

Monazit aus Schwermineralsanden – Ein wichtiger Baustein in der Versorgung mit Seltenen Erden

Maren Liedtke, Martin Erdmann, Harald Elsner, Marie Gentzmann, Yun Schüler-Zhou

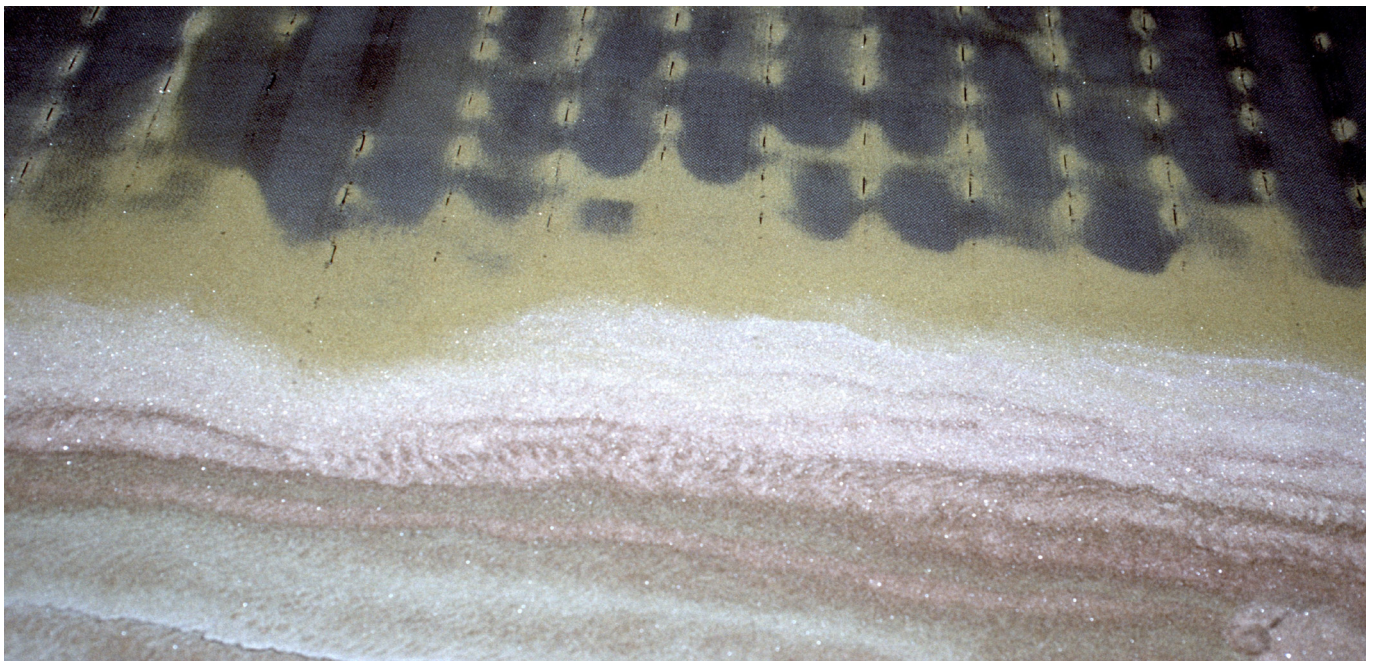


Abb. 1: Rütteltisch zur Trennung von (Monazit gelbbraun) von anderen Schwermineralen, Foto: BGR

Das Seltenerdphosphat Monazit gehört neben Xenotim und Bastnäsit zu den wichtigsten Ausgangsmineralen zur Produktion von Seltenen Erden (SE). Monazit wurde zunächst im 19. Jahrhundert wegen seiner hohen Gehalte an Thorium abgebaut. Dieses wurde für Beleuchtungszwecke genutzt. Erst im Laufe des 20. Jahrhunderts gewann das Mineral aufgrund seiner hohen Seltenerdgehalte weitere Bedeutung. Die Gewinnung von Monazit aus Schwermineralsanden wurde zum Beispiel in den USA und später auch in Indien, Australien oder Brasilien standardmäßig durchgeführt. Sie verlor allerdings wegen der hohen Radioaktivität (Uran- und Thorium-Gehalte) im Monazit und den damit verbun-

denen Umweltauflagen bis zum Jahr 2000 außerhalb Chinas und Indiens zunehmend an Bedeutung. Durch die aktuell hohe Relevanz und Kritikalität von Seltenen Erden wird die Abtrennung von Monazit aus Schwermineralsanden als Nebenprodukt bei der Gewinnung der Titanminerale Rutil, Ilmenit und Leukoxen sowie Zirkon heute wieder in vielen Lagerstätten in Betracht gezogen oder bereits umgesetzt. Zudem ist auch die Rückgewinnung aus monazitreichem Haldenmaterial in einigen Lagerstättenregionen (z.B. Eneabba, Western Australia) geplant.

Monazit – ein Schwermineral

Monazit wird als Nebenprodukt bei der Aufbereitung von **Schwermineralsanden** gewonnen (Abb. 1). Zwar finden sich abbauwürdige Mengen von Monazit auch in Festgesteinen, v. a. den magmatischen Karbonatiten, jedoch werden diese hier nicht weiter betrachtet.

Monazit

- Seltenerdphosphat: $(\text{Ce,La,Nd,Th})[\text{PO}_4]$
- hellgelb - braun, selten grün oder schwarz, paramagnetisch, elektrostatisch nichtleitend
- enthält etwa 55 - 60 % Seltenerdoxide (SEO), im Mittel 58 % SEO
- angereichert sind die leichten Seltenen Erden wie Cer, Lanthan und Neodym (Tab. 1)
- enthält bedeutende Mengen an radioaktiven Thorium und Uran

Tab. 1: Chemische Zusammensetzung von einzelnen Monazitkörnern aus australischen Konzentraten (Quelle: VAN EMDEN et al. 1997)

	Streubreite	Mittel	SD
	[M.-%]		
La_2O_3	8,9–21,0	14,53	2,13
Ce_2O_3	21,7–35,0	28,52	2,17
Pr_2O_3	1,8–3,2	2,53	0,26
Nd_2O_3	4,8–12,7	8,85	0,26
Sm_2O_3	0,36–2,89	1,53	0,45
Gd_2O_3	<0,16 ¹⁾ –2,71	0,88	0,51
Dy_2O_3	<0,16 ¹⁾ –1,28	0,26	0,30
Ho_2O_3	-	-	-
Er_2O_3	<0,16 ¹⁾ –0,45	0,02	0,08
Tm_2O_3	-	-	-
Yb_2O_3	-	-	-
Lu_2O_3	-	-	-
Y_2O_3	<0,06 ¹⁾ –6,25	1,19	0,66
ThO_2	1,2–21,9	8,79	0,08
UO_2	<0,17 ¹⁾ –0,75	0,08	0,23
CaO	0,12–2,50	0,98	1,10
SiO_2	0,12–4,01	1,09	0,66
P_2O_5	25,1–32,6	30,33	1,24
Total	92,5–103,1	99,58	2,10

1) unterhalb der Nachweisgrenze; SD = Standardabweichung

Schwermineralsandlagerstätten

Schwermineralsandlagerstätten, auch Seifenlagerstätten genannt, sind sekundäre Anreicherungen von schweren und/oder verwitterungsresistenten Mineralen in klastischen Sedimenten der Korngröße Sand. Voraussetzung für ihre Bildung ist der Transport der Minerale, wobei als Transportmedium meist Wasser oder Luft 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. Kassiterit (Zinnstein) oder Gold abgebaut. Monazit kommt dort meist nur in sehr geringen Konzentrationen, häufig mit dem Yttrium-Phosphat Xenotim ($\text{Y}(\text{PO}_4)$), vor. Die Anreicherung von Monazit im Aufbereitungsprozess ist relativ einfach, wahlweise wird Monazit sonst innerhalb eines gemischten Abfallprodukts deponiert. Dies war aufgrund seiner natürlichen Radioaktivität in den letzten Jahren die Regel, eine Separation erfolgte nur selten (insb. in Indien).

Weltweit werden nun jedoch 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.

Aufbereitung von Monazitsand

Das Aufkonzentrieren der Schwerminerale aus den geförderten Sanden erfolgt zunächst in einer Nassaufbereitungsanlage (engl.: wet mill; vgl. Abb. 2) mittels Wendelscheidern, aber auch Hydrozyklonen und Eindickern. Das gewonnene Schwermineralkonzentrat wird getrocknet und weiter aufkonzentriert bzw. die einzelnen Wertmineralfraktionen abgetrennt. In dieser Anlage (engl.: dry mill) kommen elektrostatische, magnetische und gravitative Sortierprozesse zum Einsatz. Monazit ist geringfügig magnetisierbar und weist eine geringe elektrische Leitfähigkeit auf. Er wird daher mittels mehrstufiger Magnetabscheidung und elektrostatischer Separation i. d. R. zusammen mit Zirkon aufkonzentriert. Anschließend wird der Monazit durch erneute

Abscheidung über starke NdFeB-Magnete vom Zirkon getrennt.

Für die Gewinnung der Seltenen Erden und ggf. Thorium aus Monazit muss dieser vollständig aufgeschlossen werden (engl.: cracking). Es wird zwischen dem alkalischen und dem sauren Aufschluss unterschieden (s. Abb. 2). Beim alkalischen Aufschluss wird fein gemahlener Monazit mit Natriumlauge gelöst, sodass die Seltenen Erden, Thorium und Uran in Form von Hydroxiden gewonnen werden können.

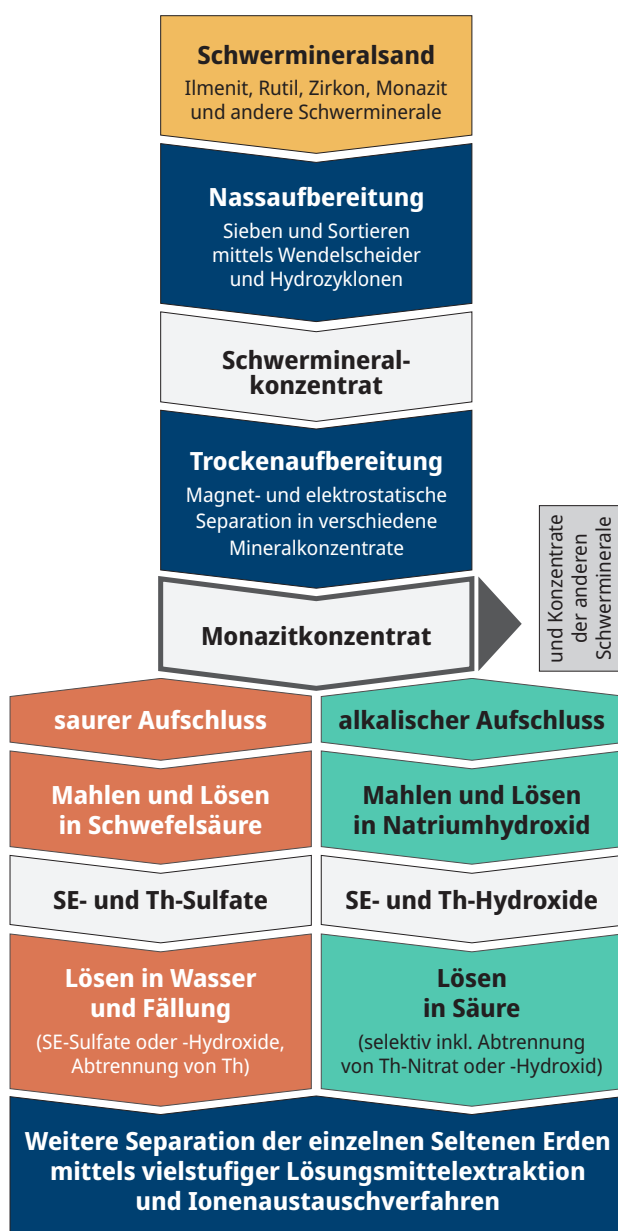


Abb. 2: Aufbereitungsschritte

Thorium- und Uranhydroxid werden durch selektive Lösungs- oder Laugungsverfahren von den Seltenerdhydroxiden abgetrennt. Die Seltenerdhydroxide können dann in Abhängigkeit der gewünschten Endprodukte mithilfe von Salz-, Salpeter- oder Schwefelsäuren weiterverarbeitet werden.

Der saure Aufschluss von Monazit erfolgt mithilfe konzentrierter Schwefelsäure unter hohen Temperaturen. Die Seltenen Erden, Thorium und Uran fallen als Sulfate an und werden anschließend in Wasser gelöst. Thorium und Uran werden abgetrennt und die Seltenen Erden wieder als Sulfate oder Hydroxide gefällt.

Anschließend werden nach beiden Aufschlussverfahren aufwendige Lösungsmittelextraktionen (engl.: solvent extraction) und Ionentauscherverfahren zur weiteren Trennung der einzelnen Seltenen Erden eingesetzt (GUPTA & KRISHNAMURTHY 2004).

Radioaktivität

Bei der Aufbereitung und Weiterverarbeitung von Monazit spielt seine natürliche Radioaktivität eine große Rolle. Da die Monazite in Schwermineralsanden meist aus Graniten und Gneisen abstammen, enthalten sie natürlicherweise verhältnismäßig hohe Anteile an Thorium (im Mittel 1 – 10 %) und Uran (im Mittel ca. 0,5 %). Im Vergleich dazu haben Monazite aus Karbonatiten meist nur geringe Thoriumgehalte (<2 %) (EYAL & OLANDER 1990, CHEN et al. 2017, WALL 2021). Bereits durch die Aufbereitung hin zu einem Monazitkonzentrat entsteht aus einem ursprünglich als NORM („naturally occurring radioactive material“) eingestuftes Material ein als TENORM (technologically enhanced NORM) eingestuftes Material, für dessen Lagerung und Handhabung spezielle Auflagen zu erfüllen sind (VAN GOSEN et al. 2014). Bei der Weiterverarbeitung zu Seltenerdverbindungen entstehen weitere thorium-, uran- und radiumhaltige Rückstände (LAURIA & ROCHEDO 2005). Die korrekte Handhabung dieser Materialien ist beim Abbau, der Aufbereitung, der Weiterverarbeitung und beim Transport von Monazit und monazithaltigen Konzentraten (inkl. Xenotim) besonders wichtig und meist mit hohen Kosten verbunden. Diese können die Wirtschaftlichkeit des Prozesses erheblich einschränken. Ein falscher Umgang mit

dem Material kann zudem erhebliche Schäden für die Umwelt und ggf. die Bevölkerung verursachen und so zu Konflikten führen.

In Indien wird seit langem das bei der Aufbereitung des Monazits anfallende Uran innerhalb des indischen Atomprogramms genutzt. Das Thorium findet zusätzlich als Kernbrennstoff für Thorium-Reaktoren Verwendung (IBM 2022). Nach offiziellen Angaben der International Atomic Energy Agency ist Indien damit das einzige Land, das Thorium als Nebenprodukt gewinnt. Das Interesse an dem Rohstoff steigt jedoch auch in anderen Ländern, wie zum Beispiel China, denn auch hier sollen Thorium-Reaktoren in Zukunft zur Energieerzeugung etabliert werden (IAEA 2019, MALLAPATY 2021). Es ist daher anzunehmen, dass das für diese Reaktoren benötigte Thorium bereits als Nebenprodukt der Seltenerdproduktion in China gewonnen wird (IBM 2022). Die Gewinnung von Monazit in Indien darf nur durch die Staatsunternehmen IREL (India) Ltd., eine Behörde des Departments of Atomic Energy, sowie Kerala Minerals and Metals Ltd., ein Unternehmen des Bundesstaats Kerala, erfolgen. In Brasilien wurde zumindest bis 1996 eine Aufbereitungsanlage für Monazit betrie-

ben, ebenfalls von einem staatlichen Atomenergie-Unternehmen - Industrias Nucleares do Brasil (INB).

Historische Gewinnung

Die Gewinnung und Nutzung von Monazit begann im späten 19. Jahrhundert durch die Erfindung des Glühstrumpfs bzw. der Gas-Mantel-Lampe. Für die Gewinnung des Thoriums, welches in diesen Leuchtmitteln in Form von Thoriumnitrat zum Einsatz kam, wurde Monazit seit 1886 zunächst in den USA abgebaut. Wenig später begann die Förderung auch in Brasilien (1896) und dann in Indien (1910). Erst in den 1950er Jahren gewann Monazit, zuerst in den USA und dieses Mal aufgrund seines Gehaltes an Seltenen Erden, wieder an Bedeutung und war bis ca. 1965 die Hauptquelle dieser Elemente (JAIRETH et al. 2014). Während der darauffolgenden Jahrzehnte wurden allerdings vor allem Bastnäsit aus der kalifornischen Lagerstätte Mountain Pass und ab 1984 verstärkt chinesische Festgesteinslagerstätten (z. B. Bayan Obo) zur Gewinnung Seltener Erden abgebaut (Abb. 3). Nichtsdestotrotz wurde Monazit aus Schwermineralsanden für deren Gewinnung weiterhin genutzt. Nach LOTTERMOSER (1991) stamm-

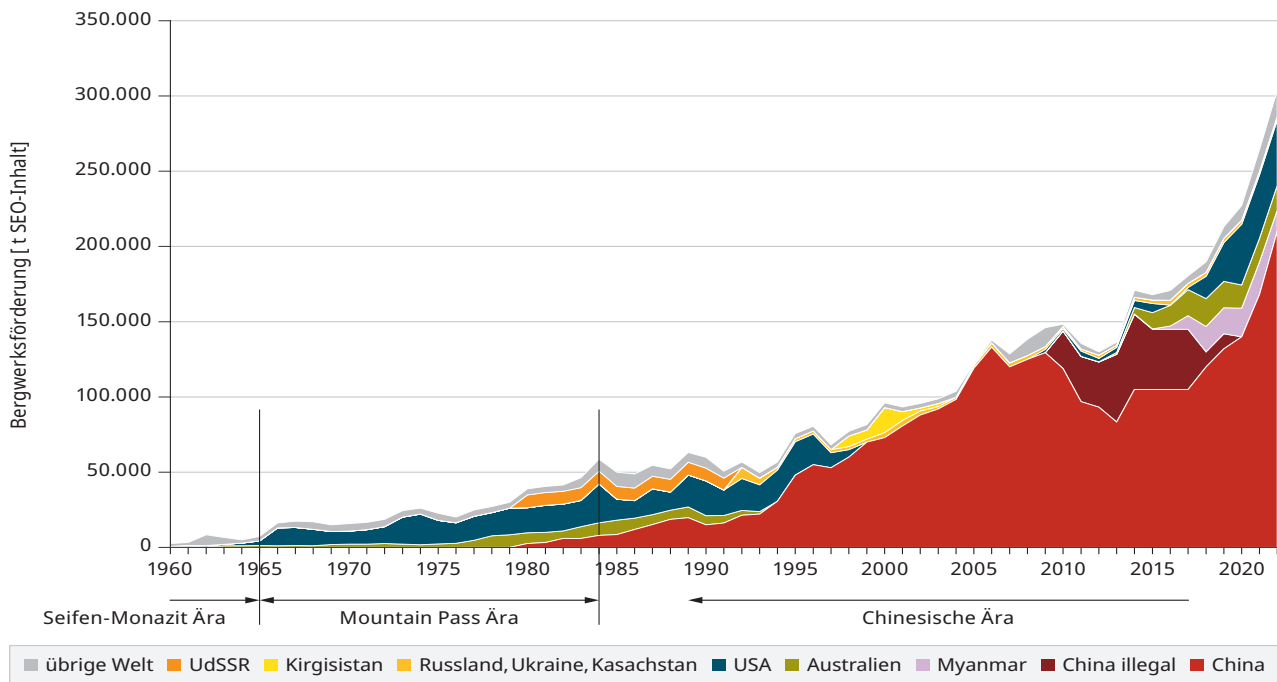


Abb. 3: Bergwerksförderung von Seltenen Erden (Quellen: BGR, HAXEL et al. 2002).

ten 1989 noch ca. 20 % der Seltenen Erden aus Monazit aus Schwermineralsanden.

Zwischen 1970 und 2000 produzierten zunächst insbesondere Australien, Indien, Brasilien, die USA und später auch China und Südafrika größere Mengen an Monazit, weitere Produzenten waren Malaysia, Thailand, Sri Lanka, Vietnam, Mosambik und Nordkorea (BOLGER 1995, CHEGWIDEN & KINGSNORTH 2002, LAURIA & ROCHEDO 2005). Die Weiterverarbeitung des Monazits erfolgte dabei jedoch nicht immer im Herkunftsland. Nur in Indien (Indian Rare Earths Ltd.), Malaysia (Asian Rare Earth Sdn. Bhd.), Brasilien (Industrias Nucleares do Brasil), China (verschiedene) und den USA (W. R. Grace & Company) existierten eigene Weiterverarbeitungskapazitäten. Zudem wurde Monazit aus Australien und den USA zu einem bedeutenden Anteil in La Rochelle/Frankreich (Rhône-Poulenc) weiterverarbeitet. Ab 1990 nahm die Produktion von Monazit für die Seltenerdgewinnung weltweit stetig ab und endete um das Jahr 2000 außerhalb Chinas und Indiens (ELSNER 2010). Die zunehmenden Einschränkungen der Lagerkapazitäten für radioaktive Abfälle, die bei der Weiterverarbeitung von Monazit aus Schwermineralsanden entstehen, sowie die damit verbundenen hohen Umweltauflagen waren die Hauptursache für diesen umfassenden Produktionsstopp.

Historische Gewinnung von Monazit in China

Der Abbau von Monazit fand in China relativ spät statt. Im Jahr 1958 begannen Bauern in der Provinz Hunan, Monazit, allerdings aus Festgesteinsvorkommen, händisch abzubauen. Erst 1970 ging in Guangdong eine Seifenlagerstätte (Nanshanhai) zur Gewinnung von Monazit in Abbau. Von den 1980er bis 1990er Jahren stammte die heimische Monazitproduktion hauptsächlich aus den Seifenlagerstätten in Guangdong und Guangxi, allerdings wurden dort nur geringen Mengen Monazit gefördert (ZHAO et al. 2020). Schnell wurde Seifenmonazit durch vorteilhaftere Seltenerdminerale aus den großen Tagebauen ersetzt. Der Abbau von Monazit aus inländischen Seifenlagerstätten wurde schließlich aufgrund ihrer Radioaktivität durch die chinesische Regierung 2012 als Teil ihrer „Rare Earth Industry Entry Conditions“ verboten (MIIT 2012).

Aktuelle Gewinnung und Verarbeitung

Monazit wird derzeit in mehreren Ländern aus Schwermineralsanden separiert. Die Produktionsmengen werden mit wenigen Ausnahmen nicht publiziert. Für die Extraktion der Seltenen Erden werden danach fast alle monazithaltigen Konzentrate nach China zur weiteren Verarbeitung exportiert. Im Jahr 2021 produzierte China über 20.000 t SEO aus importierten Monazitsanden (ARGUS METALS 2022), das sind ca. 8 % der SEO-Raffinadeproduktion Chinas. Neben China ist lediglich in Indien die Weiterverarbeitung von Seifenmonazit aus Schwermineralsanden zur Gewinnung von Seltenen Erden etabliert. Seit 2021 wird auch in den USA Monazit zu einem Vorprodukt verarbeitet.

Aktuelle Gewinnung

Australien: Verschiedene Unternehmen gewinnen aus ihren Lagerstätten als Nebenprodukt ein monazithaltiges Zirkon-Rutil-Restkonzentrat, das zur weiteren Aufbereitung nach China exportiert wird. Ein Beispiel ist das Unternehmen Tronox Holdings plc., in dessen Gewinnungsstätte Wonnerup South, Western Australia, jährlich etwa 20.000 t eines solchen Konzentrates mit etwa 5 – 6 % Monazit anfallen.

Ebenfalls in Western Australia betreibt Iluka Resources Ltd. das Seltenerdprojekt Eneabba. Grundlage ist eine Halde des ehemaligen Bergwerks mit ca. 1 Mio. t Restmaterial, das reich an Monazit und Xenotim ist und das als Nebenprodukt der traditionellen Schwermineralsandverarbeitung von Iluka bei Eneabba zwischen 1975 und 2013 angefallen ist. In der östlich von Geraldton gelegenen Schwermineralaufbereitungsanlage Narngulu wird das Material aufbereitet und der Monazit nun separiert. 2020/2021 wurden noch rund 100.000 t eines Mineralsand-Monazit-Konzentrates mit einem Monazitgehalt von ca. 20 % an chinesische Abnehmer verkauft. Seit kurzem wird jedoch ein Monazitkonzentrat mit einem Monazitgehalt von 90 % produziert, das in der geplanten eigenen Seltenerdseparationsanlage am Standort Eneabba zukünftig auch zu getrennten Seltenerdoxidien weiterverarbeitet werden soll. Die Ressourcen an Seltenerdmineralen in der Eneabba-Halde liegen bei 146.000 t Monazit und 10.000 t Xenotim.

Brasilien: Indústria Nucleares do Brasil S.A. (INB) exportierte seit Jahren ein Monazitkonzentrat, welches aus alten Halden einer Aufbereitungsanlage am Standort Buena/Rio de Janeiro aufbereitet wurde. Im Jahr 2021 waren es noch 800 t Monazit, 2022 nur noch 300 t Monazit, Tendenz sinkend. Bis 1996 bereitete INB diesen Monazit noch selbst in einem Werk in Caldas/Minas Gerais zu Seltenen Erden auf.

Indien: IREL (India) Ltd. gewinnt in Manavalakurichi/Tamil Nadu, Chavara/Kerala sowie Chhatrapur/Odischa (Orissa Sands Complex = OSCOM) Monazit. Die Aufbereitung erfolgt in Chavara und Chhatrapur zu Monazitkonzentraten mit einer Jahreskapazität von 3.600 t bzw. 10.000 t. Zudem produziert auch die Kerala Minerals & Metals Ltd. (KMML) am Standort Sankarmangalam jährlich bis zu 240 t Monazitkonzentrat. Der Export von Monazit aus Indien ist verboten.

Indonesien: Pyx Resources Ltd. gewinnt in Mandiri ein monazithaltiges Schwermineralrestkonzentrat, welches nach China exportiert wird. Des Weiteren gewinnt PT Timah in seiner Hütte in Mentok, West Bangka, Monazit als Nebenprodukt der Aufbereitung von Zinnerz (Kassiterit). Auch in den zahlreichen kleineren inoffiziellen Kassiterit-Aufbereitungsanlagen auf der Insel Bangka fallen monazithaltige und damit radioaktive Schwermineralrestkonzentrate („amang“) an.

DR Kongo: Monazit wird derzeit in Obaye/Nord Kivu im Kleinbergbau gewonnen. Das kanadische Unternehmen Auxico Resources Canada Inc. unterzeichnete mit Central America Nickel (CAN) (bzw. mit der kongolesischen Tochtergesellschaft Kibara Minerals) einen Vertrag für die exklusiven Handelsrechte von Monazit aus Obaye. Der Vertrag hat eine Laufzeit von fünf Jahren und umfasst eine Mindestmenge von 18.000 t Monazitsand in diesem Zeitraum. Ziel ist jedoch der Vertrieb von 1.000 t Monazit pro Monat. 2022 wurden bereits 794 t Monazitkonzentrat aus der DR Kongo nach China exportiert.

Madagaskar: Das Unternehmen QIT Madagascar Minerals (QMM) S.A. – eine 80 %ige Beteiligung der Rio Tinto Gruppe – gewinnt bei Madena nördlich von Fort Dauphin Schwerminerale. Aufbereitungsprodukte sind Ilmenit sowie ein stark monazithaltiges

Zirkonkonzentrat, letzteres wird vollständig nach China exportiert. Die jährlichen Exportmengen liegen bei 25.000 – 35.000 t Zirkon-Monazitkonzentrat mit einem geschätzten Monazitgehalt von ca. 20 %.

Malaysia, Thailand: In diesen beiden südostasiatischen Ländern gibt es mehrere kleine Bergbauunternehmen, die Kassiterit 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 und mehreren 1.000 t/Jahr.

Mosambik: Entlang der gesamten Küstenregion Mosambiks befinden sich zahlreiche Seifenlagerstätten, von denen mehrere auch abgebaut werden. Größtes Abbauunternehmen ist die in Irland registrierte Firma Kenmare Resources plc. Aber auch mehrere chinesische Firmen bauen monazithaltige Seifen ab, die all ihre Produkte vollständig nach China exportieren. Seit 2018 gewinnt Kenmare in der Schwermineralsandlagerstätte Moma jährlich etwa 10.000 – 15.000 t eines Zirkon-Rutil-Mischkonzentrats, das etwa 20 % Monazit enthält und als „Mineral Sands Concentrate“ seit 2019 nach China exportiert wird.

Nigeria: In verschiedenen Kleinbergbaubetrieben, die Kassiterit, Columbit, Rutil und Gold gewinnen, fallen auch andere Schwerminerale an, die in Form unreiner, monazithaltiger und häufig stark radioaktiver Schwermineralkonzentrate nach China exportiert werden.

Sri Lanka: Das Staatsunternehmen Lanka Minerals Sands gewinnt an der Nordostküste in Pulmoddai Schwermineralkonzentrate die rund 100 t Monazit/Jahr enthalten. Pulmoddai ist die größte Strandseifenlagerstätte Sri Lankas und weist das höchste Seltenerdpotenzial des Landes auf. Schätzungen zufolge gibt es dort etwa 6 Mio. t Schwerminerale mit einem Durchschnittsgehalt von 0,3 % Monazit (BATAPOLA et. al. 2020). Der Monazit wird in Form eines unreinen Mischkonzentrats nach China exportiert.

USA: Chemours Company TT, das weltweit zweitgrößte Chemieunternehmen, baut seit Jahrzehnten Schwermineralsande im Nordosten von Florida und seit einigen Jahren auch im Südosten von Georgia ab, letztere enthalten auch Monazit. Jährlich fallen etwa 2.500 t Monazit in der Aufbereitungsanlage in Offerman an. Seit 2018 erfolgte ein Verkauf monazitreicher Zirkon-Restsande nach China. Aktuell ist eine Aufbereitung in den USA durch Energy Fuels Inc. zu Seltenerdkarbonaten geplant.

Vietnam: Gegenwärtig sind sieben im Abbau und der Aufbereitung von Schwermineralen tätige Unternehmen bekannt. Alle produzieren teils in größeren Mengen Monazitkonzentrate, deren Produktionsmenge seit vielen Jahren ansteigt. Mehrere Unternehmen (u. a. Biotan Mineral Joint Stock Company (BIOTAN), Binh Dinh Minerals Company (BIMICO), GPM Binh Thuan Ltd und Hung Thinh Group) produzieren Monazitkonzentrate mit einer Gesamtkapazität von ca. 6.000 t/Jahr. Im Jahr 2022 wurden erstmals auch diese Mengen nach China exportiert (siehe Tab. 2).

Andere Länder: Auch in den anderen bedeutenden Abbauländern Kenia, Senegal und Ukraine enthalten die Schwermineralsande vermutlich erhöhte Gehalte an Monazit, doch ist aus diesen Ländern über ihre Verwertung nichts bekannt.

Seit einigen Jahren importiert China zunehmend Monazitkonzentrate und auch monazitreiche Schwermineralkonzentrate aus Schwermineralsanden. Ursprungsländer waren zunächst vor allem Thailand, Brasilien, Malaysia und Vietnam. Seit 2018 nehmen die Importe auch aus anderen Ländern wie Madagaskar und Vietnam stark zu (s. Abb. 4, Tab. 2).

Handelsströme von Monazit aus Schwermineralsanden

Im Jahr 2021 importierte China unter dem HS-Code 261220 51.087 t Thoriumerze und -Konzentrate (= Monazitkonzentrate) aus Madagaskar, Thailand, Vietnam, Nigeria, Brasilien und Malaysia. 2022 waren es 45.914 t, die zusätzlich aus der DR Kongo und Indonesien stammten, im Jahr 2023 (47.800 t) kamen Importe aus Sri Lanka und Laos (s. Abb. 4) hinzu. Der starke wertmäßige Anstieg der Importe

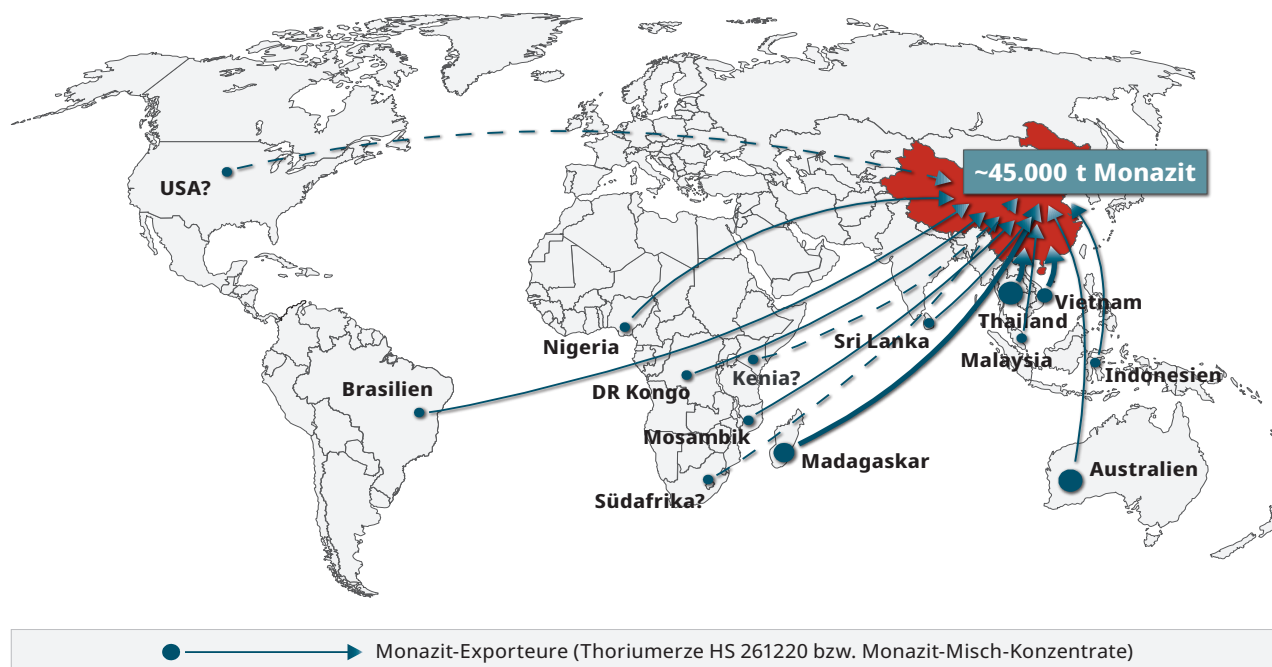


Abb. 4: Chinesische Importe von Monazit aus Schwermineralsand. Ca. 45.000 t Monazit wurde im Jahr 2021 von China importiert, eine genaue Angabe ist aufgrund unterschiedlicher Handelsbezeichnungen nicht möglich (für Details siehe Text und Tab. 2)

von „Thoriumerz“ (Tab. 2) von 2021 zu 2022 verdeutlicht, welche Bedeutung die Monazitsande in China bei der Versorgung mit Seltenen Erden gewonnen haben.

Hinzu kommen die Importe von anderen Schwermineralkonzentraten aus Australien, Mosambik und anderen Ländern, die als Titanmineral- oder Zirkonkonzentrate deklariert sind, und nicht unter den HS-Code 261220 fallen. Ihre Monazitgehalte sind je nach Herkunft ganz unterschiedlich. So liegen sie bspw. in Mosambik bei 20 % und in Australien typischerweise zwischen 1 und 6 %. Die unreinen, besonders monazitreichen Schwermineralkonzentrate werden oft auch als „low grade zircon“ oder in China als „zircon in concentrate“ (ZIC) bezeichnet. Solch unreine Zirkonkonzentrate fallen in fast allen Schwermineralaufbereitungsanlagen an und stellen ein sehr unreines Zirkon-Rutil-Monazit-Gemisch dar, dessen weitere Aufbereitung sich i. d. R. nicht mehr lohnt, aber dennoch in China Abnehmer findet. Nachdem dort aus diesen Schwermineralkonzentraten die Hauptwertminerale Zirkon bzw. Ilmenit, Leukoxen und Rutil und die nicht-nutzbaren Begleitminerale separiert wurden, verbleibt ein Mo-

nazitkonzentrat, aus dem Seltenerd-mischchloride gewonnen werden.

Nach Meldungen des Baotou Research Institute of Rare Earths (BRIRE) (zitiert in ARGUS METALS 2022) gewann China im Jahr 2021 13.215 t Ceroxid und 5.700 t Lanthanoxid aus importierten Monaziten. Dies entspricht einer Importmenge von 40.000 bis 46.000 t Monazit. Da die Einzelmengen der sonstigen Seltenerdelemente, die ebenfalls aus Monazit separiert wurden (s. Tab. 1), nicht bekannt sind, dürfte die Gesamtmenge von Seltenen Erden, die aus Seifenmonazit stammen, deutlich über 20.000 t SEO liegen.

Verarbeitung von Monazitsand

China: Trotz fehlenden Abbaus von Seifenmonazit in China – mit Ausnahme weniger verbliebener Betriebe auf der Insel Hainan – gibt es entlang der gesamten Südküste zahlreiche Anlagen zur Aufbereitung von Schwermineralkonzentraten. Diese haben sich auf die Aufbereitung der aus aller Welt importierten Vorkonzentrate spezialisiert. Bereits Ende der 1990er Jahre entstand in China hierfür ein Markt, als Betriebe in Südchina begannen, unreines ZIC zu importieren. Das ZIC besteht typischerweise aus

Tab. 2: Chinesische Importe von Monazitkonzentrat deklariert unter den Handelscode HS 261220 Thoriumerz (Datenquelle: ZEN INNOVATIONS AG 2023)

Handelspartner	2017	2020	2021	2022	2023	2021	2022	2023
	Menge [t]					Wert [USD/t]		
Madagaskar		24.964	35.168	24.970	26.400	870	1.551	1.043
Thailand	2.560	5.976	13.674	10.209	6.126	4.519	10.536	7.812
Vietnam	359	1.152	725	6.351	507	2.601	6.329	3.612
Nigeria	55	209	587	2.334	11.879	4.012	7.636	6.118
DR Kongo				794	1.090		7.406	7.936
Indonesien				753	874		3.529	2.901
Brasilien	2.900	1.228	833	297	237	2.474	3.930	5.363
Malaysia	130	163	100	204	165	3.121	8.631	4.874
Sri Lanka					500			4.122
Laos					22			5.446
Australien		529						
USA (Exporte)		476						
Alle Länder	6.004	34.697	51.087	45.914	47.800	1.938	4.694	3.459

30 – 50 % Zirkon und kann in einigen Fällen bis zu 5 % Monazit und Xenotim enthalten. Schwermineralkonzentrate finden in China aufgrund der verbreiteten und kostengünstigen Aufbereitungskapazitäten einen mittlerweile etablierten Absatzmarkt, auch zur Abtrennung von Monazit und Xenotim (MINHUB 2023).

Mit der zunehmenden Regulierung des Seltenerdmarktes in China verbunden mit der Schließung illegaler Betriebe nimmt die Bedeutung der Gewinnung von Seltenen Erden aus importierten Schwermineralkonzentraten zu. Der Abbau von Monazit aus einheimischen Seifenlagerstätten ist zwar seit dem Jahr 2012 verboten, nicht aber dessen Abtrennung aus importierten Schwermineralsanden. Die Gewinnung von Seltenen Erden aus den importierten Schwermineralkonzentraten leistet somit einen wichtigen Beitrag zur Diversifizierung der Seltenerdquellen Chinas.

Aufgrund begrenzter technischer Möglichkeiten wurden in der Vergangenheit bei der Verarbeitung von Monazit Thorium und Uran nicht mitgewonnen, sondern diese verblieben in der Schlacke. Dies verursachte aufgrund der Radioaktivität große Umweltprobleme. Um das Thorium-Uran-Problem bei der Weiterverarbeitung von Monazit und Xenotim zu lösen, hat die Chinese National Nuclear Corporation (CNNC) 2018 die Tochterfirma Huachuang Rare Materials Co. Ltd. gegründet. Deren Ziel ist einerseits die in der Vergangenheit hinterlassenen Rückstände aufzubereiten und andererseits aus den nach China exportierten Monaziten zunächst das Thorium und Uran abzutrennen. Dabei werden Sel-

tenerd-mischverbindungen produziert (SASTI 2018), die wiederum zur Separation an die chinesischen Seltenerdproduzenten geliefert werden.

Ein Jahr nach seiner Gründung schloss Huachuang Rare Materials mit Shenghe Resources Holding Co., Ltd. („Shenghe“) ein Joint Venture namens CNNC Huasheng Minerals Co., Ltd., an dem Shenghe einen Anteil von 45 % hält (SHENGHE 2021). Shenghe ist des Weiteren an zwei Firmen beteiligt, die Seltenerd-mischchloride aus Monazitkonzentraten gewinnen, die in den unternehmenseigenen Aufbereitungsanlagen anfallen. Anschließend erfolgt die Weiterverarbeitung der Seltenerd-mischchloride in den eigenen Separationsbetrieben.

Indien: Seit 1952 bereitet die Rare Earths Division (RED) der staatlichen IREL (India) Ltd. am Standort Udyogamandal nahe Aluva/Kerala Seifenmonazit aus den Gewinnungsstellen in Manavalakurichi/Tamil Nadu und Chavara/Kerala zu Seltenerdverbindungen, insb. Seltenerd-karbonaten, auf (Verarbeitungskapazität: 3.600 t Monazit/Jahr). Zudem betreibt die IREL seit 2015 innerhalb der Schwermineralverarbeitungsanlage OSCOM (Orissa Sands Complex) am Standort Matikhalo/Odisha eine Monazit-Aufbereitungsanlage (Monazite Processing Plant, MoPP) mit einer jährlichen Verarbeitungskapazität von 10.000 t Monazitkonzentrat. Produziert werden hier aus dem Monazit Seltenerd-mischchloride (Jahreskapazität 11.200 t SE-Chlorid, IBM 2022). In Moturupalem/Andhra Pradesh werden diese dann durch die Toyotsu Rare Earths (India) Pvt. Ltd. u. a. zu Seltenerdoxiden weiterverarbeitet

Shenghe Resources Holding Co Ltd.

Shenghe ist das bedeutendste chinesische Unternehmen für die Aufbereitung von importiertem Monazit. Es besitzt ein Tochterunternehmen (Hainan Wensheng High-Tech Materials Co., Ltd. in der Provinz Hainan) mit zahlreichen Einzelstandorten sowie zusammen mit CNNC Huachuang Rare Materials (40 %) ein Joint-Venture (Shenghe Lianyungang New Material Company in der Provinz Jiangsu) um Zirkon- und Titanmineralvorkonzentrate aufzubereiten. Bis 2025 strebt Shenghe eine jährliche Aufbereitungskapazität von bis zu 2 Mio. t Schwermineralsandkonzentraten an. Allein 1,5 Mio. t Jahreskapazität entfallen dabei auf die im Dezember 2022 in Betrieb genommene Aufbereitungsanlage von Shenghe Lianyungang (SHENGHE 2023a). Hier wird die Produktionskapazität auf ca. 30.000 t Monazit pro Jahr geschätzt (bei 60 % SEO-Inh. ca. 18.000 t SEO) (CHUANCAI SECURITIES 2022).

Um die Lieferquellen von Schwermineralkonzentraten aus dem Ausland abzusichern, hat Shenghe auch einen Anteil von 9,9 % an der australischen Firma WIM Resource (Pty) Ltd. erworben (SHENGHE 2023b), die das Schwermineralsandprojekt Avonbank in Victoria, Australien (s. u.) entwickeln will. Des Weiteren gibt es Abnahmevereinbarungen, u. a. mit VHM Ltd. für deren Goschen-Projekt ebenfalls in Australien.

Zukünftige Gewinnung und Verarbeitung

Zukünftige Gewinnung – Projekte, Potenziale

Die verstärkte Nachfrage nach und damit verbundene Preissteigerung von Monazitsanden hat viele alte Abbauplanungen belebt und neue hervorgerufen. Insbesondere in Australien gibt es viele Schwermineralprojekte, die den Abbau von Monazit als Wertmineral planen. Weitere Potenziale befinden sich in Brasilien, Indonesien, Vietnam, USA und mehreren Ländern im südlichen Afrika (s. Abb. 5 und Tab. 3).

Australien: In den Schwermineralseifenlagerstätten Westaustraliens, von denen immer wieder neue in Abbau genommen werden, treten Monazit und weit untergeordnet Xenotim als Seltenerdminerale auf. Beispiele sind die Lagerstätten Cataby (Iluka Resources Ltd.), Coburn (Strandline Resources Ltd.) und Wonnerup South (Tronox Holding plc).

Wesentlich höhere Monazit- und Xenotimgehalte finden sich jedoch in den Schwermineralseifenlagerstätten der tertiären Sedimentbecken von Victoria, New South Wales und Südaustralien (Murray Basin, Gippsland Basin, Eucla Basin), insbesondere in den feinkörnigen, tiefliegenden Schwermineralseifenlagerstätten des Typs „WIM“ im Murray-Basin. Die Schwermineralseifen entstanden im küstennahen Offshore-Bereich und sind deswegen sehr feinkörnig. Neben der hohen Überdeckung war dies über viele Jahrzehnte das Haupthindernis für ihre Nutzung. Inzwischen stehen jedoch technische Möglichkeiten für eine optimierte Aufbereitung zur Verfügung.

Zu nennen sind in diesen Becken die großen Seifenlagerstätten Wimmera (WIM 100), WIM 150, Donald (WIM 250), Goschen, Avonbank, Balranald und Fingerboards. Ressourcenangaben für diese Projekte belaufen sich zusammen auf über 7 Mio. t Monazit/Xenotim.

Aus den aufgeführten Projekten in Australien ist eine Produktion von etwa 70.000 - 80.000 t Monazit/Xenotim pro Jahr geplant (mit in etwa 40.000 t SEO-Inhalt).

Brasilien: An den Küsten der Bundesstaaten Rio de Janeiro, Bahia und Espírito Santo treten Schwermineralseifen auf, die im Durchschnitt 2,5 % Monazit im Schwermineralkonzentrat enthalten (O'DRISCOLL 1989). Sie standen bis vor einigen Jahren u. a. durch die staatliche Indústrias Nucleares do Brasil (INB) in Abbau.

Im Süden Bahias hat das Unternehmen Energy Fuels Inc. (USA) eine Konzession zum Abbau von monazitführenden Schwermineralsanden erworben. Energy Fuels schätzt, dass zwischen 3.000 bis 10.000 t Monazitsand pro Jahr gewonnen werden könnten.

In den fluviatilen Kassiterit-Columbit-Seifen, wie sie beispielsweise in Rondônia und Amazonas vorkommen, tritt neben Monazit auch Xenotim auf. So gibt es z. B. durch das Unternehmen Mineracao Taboca SA am Zinnbergbaustandort Pitinga ein Projekt zur Gewinnung von Xenotim und in Rondônia durch Auxico Resources ein Projekt zur Gewinnung von Seltenen Erden aus den Zinnerzhalden von Massangana (Auxico schätzt deren Monazitinhalte auf 1,5 Mio. t).

Indien: Monazit wurde in über 130 indischen Schwermineralseifenlagerstätten nachgewiesen, von denen die meisten an den Küsten liegen. Die Ressourcenschätzungen lagen im März 2021 bei 12,73 Mio. t. Der Großteil entfällt dabei auf die Bundesstaaten Andhra Pradesh, Odisha, Tamil Nadu und Kerala (IBM 2022).

Indonesien: Die indonesische Regierung ergreift seit einigen Jahren verstärkt Maßnahmen um die im Land abgebauten Rohstoffe weiter zu veredeln. Dazu gehört auch die Aufbereitung der bei PT Timah bei der Zinnerzaufbereitung anfallenden Monazit-/Xenotimkonzentrate. Diese sollen möglichst in Indonesien selbst zu Seltenen Erden weiterverarbeitet werden. Bis dahin bleibt der Verkauf der bisher angefallenen Konzentrate verboten.

Madagaskar: Im Süden Madagaskars gibt es entlang der Küste Schwermineralseifen, aus denen Monazit gewonnen wird bzw. werden soll. Neben der Lagerstätte von QIT Madagascar Minerals nördlich von Fort Dauphin liegt im Südwesten Madagaskars, rund 50 km nördlich der regionalen Hauptstadt To-

liara, das 2018 von Base Resources Ltd. erworbene Toliara-Projekt. Es basiert auf der Lagerstätte Rano-be, die erstmals im Jahr 1995 erkundet wurde. Toliara besitzt Sandressourcen mit einem Inhalt von knapp 111 Mio. t Schwermineralen, deren Gehalt an Monazit von Base Resources auf 2 % geschätzt wird. Dies würde einem Inhalt von etwa 2,2 Mio. t Monazit entsprechen. Der Beginn des Abbaus ist derzeit ab 2027 über einen Zeitraum von 38 Jahren geplant.

Mosambik: Neben den aktiven Bergwerken (s. o.) sind Moebase (Pathfinder Minerals plc) und vor allem die Corridor Sands Projekte der Unternehmen MRG Metals und der chinesischen Anhui Foreign Economic Construction Group als zukünftige potenzielle Quellen für Monazit zu nennen. Corridor Sands ist eines der größten Schwermineralsandvorkommen der Erde mit Ressourcen von 16,6 Mrd. t Erzsand mit durchschnittlich 5,3 % Schwermineralen. Der Monazitgehalt ist jedoch nicht publiziert.

Südafrika: In Südafrika werden zwar große Mengen an Schwermineralen gewonnen, soweit bekannt wird der in ihnen enthaltene Monazit bisher jedoch nicht angereichert, sondern in Zwischenhalten für eine mögliche spätere Nutzung deponiert.

Die global agierende Tronox Holdings plc plant, Monazit aus ihren südafrikanischen Betrieben (z. B. Namakwa Sands) zur späteren Weiterverarbeitung nach Australien zu exportieren.

Tansania: Auch an einigen Abschnitten der tansanischen Küste gibt es Seifenlagerstätten. Im nördlichen Küstenabschnitt befinden sich die zwei Schwermineralsand-Projekte Fungoni und Tajiri von Strandline Resources Ltd., aus denen auch Monazit gewonnen werden soll.

USA: IperionX entwickelt in Tennessee das Titan Project. Die Vorräte werden mit 199.000 t Monazit/Xenotim angegeben. Geplant ist eine Jahresproduktion von 4.600 t Monazit-Xenotim-Konzentrat, welches an Energy Fuels Inc. zur Weiterverarbeitung geliefert werden soll.

Vietnam: Schwermineralseifen finden sich entlang der gesamten Küste Vietnams, insbesondere in den Provinzen Binh Thuận und Ninh Thuận im Südosten, von Quảng Nam bis Khánh Hòa im Süden und von Thanh Hóa bis Thừa Thiên-Huế im Norden. Dort sind die Vorräte groß, die einzelnen Lagerstätten jedoch von niedriger bis mittlerer Qualität.

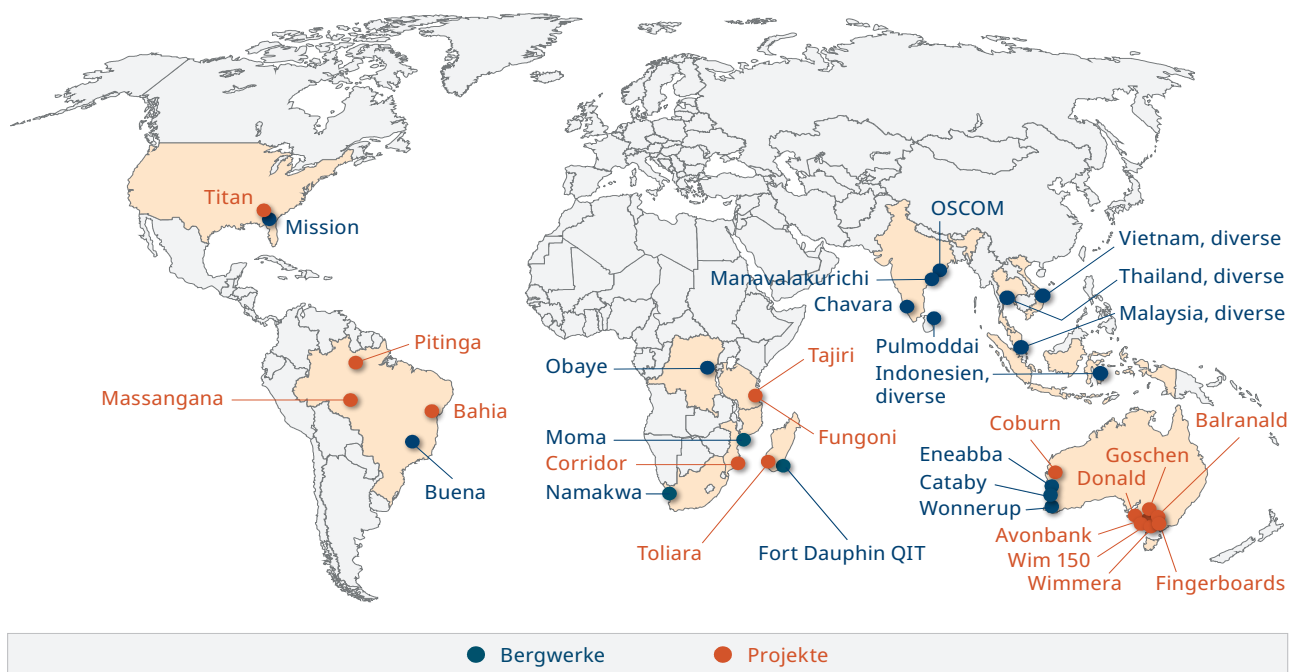


Abb. 5: Ausgewählte aktive Bergwerke und geplante Projekte mit Gewinnung von Monazit aus Schwermineralsanden

Verarbeitung von Monazitsand außerhalb Chinas

In den letzten Jahren waren es nur China und Indien, die Seifenmonazit zur Gewinnung von Seltenen Erden weiterverarbeiteten. Seit 2021 wird auch in den USA Monazit zu einem Vorprodukt verarbeitet und in Australien und Kanada sind Aufbereitungs- und Separationsanlagen geplant.

In den **USA** verarbeitet das Unternehmen **Energy Fuels Inc.** seit 2021 in seiner Uran- & Vanadium-Anlage White Mesa Mill in Utah kommerziell Monazitsande, die aus der Schwermineralsandlagerstätte des Unternehmens Chemours Company TT in Georgia stammen. Jährlich werden derzeit etwa 2.500 t Monazit verarbeitet, geplant sind 15.000 bis 30.000 t. Dafür soll der Ankauf von Monazit aus weiteren Schwermineralsandlagerstätten erfolgen und (im Rahmen eines Joint-Venture mit Astron) das Projekt Donald in Australien, sowie in Brasilien das eigene Schwermineralsandprojekt Bahia entwickelt werden. Produziert wird in Utah ein Seltenerdkarbonat, das zzt. zur Weiterverarbeitung nach Estland (Separationsanlage Silmet des Unternehmens Neo Performance Materials) exportiert wird.

Energy Fuels plant zudem eine voll integrierte Seltenerdproduktion in den USA. Das Unternehmen beabsichtigt hierzu, bis 2024 mit der Produktion von 500 – 1.000 t Neodym-Praseodym-Oxid (NdPrO) in Utah zu beginnen und die Abtrennung und Produktion in den Folgejahren zu steigern. Bis 2026 soll im Werk White Mesa eine Kapazität von 3.000 t NdPrO/Jahr erreicht werden und bis 2027 neben anderen Seltenen Erden auch Dysprosium und Terbium aus Monazit abgetrennt werden.

In **Australien** errichtet **Iluka Resources Ltd.** derzeit eine Seltenerdseparationsanlage am Standort Eneabba, Western Australia. Das als Nebenprodukt der Schwermineralsandaufbereitung von Iluka in Narngulu angefallene Monazit wird seit Jahrzehnten in Eneabba aufgehaldet (s. o.). 2019/2020 begann Iluka, das gelagerte Material weiterzuverarbeiten und seit 2022 wird ein Konzentrat mit ca. 90 % Monazit-Inhalt abgetrennt, welches dann direkt in Ilukas geplanter Seltenerdseparationsanlage eingespeist werden soll. Der Start des Baus der Anlage (Phase 3), welche durch ein Darlehen der australischen Regie-

rung gefördert wird, war für 2022 geplant. Bis Mitte 2023 sind jedoch lediglich erste Erdarbeiten erfolgt.

Die erste Produktion von Seltenerdoxiden wird nun frühestens 2025 erwartet, geplant ist eine Produktionskapazität von 17.500 bis 23.000 t SEO/Jahr. Die Separationsanlage wird in der Lage sein, Monazit und Xenotim sowohl aus dem Portfolio von verschiedenen Schwermineralsandlagerstätten bzw. -projekten Ilukas in Australien, als auch von anderen potenziellen Lieferanten zu verarbeiten.

In **Kanada** sollen ab Ende 2024 durch das **Saskatchewan Research Council (SRC)** verschiedene Seltenerdzwischenprodukte erzeugt werden. Für die konventionelle und mit chinesischen Anlagen vergleichbare Pilotaufbereitungsanlage, bestehend aus einer „Monazite Processing Unit – MPU“ und einer „Solvent Extraction Unit – SXU“, werden pro Jahr 3.000 t Monazitkonzentrat (mit 80 % Inh.) benötigt. Die MPU soll hieraus rund 1.500 t SEO erzeugen (sowie Tri-Natrium-Phosphat als Beiprodukt), die in der SXU jährlich in ~900 t La/Ce-Mischkarbonat, ~350 t Nd/Pr-Mischoxid und ein gemischtes Schwere-Seltenerdkarbonat mit ~25 t Tb/Dy-Inhalt getrennt werden. Das Nd/Pr-Mischoxid soll dann in einer „Metals Smelting Unit – MSU“ zu 250 – 300 t Didymium Metal (Nd/Pr-Legierung) pro Jahr veredelt werden. Für das Management der anfallenden (radioaktiven) Reststoffe besitzt SRC eine Lizenz der Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC).

Die ebenfalls in Kanada ansässige **Gabo Mining Ltd.** (früher Medallion Resources Ltd.) arbeitet eng mit SRC zusammen und hat eine Anlage mit einer Kapazität von 2.000 t SEO/Jahr aus der Weiterverarbeitung von jährlich 3.000 t aus den USA bezogenem Monazit ab dem Jahr 2028 angekündigt. Wo die Anlage stehen soll, ist bislang allerdings unklar.

Fazit

Bei der Aufbereitung von Schwermineralsanden fällt Monazit häufig als Nebenprodukt an. Die Gewinnung von Seltenen Erden aus diesen Seifenmonaziten besitzt ein großes Potenzial, da der Monazit leicht mittels physikalischer Trennverfahren aufkonzentriert und die Seltenen Erden dann daraus abgetrennt werden können. Die Gewinnung und Verarbeitung von Monazitkonzentraten hat in den letzten Jahren erheblich zugenommen, wobei die (Vor)Konzentrate zumeist in China weiterverarbeitet und dort für die anschließende Abtrennung zu Seltenen Erden genutzt werden.

Insbesondere in Australien, aber auch in vielen weiteren Ländern, gibt es ein erneutes Interesse an der Gewinnung von Monazit aus den dortigen Schwermineralsandlagerstätten. Die hohe Radioaktivität der meisten Monazitsande erschwerte jedoch bisher die Projektentwicklung, denn Verarbeitung, Lagerung und Transport von Monazit müssen nach den einschlägigen Richtlinien für radioaktives Material erfolgen.

In China ist die China National Nuclear Corporation das einzige Unternehmen, das über eine qualifizierte Lizenz für die Nutzung von Uran und Thorium aus der Aufbereitung von Monazit verfügt. Sie arbeitet mit dem Unternehmen Shenghe Resources zusammen, um weltweit Monazitkonzentrate für die Weiterverarbeitung zu beschaffen.

Auch außerhalb Chinas verdeutlichen die derzeitigen Entwicklungen in den USA (mit Separation in Estland), Australien und Kanada die wachsende Aufmerksamkeit, die Seifenmonazit weltweit als Quelle für Seltene Erden gewinnt. Im Jahr 2021 starteten das US-amerikanische Unternehmen Energy Fuels Inc. und das kanadische Unternehmen Neo Performance Materials Inc. mit ihrer Separationsanlage in Estland eine auf Monazit aus Schwermineralsanden aufbauende Seltenerd-Lieferkette außerhalb Chinas. In Australien sind die Planungen von Iluka für eine Anlage zur Gewinnung von Seltenen Erden aus Monazitsanden fortgeschritten und in Kanada arbeitet das Saskatchewan Research Council an einer Separationsanlage.

Die wachsenden Mengen an weltweit zur Verfügung stehendem Seifenmonazit werden zur zukünftigen Deckung der vorhergesagten steigenden Nachfrage nach Seltenen Erden beitragen. Der Export zur Weiterverarbeitung nach China stärkt jedoch aktuell weiter die Vormachtstellung Chinas in diesem Sektor. Zukünftig könnte allerdings vor allem die Rolle Australiens auf dem Seltenerdmarkt steigen, auch unterstützt durch die dortige Gewinnung und Aufbereitung von Monazitsand.

Tab. 3: Ausgewählte Bergwerke und Projekte mit Gewinnung von Monazit aus Schwermineralsanden

Projekt	Unternehmen	Status	Ressourcen	Kapazität pro Jahr	Kommentar
Australien					
Avonbank	WIM Resources	Feasibility, Prod.-Start 2024	19,6 Mio. t HM @ 2,0 % Mo, 0,6 % Xe	7.500 – 10.000 t Mo/Xe-Konz.; LoM 36 J.	100 % soll nach China exportiert werden; Shenghe hält Beteiligung (9,9 %)
Balranald	Iluka Resources	Feasibility, Prod.-Start 2025	12,4 Mio. t HM @ 0,9 % Mo/Xe	4.000 t Mo/Xe-Konz.; LoM 10 J.	Monazitkonz. soll in Eneabba aufbereitet werden
Coburn	Strandline Resources	In Bau	20,2 Mio. t HM, Mo-Gehalt n. b.	54.000 t ZIC-Konz.; LoM 22,5 J.	Erste Verkäufe eines Zirkon-Konzentrats (ZIC)
Donald (WIM 250)	Astron	Feasibility (Phase 1), Prod.-Start 2025	121,2 Mio. t HM @ 2,0 % Mo/Xe	7.000 – 14.000 t Mo/Xe-Konz.; LoM: 58 J.	Exp. des HM-Konz. nach China; Vereinbarung mit Energy Fuels über Entwicklung und Abnahme von SE-Konz.
Eneabba Stockpile	Iluka Resources	In Betrieb seit 2020	0,81 Mio. t HM @ 19,2 % Mo/Xe	Bis zu 32.000 t Mo/Xe-Konz.	Monazit wird für eigene geplante Aufbereitung gelagert
Cataby	Iluka Resources	In Betrieb seit 2019	12,2 Mio. t HM @ 0,8 % Mo/Xe	~2.000 – 3.000 t Mo/Xe-Konz.	
Fingerboards	Gippsland Critical Minerals (vorher Kalbar Resources)	Feasibility	1.170 Mio t Erz @ 0,049 % SEO	5.000 t – 20.000 t Mo/Xe-Konz.; LoM 15-20 J.	Aufbereitung durch Minhub Operations in Northern Territory geplant; Mo/Xe soll dann an Arafura's Nolans Project gehen
Goschen	VHM	Feasibility, Prod.-Start 2025	18,3 Mio. t HM @ 3,3 % Mo, 0,6 % Xe	9.400 t Mo/Xe-Konz.; LoM 20-25 J.	Vereinbarung mit Shenghe über 60 % des produzierten Mo/Xe-Konz. (6.400 t) für d. ersten 3 J.
WIM 150	Murray Zircon	Feasibility – gestundet	61,1 Mio. t HM @ 2,1 % Mo, 0,4 % Xe	n. b.	Keine aktuellen Angaben, Inhaber chinesische Firmen: Orient Zirconic + Million Up
Wimmera (WIM 100)	Iluka Resources	Pre-Feasibility, Prod.-Start 2028	67,6 Mio. t HM @ 1,9 % Mo, 0,4 % Xe	15.000 t Mo/Xe-Konz.; LoM 25 J.	Mo-Konz. soll in Eneabba aufbereitet werden (Ersatzlagerstätte)
Wonnerup South	Tronox Holdings	In Betrieb	n. b.	bis zu 1.000 t Mo/Xe in ZIC	Bisher Export eines ZIC mit 5-6 % Mo/Xe nach China; Zukünftig Mo-Gewinnung in Chandala/WA angedacht
Brasilien					
Bahia HMS Projekt	Energy Fuels	Scoping	0,62% - 12,82% (Ø 2,86%) Mo in HM	3.000 – 10.000 t Mo	Geplant ist Mo zur weiteren Aufbereitung in die USA zu exportieren
Buena Tailings	INB - Indústrias Nucleares do Brasil	In Betrieb	79.000 t HM @ 4,0 % Mo	800 t Mo in 2021, 300 t Mo in 2022	Export nach China, Produktionsmenge sinkt
Massangana Zinn Tailings	Auxico Resources	Scoping	1,5 Mio. t Mo (geschätzt)	n. b.	Vorratsangaben nur geschätzte Firmenangaben
Pitinga	Mineracao Taboca	Scoping	n. b.	n. b.	
DR Kongo					
Obaye	Kibara Minerals (Central America Nickel/CAN)	In Betrieb	n. b.	794 t Mo in 2022, Ziel: 12.000 t Mo	Vertrieb über Auxico Resources Canada Inc; Export nach China

Indien					
Chavara	KMML	In Betrieb	18,49 Mio. t HM @ 0,48 % Mo	240 t Mo	Exportverbot für Monazit aus Indien
Chavara	IREL (India) Ltd.	In Betrieb		n. b.	
Manavala-kurichi	IREL	In Betrieb	n. b.	4.500 t Mo	
Chhatrapur	IREL	In Betrieb	61,4 Mio. t HM @ 0,1-0,7 % Mo	10.000 t Mo	
Indonesien					
Mandiri	PT A.U.M. /Pyx Resources	In Betrieb	9,39 Mio. t HM @ 0,7 % Mo	n. b.	Export des monazithaltigen HM-Konzentrats nach China
Timah	PT TIMAH	In Betrieb	n. b.	n. b.	Mo ist Nebenprodukt der Aufbereitung von Zinnerz
Madagaskar					
Fort Dauphin (QIT)	QMM (Rio Tinto Group)	In Betrieb	78,5 Mio. t HM @ 1,5 % Mo	5.000 – 7.000 t Mo	Seit 2018 Export von Zirkon-Monazitkonz. mit geschätzt 20 % Mo-Inhalt nach China
Toliara	Base Resources	Scoping für SE; Feasib. f. Ti, Zr	110,9 Mio. t HM @ 2,0 % Mo	n. b.	Abbau ab 2027 für 38 Jahre geplant
Mosambik					
Corridor 1	Anhui	Scoping	Corridor Sands mit 16,6 Mrd. t Erz @ 5,3 % HM	n. b.	
Corridor central and south	MRG Metals	Scoping		n. b.	
Moebase	Pathfinder Minerals	Scoping	n. b.	n. b.	
Moma	Kenmare Resources	In Betrieb	6,37 Mrd. t Erz @ ~0,6 % Mo (geschätzt)	2.000 – 3.000 t Mo	Export eines Zirkon-Rutil-Mischkonz. mit ~20 % Mo nach China
Südafrika					
Namakwa	Tronox Holdings	In Betrieb	66,1 Mio. t HM @ 0,23 % Mo		Mo (3,2 %) geht in Zirkon-Abfallstrom, Gewinnung in Australien (Chandala) geplant
Sri Lanka					
Pulmoddai	Lanka Mineral Sands	In Betrieb	6 Mio. t HM @ 0,3 % Mo (geschätzt)	100 t Mo	Mo wird in einem unreinen Mischkonz. nach China exportiert
Tansania					
Fungoni	Strandline Resources	Feasibility	610.000 t HM @ 1,5 % Mo	n. b. LoM 6,2 J.	100 %iger Abnahmevertrag mit Chinas Hainan Wensheng High-Tech Materials
Tajiri	Strandline Resources	Scoping	8,84 Mio. t HM @ 0,2 % Mo	n. b. LoM 23,4 J.	
USA					
Titan Project	IperionX	Scoping	9,5 Mio. t HM @ 2,1 % Mo/Xe	4.600 t Mo/Xe-Konz.	für Mo/Xe besteht Abnahmevertrag mit Energy Fuels

HM = Heavy Minerals, Schwerminerale; Mo = Monazit; Xe = Xenotim; Konz. = Konzentrat; ZIC (zircon in concentrate) = HM-Konzentrat mit Zirkon (Zirkon-Misch-Konz.); LoM = Life of Mine, Lebensdauer; Feasibility = Machbarkeitsstudie fertiggestellt; Pre-Feasibility = Vorläufige Machbarkeitsstudie; Scoping = wirtschaftliche Voruntersuchung

Literatur

ARGUS METALS (2022): China La, Ce in 70,000t surplus in 2021: BRIRE. – Argus Media Group 8.7.2022.

AUXICO RESOURCES (2023): Firmen-Webseite. – Auxico's DRC Rare Earth and Coltan Project. – URL: <https://www.auxicoresources.com/drc> [Stand: 15.08.2023].

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>.

BOLGER, R. (1995): Rare earth markets. Magnets remain attractive. – Industrial Minerals 337: 27-43.

CHEGWIDDEN, J. & KINGSNORTH, D. J. (2002): Rare earths supply and demand. A European market focus. – Industrial Minerals 415: 52-61.

CHEN, W., HONGHUI, H., BAI, T. & JIANG, S. (2017): Geochemistry of Monazite within Carbonatite Related REE Deposits. – Resources 6(4), 51: 15 S., MDPI, Basel, Schweiz. – URL: <https://doi.org/10.3390/resources6040051> [Stand: 27.09.2022].

CHUANCAI SECURITIES (2022): Shenghe Resources in-depth report – URL: https://pdf.dfcfw.com/pdf/H3_AP202205311569151552_1.pdf [Stand 05.12.2023].

LAURIA D.C. & ROCHEDO, E. R. R. (2005): The legacy of monazite processing in Brazil. – Radiation Protection Dosimetry 114(4): 546-550. – URL: <https://doi.org/10.1093/rpd/nci303> [Stand: 14.11.2022].

ELSNER, H. (2010): Heavy minerals of economic importance - assessment manual. – 218 S., Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). – URL: https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/Heavy-Minerals-Economic-Importance.pdf?__blob=publicationFile&v=2 [Stand 27.06.2023].

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?__blob=publicationFile&v=5 [Stand: 19.01.2024].

EYAL Y. & OLANDER D. R. (1990): Leaching of uranium and thorium from monazite: I. Initial leaching. – Geochimica et Cosmochimica Acta 54: 1867-1877, Pergamon Press, USA. – URL: [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(90\)90257-L](https://doi.org/10.1016/0016-7037(90)90257-L) [Stand: 01.02.2023].

GRIFFITHS, J. B. (1984): Rare-earths – attracting increasing attention. – Industrial Minerals, 199: 19-37.

GUPTA C. K. & KRISHNAMURTHY N. (2004): Extractive metallurgy of rare earths. – International Materials Reviews 37: 197-248, CRC Press, Boca Raton, Florida. – URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:137198175> [Stand: 10.06.2023].

HAXEL, G.B., HEDRICK, J.B. & ORRIS, G.J. (2002): Rare earth elements - critical resources for high technology. – USGS Fact Sheet, 087-02: 4 S., Reston, VA. – URL: <https://pubs.usgs.gov/fs/2002/fs087-02/> [Stand: 18.05.2023].

IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2019): World Thorium Occurrences, Deposits and Resources. – IAEA-TECDOC-1877: 120 S. – URL: <https://www.iaea.org/publications/13550/world-thorium-occurrences-deposits-and-resources> [Stand: 15.11.2022].

IBM – INDIAN BUREAU OF MINES (2022): Rare Earths. – Indian Minerals Yearbook 2020 – Part III: Mineral Reviews 59 th Edition: 9 S. – URL: https://ibm.gov.in/IBMPortal/pages/Indian_Minerals_Yearbook_2020_Vol_III_Mineral_Reviews [Stand 15.01.2023].

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, Geoscience Australia, Australien. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.02.008> [Stand: 21.11.2022].

LOTTERMOSER, B. G. (1991): Rare earth element resources and exploration in Australia. – The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Proceedings 296: 49-56.

MALLAPATY, S. (2021): China prepares to test Thorium fuelled nuclear reactor. – Nature, 597: 311-312. – URL: <https://doi.org/10.1038/d41586-021-02459-w> [Stand 11.07.2022].

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].

MINHUB PTY LTD (2023): Capturing value and critical rare earths from victoria's mineral sands. – White paper: 38 S.

O'DRISCOLL, M. (1989): Brazil's industrial minerals – Seeking success against all odds. – Industrial Minerals 1989: S. 23-69.

ROSKILL INFORMATION SERVICES LTD. (2021): Rare Earths: Outlook to 2030 - Twentieth Edition. – 444 S.

SHENGHE (2021): Shenghe Resources Holdings Co., Ltd. 2020 Annual Report. – URL: <https://file.finance.qq.com/finance/hs/pdf/2021/04/23/1209770685.PDF> [Stand 05.01.2024].

SHENGHE (2023a): Shenghe Resources Holdings Co., Ltd. 2023-2025 Development Plan. – URL: https://file.finance.sina.com.cn/211.154.219.97:9494/MRGG/CNSESH_STOCK/2023/2023-4/2023-04-29/9167711.PDF [Stand 05.01.2024].

SHENGHE (2023b): Shenghe Resources Holdings Co., Ltd. 2022 Annual Report. – URL: https://file.finance.sina.com.cn/211.154.219.97:9494/MRGG/CNSESH_STOCK/2023/2023-4/2023-04-29/9167694.PDF [Stand 05.01.2024].

SASTI - STATE ADMINISTRATION OF SCIENCE, TECHNOLOGY AND INDUSTRY FOR NATIONAL DEFENCE (2018): Two major groups in the nuclear industry join hands to establish CNNC Huachuang Rare Materials Co., Ltd. – URL: <https://www.sastind.gov.cn/n10086200/n10086344/c10184204/content.html> [Stand: 05.01.2024].

VAN EMDEN, B., THORNER, M. R., GRAHAM, J. & LINCOLN, F. J. (1997): The incorporation of actinides in monazite and xenotime from placer deposits in Western Australia. – The Canadian Mineralogist, 35: 95 – 104, Ottawa, ON.

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. – US Geological Survey Scientific Investigations Report: 2010-5070-L: 51 S. – URL: <https://pubs.usgs.gov/sir/2010/5070/l/pdf/sir2010-5070l.pdf> [Stand: 21.07.2022].

WALL, F. (2021): Rare Earth Elements. – In Alderton, D. & Elias, S. (Eds.): Encyclopedia of Geology, 2nd Edition: 680-693, Academic Press, Oxford. – URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102908-4.00101-6> [Stand: 14.11.2022].

ZEN INNOVATIONS AG (2023): Global Trade Tracker. – Kostenpflichtige Datenbank. – URL: <https://www.globaltradetracker.com/> [Stand: Juni 2023]

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/syflzm/kpzi/202010/P020201009619120187562.pdf> [Stand: 05.12.2023].

Impressum

Stand: 2024

B1.1 Deutsche Rohstoffagentur (DERA)
in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und
Rohstoffe (BGR)

Wilhelmstraße 25-30 | 13593 Berlin-Spandau

E-Mail: dera@bgr.de
www.deutsche-rohstoffagentur.de
www.bgr.bund.de

DOI: 10.25928/qcjsx-ta73