0,1	0,4	0,1	6,5		



Name	verschiedene
Kontinent	Nordamerika
Bundesstaaten	verschiedene (s. Tab. 47 und 49)
Lizenzinhaber	verschiedene (s. Tab. 47 und 49)

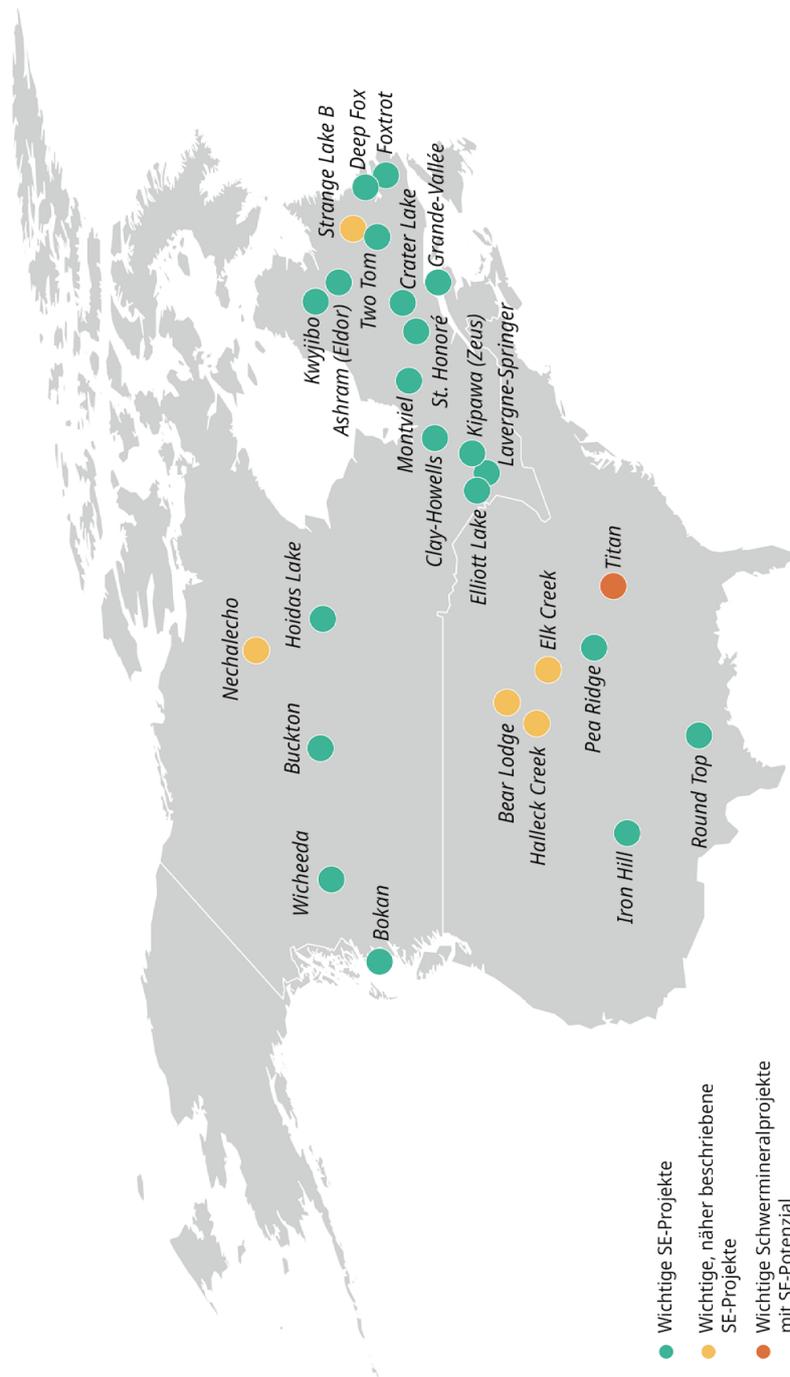


Abb. 37: Karte der Standorte von SE-Bergbauprojekten in Nordamerika.



Name	verschiedene
Land	Kanada
Bundesstaaten	verschiedene (s. Tab. 47)
Lizenzinhaber	verschiedene (s. Tab. 47)

Tab. 47: Wichtige Projekte mit SEO-Potenzial in Kanada, soweit dazu derzeit Vorratsangaben vorliegen (Quelle: Firmenberichte).

Name	Bundesstaat	Lizenzinhaber	Mineralisation	Ressourcen
St. Honoré (Niobec)	QC	Magris Performance Materials	Karbonatit/Nb ₂ O ₅ , SEO	466,8 Mio. t @ 1,65 % SEO (7.702 kt SEO)
Montviel	QC	GéoMégA Resources	Karbonatit/Nb ₂ O ₅ , SEO	82,4 Mio. t Erz @ 1,51 % SEO (1.243 kt SEO)
Buckton	AB	n. v. ¹⁾	Schwarzschiefer/ U ₃ O ₈ , Ni-Co-Sulfide, Cu-Zn-Sulfide, SEO	4,7 Mrd. t Erz @ 0,0252 % SEO (1.187 kt SEO)
Two Tom (Red Wine)	NL	Canada Rare Earth	Peralkalischer Syenit/SEO, Nb ₂ O ₅ , BeO	40,6 Mio. t @ 1,182 % SEO (740 kt SEO)
Wicheeda	BC	Defense Metals	Karbonatit/SEO	34,2 Mio. t @ 2,02 % SEO (699 kt SEO)
Ashram (Eldor)	QC	Commerce Resources	Karbonatit/SEO, CaF ₂	29,3 Mio. t @ 1,89 % SEO (555 kt SEO)
Grande-Vallée	QC	ohne ²⁾	Al-reiche Tonsteine/Al ₂ O ₃ , Ga, SEO	1,004 Mrd. t @ 0,0522 % SEO (524 kt SEO)
Lavergne-Springer	ON	Canada Rare Earth	Karbonatitgänge/ SEO	16,9 Mio. t @ 1,15 % SEO (196 kt SEO) ³⁾
Kwyjibo	QC	SOQUEM/ Investissement Québec	IOCG/Fe ₂ O ₃ , SEO	6,9 Mio. t @ 2,72 % SEO (188 kt SEO)
Foxtrot (Port Hope Simpson) ⁴⁾	NL	Search Minerals	Peralkalische Vulkanite/SEO	13,0 Mio. t @ 0,99 % SEO (128 kt SEO)
Buckton South	AB	n. v. ¹⁾	Schwarzschiefer/ U ₃ O ₈ , Ni-Co-Sulfide, Cu-Zn-Sulfide, SEO	497 Mio. t Erz @ 0,0250 % SEO (124 kt SEO)
Kipawa (Zeus)	QC	Quebec Precious Metals	Peralkalischer Syenit/SEO	23,9 Mio. t @ 0,41 % SEO (98 kt) Reserven: 19,8 Mio. t @ 0,4105 % SEO (81 kt SEO)

Name	Bundesstaat	Lizenzinhaber	Mineralisation	Ressourcen
Elliott Lake (Eco Ridge)	ON	Appia Rare Earths & Uranium	Quarzkieskonglomerat/ U_3O_8 , SEO	51,6 Mio. t @ 0,159 % SE (82 kt SE/97 kt SEO) ⁵⁾
Deep Fox (Port Hope Simpson)	NL	Search Minerals	Peralkalische Vulkanite/SEO	8,3 Mio. t @ 1,05 % SEO (87 kt SEO) (54 ppm U_3O_8 , 274 ppm ThO_2)
Crater Lake	QC	Imperial Mining Group	Syenit/Sc, SEO	20,5 Mio. t @ 0,4 % SEO (82 kt SEO)
Hoidas Lake	SK	n. v. ⁶⁾	Apatit-Allanitgänge/SEO, P_2O_5	2,8 Mio. t @ 2,48 % SEO (71 kt SEO)
Clay-Howells	ON	n. v. ⁷⁾	Karbonatit/SEO, Fe_2O_3 , Nb_2O_5 , MnO_2	8,5 Mio. t @ 0,732 % SEO (62 kt SEO)

¹⁾ letzter bekannter Lizenzinhaber: DNI Metals Inc., Mississauga, ON, Kanada; Überdeckung durch sehr mächtige Grundmoräne

²⁾ letzter bekannter Lizenzinhaber Orbite Aluminae Inc. (Insolvenz im April 2017)

³⁾ 160 ppm ThO_2

⁴⁾ Antragsverfahren von Impact Assessment Agency of Canada im August 2022 wegen Nichteinreichung von geforderten Unterlagen eingestellt

⁵⁾ vom Vorbesitzer Pele Mountain Resources Inc. im Juni 2017 als unwirtschaftlich eingestuft und Lizenz verkauft

⁶⁾ letzter bekannter Lizenzinhaber seit 10.2015: Mont Strategies Inc., Calgary, AB, Kanada

⁷⁾ letzter bekannter Lizenzinhaber: Canada Rare Earth Corporation (Lizenz verkauft)

Literatur

KERR, A. & RAFUSE, H. (2011): Rare earth elements. – Mineral Commodities of Newfoundland and Labrador, Geological Survey of Newfoundland and Labrador, Mineral Commodities Series, 6: 12 S., 13 Abb., St. John's, NL, Kanada. – URL: <https://www.gov.nl.ca/iet/files/mines-investments-ree-commodities.pdf> [Stand: 20.10.2024].

ONTARIO GEOLOGICAL SURVEY (2022): An introduction to Ontario's critical minerals, with highlights from the Ontario Mineral Inventory. – Ontario Geological Survey: 69 S.; Sudbury, ON, Kanada. – URL: https://www.geologyontario.mndm.gov.on.ca/mines/ogs/rgp/Ontarios_Critical_Minerals_Introduction.pdf [Stand: 20.10.2024].

SIMANDL, G. J. & CLARKE, G. (2016): Rare metals. – British Columbia Geological Survey, Information Circular, 2016-4: 2 S.; Victoria, BC, Kanada. – URL: https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/farming-natural-resources-and-industry/mineral-exploration-mining/documents/mineral-development-office/rare_metals_information_circular_2016-4.pdf [Stand: 20.10.2024].

Tab. 48: Relative SEO-Verteilung (in %) und absolute Gehalte von ThO₂ und U₃O₈ (in ppm) in kanadischen SE-Lagerstätten, nach verschiedenen Quellen.

Lagerstätte/Provinz	La ₂ O ₃	CeO ₂	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Tb ₄ O ₇	Dy ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Tm ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Lu ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	ThO ₂	U ₃ O ₈
Nechalecho Basal/NT	35,1	33,5	4,2	16,7	3,8	0,5	3,6	0,6	3,3	0,6	4,7	0,2	1,3	0,2	14,8	139	28
Nechalecho North T/NT	24,0	49,6	5,4	18,1	1,9	0,2	0,6	0,1	0,1	<0,1	<0,1				<0,1		
Nechalecho Tardiff/NT	23,2	44,7	5,1	18,7	2,8	0,3	2,0	0,2	0,6	0,1	0,1		<0,1	<0,1	2,2		
Strange Lake/QC	13,8	29,1	3,2	12,1	2,7	0,1	2,6	0,6	3,6	0,8	2,5	0,4	2,6	0,4	25,3	305	60
Ashram/QC	21,7	43,5	5,0	18,6	2,9	0,8	1,9	0,2	0,9	0,1	0,3	0,0	0,2	0,0	3,9	315	
Montviel/QC	26,5	48,6	5,1	16,2	1,7	0,3	0,6	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,6	171	21
St. Honore/QC	24,5	47,9	5,3	18,4	2,1	0,4	0,3										
Kipawa/QC	14,3	29,1	3,6	13,4	3,0	0,4	2,9	0,5	3,6	0,8	2,5	0,4	2,3	0,3	23,0	260	32
Kwyjibo/QC	12,1	31,9	3,8	17,0	3,1	<0,1	3,7	0,1	3,4	0,1	2,0	<0,1	1,2	<0,1	19,5	1.045	50
Wicheeda/BC	34,2	48,5	4,0	11,4	1,2	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1							
Clay-Howells/ON	25,0	43,4	4,4	15,0	2,3	0,5	1,5	0,5	0,9	0,1	0,4	0,0	0,4	0,0	5,9	550	
Elliott Lake/ON	25,6	45,2	4,5	15,0	2,5	<0,1	1,6	0,2	0,9	0,1	0,3	<0,1	0,3	<0,1	3,6		
Deep Fox/NL	18,4	37,6	4,4	16,2	3,0	0,1	2,3	0,4	2,2	0,4	1,2	0,2	1,0	0,2	12,6		
Two Tom/NL	24,4	46,0	4,7	15,9	2,7	0,2	1,6	0,2	0,9	0,1	0,2	0,0	0,1	0,0	3,2	600	
Douglas River/SK	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	0,3	<0,1	2,0	11,8	<0,1	3,6	<0,1	1,6		80,4		
Benjamin River/NB	12,9	31,8	4,4	17,6	3,6	0,2	4,0	0,6	3,2	0,6	1,7	<0,2	1,2		17,8		



Name	verschiedene
Land	USA
Bundesstaaten	verschiedene (s. Tab. 49)
Lizenzinhaber	verschiedene (s. Tab. 49)

Tab. 49: Wichtige Projekte mit SEO-Potenzial in den USA, soweit dazu derzeit Vorratsangaben vorliegen (Quelle: Firmenberichte) (HM = heavy minerals, Il = Ilmenit, Mo = Monazit, Rt = Rutil, St = Staurolith, Xe = Xenotim, Zr = Zirkon).

Name	Bundesstaat	Lizenzinhaber	Mineralisation	Ressourcen
Halleck Creek	WY	American Rare Earths	Granitoide/SEO, Zirkon	2,63 Mrd. t Erz @ 0,3292 % SEO (8.647 kt SEO) ¹⁾
Iron Hill/ Powderhorn	CO	n. v.	Karbonatit/SEO, TiO ₂ , Nb ₂ O ₅ , ThO ₂	655,6 Mio. t Erz @ 0,397 % SEO (2.602 kt SEO)
Round Top	TX	Texas Mineral Resources	Peralkaliner Rhyolith/SEO, Nb, Ta, Hf, U ₃ O ₈ , Be	479,8 Mio. t Erz @ 0,0633 % SEO (304 kt SEO) ²⁾
Bokan	AK	Ucore Rare Metals	Pegmatitgänge/SEO, Nb, Zr	5,2 Mio. t Erz @ 0,653 % SEO (34 kt SEO) (40 % schwere SEO) ³⁾
Pea Ridge	MS	Caldera Holding	Brekziengänge in Eisenerz/SEO	200 kt Erz @ 12 % SEO (24 kt SEO)
Titan ⁴⁾	TN	IperionX	Schwermineral-Seife/Il, Rt, Zr, Mo/Xe, St	431 Mio. t Erzsand @ 2,2 % HM (9,5 Mio. t HM) @ 2,1 Mo/Xe (199 kt Mo/Xe)

¹⁾ cut-off grade: 0,1 % SEO

²⁾ cut-off grade: 0,0428 % Y-Äquivalent

³⁾ Untertageabbau über elf Jahre (LOM) geplant

⁴⁾ Produktion von 4,6 kt Monazit-/Xenotimkonzentrat (@ 80 % Mo + 10 % Xe) @ 58 – 59 SEO /J. über 25 J. (LOM) geplant, Ausbringen 77,1 % Monazit/Xenotim, 4.2021: MoU mit Energy Fuels Inc. zur Versorgung der SE-Weiterverarbeitungsanlage White Mesa Mill/Utah mit Monazit-/Xenotimkonzentrat

Literatur

VAN GOSEN, B. S., VERPLANCK, P. L. & EMSBO, P. (2019): Rare earth element mineral deposits in the United States (ver 1.1, April 15, 2019). – U.S. Geological Survey Circular, 1454: 16 S., 8 Abb., 2 Tab.; Reston, VA. – URL: <https://doi.org/10.3133/cir1454> [Stand: 20.11.2024].

LONG, K. R., VAN GOSEN, B. S., FOLEY, N. K. & CORDIER, D. (2010): The principal rare earth elements deposits of the United States—A summary of domestic deposits and a global perspective. – U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report, 2010 – 5220: 96 S., 23 Abb., 22 Tab.; Reston, VA. – URL: <http://pubs.usgs.gov/sir/2010/5220> [Stand: 20.11.2024].

Tab. 50: Relative SEO-Verteilung (in %) und absolute Gehalte von ThO₂ und U₃O₈ (in ppm) in US-amerikanischen SE-Lagerstätten, nach verschiedenen Quellen.

Lagerstätte/Staat	La ₂ O ₃	CeO ₂	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Tb ₄ O ₇	Dy ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Tm ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Lu ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	ThO ₂	U ₃ O ₈
Mountain Pass Erz/ Kalifornien	30,4	48,8	4,5	13,2	1,2	0,2	0,3	0,1	0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,2	200	20
Mountain Pass Konz./Kalifornien	32,3	50,2	15,7		1,8						1,8						
Bear Lodge – Bull Hill/Wyoming	26,8	43,0	4,9	17,9	3,0	0,7	1,6	0,1	0,5	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,3	154	55
Halleck Creek/ Wyoming	20,2	42,8	4,8	17,9	2,8	0,4	1,9	0,2	1,3	0,2	0,6	< 0,1	0,5	< 0,1	5,7	62	7
Bokan/Alaska	10,0	29,1	3,5	14,1	3,7	0,3	3,7	0,6	4,1	0,7	2,1	0,3	1,7	< 0,1	25,7	91	78
Round Top/Texas	3,7	14,7	1,9	5,2	1,9	0,3	1,9	0,6	5,6	1,4	4,5	1,3	10,2	1,6	44,0	203	53
Elk Creek/Nebraska	23,5	40,4	4,3	15,7	3,6	1,2	2,9	0,3	1,3	0,2	0,5	0,1	0,3	< 0,1	5,7	472	57
Pea Ridge/Missouri	25,4	44,9	4,0	13,1	2,7	0,2	1,1	< 0,1	1,2	0,2	0,6	< 0,1	0,9	0,1	5,5		
Lemhi Pass/Idaho	7,0	19,0	3,0	18,0	11,0	4,0	11,0	0,5	4,0	0,5	0,2	< 0,2	0,5	< 0,2	21,0		



Name	verschiedene
Kontinent	Südamerika
Bundesstaaten	verschiedene (s. Tab. 51 und 52)
Lizenzinhaber	verschiedene (s. Tab. 51 und 52)



Abb. 38: Karte der Standorte von SE-Bergbauprojekten in Südamerika.

Tab. 51: Wichtige Projekte mit SEO-Potenzial in Südamerika, soweit dazu derzeit Vorratsangaben vorliegen (Quelle: Firmenberichte und staatliche Angaben) (Col = Columbit, Cs = Cassiterit, Il = Ilmenit, Mo = Monazit, Xe = Xenotim, Zr = Zirkon)

Name	Land	Lizenzinhaber	Typ/ Wertminerale	Ressourcen
Catalão I	Brasilien	China Molybdenum Company (CMOC)	Karbonatit/P ₂ O ₅ , Nb ₂ O ₅ , TiO ₂ , Vermikulit, SEO	78,9 Mio. t Erz @ 8,67 SEO (6.841 kt SEO)
Caldeira	Brasilien	Meteoric Resources	Regolith über Nephelinsyeniten/SEO	409 Mio. t Erz @ 0,2626 % SEO (1.074 kt SEO) ¹⁾
Ema	Brasilien	Brazilian Critical Minerals	Regolith über Rhyolithen und Ignimbriten/SEO	1,017 Mio. t Erz @ 0,0793 % SEO (806 kt SEO)
Monte Alto	Brasilien	Brazilian Rare Earths	Monazitsand/SEO, Nb ₂ O ₅ , Sc, U ₃ O ₈	510 Mio. t @ 0,1513 % SEO (772 kt SEO)
Araxá ²⁾	Brasilien	Companhia Minadora do Pirocloro de Araxá (Comipa) (CBMM/Codemig) MBAC Fertilizantes Corp. (Itafos Inc.)	Karbonatit/Nb ₂ O ₅ , P ₂ O ₅ , BaSO ₄ , SEO	CBMM: 14,2 Mio. t Erz @ 3,02 % SEO (429 kt SEO) Codemig: 7,73 Mio. t Erz @ 2,35 % SEO (182 kt SEO) MBAC: 6,34 Mio. t Erz @ 5,01 % SEO (318 kt SEO)
Colossus	Brasilien	Viridis Mining	Regolith über Nephelinsyenit/SEO	201 Mio. t Erz @ 0,259 % SEO (520 kt SEO)
Carina Module	Brasilien	Aclara Resources	Regolith über Graniten/SEO	297,6 Mio. t Erz @ 0,1452 % SEO (432 kt SEO) ³⁾
Bom Futuro Halden ⁴⁾	Brasilien	Canada Rare Earth	Halden/Cs, Zr, Il, Mo	47,3 Mio. t @ 0,365 % SEO (173 kt SEO) ⁵⁾
Barra do Itapirapuã	Brasilien	n. v.	Karbonatit/SEO, CaF ₂ , Pb	44,8 Mio. t Erz @ 0,7 % SEO (314 kt SEO)
Catalão II	Brasilien	China Molybdenum Company (CMOC)	Karbonatit/Nb ₂ O ₅ , P ₂ O ₅ , SEO	25 Mio. t Erz @ 0,98 % SEO (245 kt SEO)
PCH/Cachoeirinha	Brasilien	Appia Rare Earths & Uranium	Regolith über Graniten/SEO, CoO, Sc	52,8 Mio. t Erz @ 0,2841 % SEO (150 kt SEO) (30 % mittelschwere/schwere SEO)
Morro do Ferro (Pocos de Caldas)	Brasilien	Mineração Terras Raras	Verwitterte Tonsteine/SEO	3,58 Mio. t Erz @ 3,89 % SEO (139 kt SEO) ⁶⁾
Rodeo de Los Molles	Argentinien	n. v.	Alkaligranit/SEO, Th, U ⁷⁾	5,6 Mio. t Erz @ 2,1 % SEO (118 kt SEO), 6 % schwere SEO
Pitinga Erz	Brasilien	Mineração Taboca SA	Granit/Cs, Col, ZrO ₂ , SEO	56,0 Mio. t Erz @ 0,149 % SEO (84 kt SEO)

Name	Land	Lizenzinhaber	Typ/ Wertminerale	Ressourcen
Penco Module	Chile	Aclara Resources	Regolith über Granit/SEO	27,5 Mio. t Erz @ 0,2292 % SEO (63 kt SEO) ⁸⁾
Pitinga Halden	Brasilien	Mineração Taboca SA	Halden/Cs, Ta ₂ O ₅ , Kryolith, Xe	2 Mio. t @ 0,1 % Y ₂ O ₃ (5,4 kt Xe)
Morro dos Seis Lagos	Brasilien	Ohne ⁹⁾	Karbonatit/ Nb ₂ O ₅ , SEO	250 kt t Erz @ 0,65 % SEO (1,6 kt SEO)

¹⁾ cut-off grade 1.000 ppm (0,1000 %) SEO, @ cut-off grade 500 ppm SEO: 413 Mio. t Erz @ 0,2607 % SEO (1.077 kt SEO), geringe Gehalte an mittelschweren SEO (3,9 %) und schweren SEO (6,4 %) im Erz

²⁾ zwischen 2012 und 2018 durch CBMM aus den Abgängen der Nb-Aufbereitung auch kommerzielle Produktion von Ce-, La-, Pr-, Nd- und MREO/HREO-Sulfaten sowie -Hydroxiden (Kapazität 1.000 t SEO-Inhalt/J., Produktionsmenge wesentlich geringer) sowie zwischen 2014 und 2018 in einer Pilotanlage auch von CeO₂, La₂O₃, (NdPr)₂O₃ und schweren SEO (15 – 20 t/J.)

³⁾ Ausbringen 18,5 – 31,2 %, je nach Horizont

⁴⁾ Zinnsteinabbau seit 1987, seit 2001 durch Cooperativa dos Garimpeiros de Santa Cruz Ltda. (COOPERSANTA)

⁵⁾ SEO-Gehalt nah Yongzhou Xiangiang Rare Earth Co., Ltd.

⁶⁾ sehr hohe Th-Gehalte im Erz

⁷⁾ 200 ppm U₃O₈ (950 t U- und 10.000 t Th-Inhalt)

⁸⁾ davon nach metallurgischen Tests 22,8 % ausbringbar

⁹⁾ Lage in einem Naturschutzgebiet im Amazonas

Tab. 52: Wichtige Schwermineralprojekte mit SEO-Potenzial in Südamerika, soweit dazu derzeit Vorratsangaben vorliegen (Quelle: Firmenberichte) (HM = heavy minerals, Au = Gold, Gr = Granat, Il = Ilmenit, Mo = Monazit, Rt = Rutil, Zr = Zirkon).

Name	Land	Lizenzinhaber	Typ/ Wertminerale	Ressourcen
Praia da Juréia (Iguape) (SP)	Brasilien	n. v.	Küstenseife/Il, Rt, Zr, Mo	22,4 Mio. t Erzsand @ 20 % HM @ 3,0 % Mo (134,4 kt Mo)
Brejo Grande – Pacatuba (SE)	Brasilien	n. v.	Küstenseife/Il, Rt, Zr, Mo	Sand @ 2,2 % HM @ 1,5 % Mo (62 kt Mo)
São Francisco de Itabapoana (RJ)	Brasilien	Buena Sul: Industrias Nucleares do Brasil	Küstenseife/Il, Rt, Zr, Mo	46,9 kt Mo ¹⁾
São Gonçalo do Sapucaí (MG)	Brasilien	n. v.	Flusseife/Il, Zr, Mo, Au	29 kt Mo
Praia das Pedras (Ilha do Cardoso) (SP)	Brasilien	n. v.	Küstenseife/Il, Rt, Zr, Mo	6,3 Mio. t Erzsand @ 23 % HM @ 1,2 % Mo (17,4 kt Mo)
Delta do Rio Pa- raíba do Sul (RJ)	Brasilien	Nuclebras/ Nuclemon	Küstenseife/Il, Rt, Zr, Mo	13,7 kt Mo
Cumuruxatiba (BA) ²⁾	Brasilien	n. v.	Küstenseife/Il, Rt, Zr, Mo	4,5 kt Mo ¹⁾
Praia de Fora (Ilha do Cardoso) (SP)	Brasilien	n. v.	Küstenseife/Il, Rt, Zr, Mo	5,8 Mio. t Erzsand @ 2 % HM @ 3,6 % Mo (4,1 kt Mo)

Name	Land	Lizenzinhaber	Typ/ Wertminerale	Ressourcen
Anchieta + Aracruz (ES)	Brasilien	n. v.	Küstenseife/Il, Rt, Zr, Mo	3,6 kt Mo
Río Ctalamochita	Argentinien	n. v.	Flussseife/Mo, Gr	31,7 Mio. m ³ @ 73 ppm Mo (5.480 t Mo, 3.350 t SEO)

¹⁾ historische Daten, da teils abgebaut

²⁾ Südlich des Strandabschnitts von Cumuruxatiba, in dem ca. 50 km langen Strandabschnitt zwischen Prado und Caravelas (noch ohne Ressourcenabschätzung), plant Energy Fuels Inc. die Gewinnung von jährlich 3.000 bis 10.000 t Monazitkonzentrat @ 80 – 90 % Monazitinhalt zur langfristigen Versorgung seiner U-SE-Aufbereitungsanlage White Mesa Mill in Utah/USA.

Literatur

BUCH, T., MARBLER, H., GOLDMANN, S., HAUBRICH, F. & TRINKLER, M. (2018): Investigation of tin and tantalum ores from the Rondônia Tin Province, northern Brazil, to develop optimized processing technologies. – DERA Rohstoffinformationen 37: 160 S., zahlr. Abb., 32 Tab., 11 Anh.; Berlin. – URL: https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-38.pdf;jsessionid=AF73CFF-A33BB0E56A96220CFA18541EB.internet951?__blob=publicationFile&v=10 [Stand: 20.11.2024].

DE MORAES, L. C. & SEER, H. J. (2018): Substâncias minerais – Terras raras. – Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (CODEMGE), Recursos Minerais de Minas Gerais – RMMG: Belo Horizonte, MG, Brasilien. – URL: <http://recurso-mineralmg.codemge.com.br/substancias-minerais/terras-raras/> [Stand: 20.11.2024].

TAKEHARA, L., SHINTAKU, I., RABELO, D. M. & SILVEIRA, F. V. (2015): Avaliação do potencial de Terras Raras no Brasil. – CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Informe de Recursos Minerais, Série Minerais Estratégicos, 2: 218 S. – URL: https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/16923/3/IRM-Terras_raras.pdf [Stand: 20.11.2024].

ZAPPETINI, E. O. (2022). Elementos de las tierras raras. Panorama general y evaluación del potencial en la República Argentina. – Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Serie Contribuciones Técnicas – Recursos Minerales, 48: 95 S., 75 Abb., 17 Tab.; Buenos Aires. – URL: <https://repositorio.segemar.gov.ar/handle/308849217/4223> [Stand: 20.11.2024].

Tab. 53: Relative SEO-Verteilung (in %) und absolute Gehalte von ThO₂ und U₃O₈ (in ppm) in südamerikanischen SE-Lagerstätten, nach verschiedenen Quellen.

Lagerstätte/Land	La ₂ O ₃	CeO ₂	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Tb ₄ O ₇	Dy ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Tm ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Lu ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	ThO ₂	U ₃ O ₈
Araxa/Brasilien	27,2	49,9	4,6	14,0	1,4	0,3	0,7	0,1	0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,1		
EMA/Brasilien	24,8	29,7	6,4	20,8	3,0	0,6	2,2	0,3	1,6	0,3	0,8	0,1	0,8	0,1	8,5		
Caldeira/Brasilien	18,3	46,8	6,5	17,9	2,0	0,5	1,4	0,2	0,8	0,1	0,3	0,0	0,3	0,0	4,7		
PCH/Brasilien	26,0	45,5	4,3	13,3	1,9	0,5	1,4	0,2	1,0	0,2	0,4	0,1	0,4	< 0,1	5,0		
Carina Module/ Brasilien	18,6	31,0	4,3	15,2	3,0	0,1	2,5	0,4	2,7	0,5	1,7	0,3	1,7	0,3	17,5		
Penco Module/Chile	16,4	33,6	4,0	15,6	2,6	0,1	2,5	0,4	3,0	0,6	1,9	0,3	1,6	0,3	16,9		
Morro do Ferro/ Brasilien	25,7	48,8	5,0	13,7	1,5	0,4	0,9	0,1	0,5	0,1	0,2	< 0,1	0,2	< 0,1	2,0	5.645	53
Pitinga (Xenotim)/ Brasilien	< 0,1	0,6	< 0,1	0,4	0,4	< 0,1	1,1	0,8	11,2	3,4	15,4	3,0	20,4	2,7	40,6	5.900	700
Massangana Halden/Brasilien	26,2	40,8	4,6	17,9	3,1	< 0,1	2,1	0,2	1,1	0,2	0,3	< 0,1	0,2	< 0,1	3,2	3,83 %	1.500

IV. Ranking ausgewählter SE-Projekte

Tab. 54: Übersichtsdarstellung der in dieser Studie näher dargestellten SE-Bergbauprojekte und sich daraus ergebendes Ranking auf einer Skala von -40 bis +40 (Summe der 20 Einzelbewertungen, wobei -- = -2 = sehr schlecht, - = -1, o = 0, + = +1 und ++ = +2 = sehr gut).

	Eneabba – Australien	Dubbo – Australien	Toliara – Madagsakar	Bear Lodge – USA	Phaxay – Laos ²⁴⁾	Ngualla – Tansania	Lofdal – Namibia ²⁴⁾	Nolans – Australien	Tomtor – Russland	Zandkopsdrift – Südafrika	Browns Range – Australien ²⁴⁾	Longonjo – Angola	Nechalecho – Kanada ²⁴⁾	Kvanefeld – Grönland	Yangibana – Australien	Dong Pao – Vietnam	Kringlerne – Grönland ²⁴⁾	Strange Lake – Kanada ²⁴⁾	Elk Creek – USA
SE-Endprodukt ¹⁾	++	++	--	+	+	--	+	+	+	+	--	+	++	+	+	++	--	++	--
Infrastruktur Vorkommen ²⁾	+	+	--	o	--	--	--	--	--	--	--	-	--	--	--	--	--	--	+
Konzept ³⁾	++	++	+	++	o	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	--	--	-	--
Klima ⁴⁾	++	++	+	++	o	o	-	-	--	-	-	o	--	--	-	o	--	--	++
Länderrisiko ⁵⁾	++	++	-	+	-	o	o	++	--	o	++	-	++	++	++	o	++	++	+
Aufwand Gewinnung ^{6), 7)}	++	o	++	-	++	+	o	o	-	o	--	o	--	o	--	o	o	-	--
Aufwand Aufbereitung ^{8), 9)}	++	o	++	+	++	-	-	o	-	+	+	o	-	-	o	--	+	-	o
Aufwand Separation ^{10), 11)}	-	o	-	-	o	o	-	o	o	-	-	o	-	-	o	o	o	-	o
Radioaktivität ¹²⁾	--	--	--	+	++	++	++	--	o	+	++	-	+	--	--	-	++	+	-
Umwelt-/ Sozialrisiken ¹³⁾	++	++	++	++	-	++	++	o	--	++	++	+	++	--	++	o	--	--	++
Größe ¹⁴⁾	--	-	-	o	o	++	o	+	++	o	o	++	++	++	--	o	++	++	--
Gehalt ¹⁵⁾	++	-	++	+	--	+	+	+	++	+	++	o	++	o	-	++	++	++	--
Wertminerale ¹⁶⁾	o	++	++	++	--	++	--	+	++	-	--	--	+	+	--	o	++	+	+
Projektstand ¹⁷⁾	++	o	+	o	++	o	--	o	--	o	o	-	o	--	o	--	--	-	--
Investitionskosten ¹⁸⁾	--	--	-	o	o	o	o	--	--	-	o	o	--	-	o	o	+	--	--
Finanzierung ¹⁹⁾	++	+	++	+	++	+	-	+	-	-	-	+	--	+	+	--	--	-	--
Bergbau- erfahrung ^{5), 20)}	++	+	++	--	++	--	++	--	++	--	--	--	--	--	--	+	--	--	--
Aufbereitungs- erfahrung ^{7), 21)}	++	+	++	o	++	o	+	o	++	--	-	--	-	o	--	--	--	-	--
Separations- erfahrung ^{8), 22)}	++	+	++ ²⁷⁾	o	++	++ ²⁵⁾	+	o	+	--	--	--	-	++ ²⁵⁾	++ ²⁶⁾	--	--	-	--
Anmerkungen ²³⁾	++	+	o	o	o	-	-	-	o	+	o	-	--	--	-	o	--	--	+
Gesamt	+ 22	+ 12	+ 11	+ 10	+ 9	+ 6	0	- 2	- 4	- 5	- 6	- 7	- 7	- 7	- 8	- 10	- 12	- 12	- 15

Erläuterungen zu Tabelle 54

- ¹⁾ SE-Mineralkonzentrat bzw. keine Information: --,
SE-Mischkonzentrat unbekannter Art: -,
verschiedene SE-Mischkonzentrate: o,
SE-Mischkarbonat, SE-Mischoxalat, nur einige separierte Oxide
(leichte SEO) o. ä.: +,
separierte SEO o. ä.: ++
- ²⁾ keinerlei Infrastruktur: --,
geringe Infrastruktur: -,
zum Teil vorhandene Infrastruktur: o,
größtenteils vorhandene Infrastruktur: +,
ausgezeichnete Infrastruktur: ++
- ³⁾ unlogisches oder fehlendes Konzept: --,
aufwändiges Konzept: -,
Teilkonzept: o,
gut durchdachtes Teilkonzept: +,
schlüssiges, vollständiges, gut durchdachtes Konzept: ++
- ⁴⁾ arktisches bzw. subarktisches Klima: --,
arides bzw. semiarides Klima: -,
tropisches bzw. subtropisches Klima: o,
kühles bzw. heißes Klima: +,
mediterranes bzw. temperiertes Klima: ++
- ⁵⁾ nach WORLD BANK (2023)
- ⁶⁾ Gewinnung in dieser Studie: bergmännische Förderung des
SE-Erzes oder anderen Gesteins
- ⁷⁾ Untertagebergbau: --,
selektiver Festgesteinsabbau: -,
Festgesteinsabbau: o,
Lockergesteinsabbau: +,
Seifenabbau: ++
- ⁸⁾ Aufbereitung in dieser Studie: physikalische oder physikalisch-
chemische Abtrennung der SE-Mineralie aus dem Erz und Herstel-
lung eines möglichst hoch angereicherten SE-Mineralkonzentrats
zur besseren Separation
- ⁹⁾ sehr hoch bzw. Versuche eingestellt: --,
hoch bzw. vermutlich hoch: -,
mittel bzw. Versuche ausstehend: o,
gering bzw. vermutlich gering: +,
sehr gering: ++
Separation in dieser Studie: chemische Aufbereitung des SE-Mi-
neralkonzentrats z. T. auch des gesamten Erzes zur Abtrennung
der SE-Fraktion und ggf. auch Fraktionierung in einzelne SE, SEO
oder SE-Verbindungen
- ¹¹⁾ sehr hoch bzw. Versuche eingestellt: --,
hoch bzw. vermutlich hoch: -,
mittel bzw. Versuche ausstehend: o,
gering bzw. vermutlich gering: +,
sehr gering: ++
- ¹²⁾ $U_3O_8 > 100$ ppm und $ThO_2 > 400$ ppm: --,
 $U_3O_8 > 100$ ppm und $ThO_2 < 400$ ppm oder $U_3O_8 < 100$ ppm und
 $ThO_2 > 400$ ppm: -
 $U_3O_8 \gg 100$ ppm und ThO_2 unbekannt oder U_3O_8 unbekannt und
 $ThO_2 \gg 400$ ppm: o
 $U_3O_8 < 100$ ppm und $ThO_2 < 400$ ppm: +
 $U_3O_8 \ll 100$ ppm und $ThO_2 \ll 400$ ppm: ++
- ¹³⁾ voraussehbare gravierende Umwelt-/Sozialrisiken: --,
mögliche Umwelt-/Sozialrisiken: -,
Umwelt-/Sozialrisiken nicht bewertbar: o,
nur unbedeutende Umwelt-/Sozialrisiken: +,
keine erkennbaren Umwelt-/Sozialrisiken: ++
- ¹⁴⁾ leichte SEO-dominierte Lagerstätten: < 500.000 t SEO-Inhalt: --,
501.000 – 900.000 t SEO-Inhalt: -,
901.000 – 1.100.000 t SEO-Inhalt: o,
1.101.000 – 1.500.000 t SEO-Inhalt: +,
> 1.500.000 t SEO-Inhalt: ++
schwere SEO-reiche Lagerstätten: < 10.000 t SEO-Inhalt: --,
10.001 – 50.000 t SEO-Inhalt: -,
50.001 – 100.000 t SEO-Inhalt: o,
100.001 – 250.000 t SEO-Inhalt: +,
> 250.000 t SEO-Inhalt: ++
- ¹⁵⁾ leichte SEO-dominierte Lagerstätten: < 0,50 % SEO: --,
0,51 – 0,99 % SEO: -,
1,00 – 2,00 % SEO: o,
2,01 – 5,00 % SEO: +,
> 5,01 % SEO: ++
schwere SE-reiche Lagerstätten: < 0,05 % SEO: --,
0,05 – 0,08 % SEO: -,
0,08 – 0,1 % SEO: o,
0,1 – 0,5 % SEO: +,
> 0,5 % SEO: ++
- ¹⁶⁾ kein weiteres Wertmineral: --,
ein weiteres Wertmineral: -,
zwei weitere Wertminerale: o,
drei weitere Wertminerale: +,
vier und mehr weitere Wertminerale: ++
- ¹⁷⁾ kein realistischer Produktionsbeginn: --,
Produktionsbeginn von mehreren Faktoren abhängig: -,
Produktionsbeginn finanzierungsabhängig: o,
Produktionsbeginn absehbar: +,
Projekt in Umsetzung: ++
- ¹⁸⁾ > 1 Mrd. US\$: --,
1.000 – 500 Mio. US\$: -,
500 – 250 Mio. US\$ bzw. keine Angaben: o,
250 – 100 Mio. US\$: +,
< 100 Mio. US\$: ++ [erfolgte keine Aufschlüsselung nach Berg-
bau/Aufbereitung und Separation wurden die Kosten 1/5 zu 4/5
verteilt]
- ¹⁹⁾ Finanzierung ausstehend: --,
Finanzierung fraglich: -,
Finanzierung nicht bewertbar: o,
Finanzierung teilweise gesichert: +,
Finanzierung vollständig gesichert: ++
- ²⁰⁾ keinerlei Bergbauerfahrung: --,
sehr geringe Bergbauerfahrung: -,
Bergbauerfahrung: o,
große Bergbauerfahrung: +,
sehr große Bergbauerfahrung: ++
- ²¹⁾ keinerlei Aufbereitungserfahrung: --,
sehr geringe Aufbereitungserfahrung: -,
Aufbereitungserfahrung: o,
große Aufbereitungserfahrung: +,
sehr große Aufbereitungserfahrung: ++ (Anm.: auch durch
Versuche in großen Pilotanlagen)
- ²²⁾ keinerlei Separationserfahrung: --,
sehr geringe Separationserfahrung: -,
Separationserfahrung: o,
große Separationserfahrung: +,
sehr große Separationserfahrung: ++ (Anm.: auch durch Versuche
in großen Pilotanlagen)
- ²³⁾ keinerlei Pluspunkte/zahlreiche Minuspunkte: --,
wenige Pluspunkte/Minuspunkte: -,
mehrere, aber nicht ausschlaggebende Pluspunkte/
Minuspunkte: o,
zahlreiche, aber nicht ausschlaggebende Pluspunkte/keine
Minuspunkte: +,
zahlreiche und ausschlaggebende Pluspunkte/keinerlei
Minuspunkte: ++
- ²⁴⁾ erhöhter bzw. stark erhöhter Anteil an schweren SEO
- ²⁵⁾ durch Projektpartner Shenghe Resources
- ²⁶⁾ durch Anteilseigner Neo Performance Materials Inc.
- ²⁷⁾ durch Mutterunternehmen Energy Fuels Inc.

V. Indikatoren zur Risikobewertung

Indikator			Risikobewertung		
			gering	mittel	hoch
Angebot 2023	Seltene Erden	Indikator			
Recyclingrate		EOL-RR			< 1 %
Derzeitige Marktdeckung (Md)	Qualitativ	Md			
Länderkonzentration der Produktion	Bergwerksförderung	HHI			4.722
Gewichtetes Länderrisiko der Produktion	Bergwerksförderung	GLR		-0,28	
Länderkonzentration der Produktion	Raffinade	HHI			8.712
Gewichtetes Länderrisiko der Produktion	Raffinade	GLR		-0,25	
Handel					
Importe Deutschlands 2023					
Diversifizierung	SE-Verbindungen (284690)	HHI			5.536
Gewichtetes Länderrisiko	SE-Verbindungen (284690)	GLR		0,15	
Diversifizierung	SE-Metalle (280530)	HHI			9.151
Gewichtetes Länderrisiko	SE-Metalle (280530)	GLR		-0,25	

Länderkonzentration der der Produktion bzw. Importe Deutschlands (HHI):

Summe der quadrierten Anteile an der Produktion bzw. der deutschen Importe

Bewertungsskala HHI:

10.000 – 2.500 = *bedenklich*

2.500 – 1.500 = *mäßig bedenklich*

1.500 = *unkritisch*

Gewichtetes Länderrisiko der Produktion bzw. Importe Deutschlands (GLR):

Summe der Anteile der Produktion bzw. der deutschen Importe multipliziert mit dem Länderrisiko

Bewertungsskala GLR:

-2,5 – -0,5 = *bedenklich*

-0,5 – 0,5 = *mäßig bedenklich*

-0,5 – 2,5 = *unkritisch*

Derzeitige Marktdeckung (Md):

Qualitativ bewertet

Glossar

Diversifizierung der Importe	Die Diversifizierung der Importe errechnet sich mithilfe des HHI, wobei die mengenmäßigen Anteilswerte am Import auf Länderebene herangezogen werden.
Gewichtetes Länderrisiko	Das gewichtete Länderrisiko (GLR) errechnet sich aus der Summe der Anteilswerte der Länder an der Produktion, dem Nettoexport oder dem deutschen Import, multipliziert mit dem Länderrisiko (LR). Das gewichtete Länderrisiko liegt in einem Intervall zwischen +2,5 und -2,5. Bei Werten über 0,5 wird das Risiko als niedrig eingestuft, zwischen +0,5 und -0,5 liegt ein mäßiges Risiko vor und Werte unter -0,5 gelten als kritisch.
Herfindahl-Hirschman-Index (HHI)	Der Herfindahl-Hirschman-Index (HHI) ist eine Kennzahl, die die unternehmerische Konzentration in einem Markt angibt. Sie wird durch das Summieren der quadrierten Marktanteile aller Wettbewerber errechnet. Die Bewertungsskala für den HHI richtet sich nach den Vorgaben des U.S. Department of Justice und der Federal State Commission, die einen Markt bei einem HHI unter 1.500 als gering und zwischen 1.500 und 2.500 Punkten als mäßig konzentriert definieren. Bei einem Indexwert über 2.500 gilt ein Markt als hochkonzentriert.
Länderkonzentration	Die Länderkonzentration wird mithilfe des HHI berechnet, wobei jahresbezogene Anteilswerte der Bergwerksförderung, der Raffinadeproduktion oder der Importe auf Länderebene herangezogen werden.
Länderrisiko	Das Länderrisiko (LR) ergibt sich aus dem Mittelwert der sechs <i>Worldwide Governance Indicators</i> der Weltbank, die jährlich die Regierungsführung von über 200 Staaten weltweit bewertet. Gemessen werden (1) Mitspracherecht und Rechenschaftspflicht, (2) politische Stabilität und Abwesenheit von Gewalt, (3) Leistungsfähigkeit der Regierung, (4) Regulierungsqualität, (5) Rechtsstaatlichkeit und (6) Korruptionsbekämpfung.
Marktdeckung	Die Marktdeckung ergibt sich aus dem Quotienten der Nachfrage (Raffinadeverbrauch) und des Angebots (Raffinadeproduktion oder auch Angebotskapazität).
Recyclingrate (EoL-RR)	Die End-of-Life Recyclingrate (EoL-RR) ist der Quotient aus der Menge des dem Recycling zugeführten Altschrotts eines Rohstoffs und der Gesamtmenge des theoretisch in den End-of-Life-Produkten angefallenen Rohstoffs.
Reserven	Reserven sind die zu heutigen Preisen und mit heutiger Technik wirtschaftlich gewinnbaren Rohstoffmengen.
Zukünftige Marktdeckung	Die zukünftige Marktdeckung ergibt sich aus dem Quotienten der zukünftigen Nachfrage und des zukünftigen Angebots. Das zukünftige Angebot errechnet sich aus der Summe der derzeitigen Kapazität und einer zusätzlichen Jahresproduktionskapazität aus neuen Projekten bzw. Kapazitätserweiterungen.

Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
Wilhelmstraße 26
13593 Berlin

dera@bgr.de

