

Seltene Erden – Rohstoffsicherung und Potenziale der Gewinnung in Europa

Themenkurzprofil Nr. 69 | Lia Meißner • Julia Czerniak-Wilmes • Sonja Kind | Februar 2024

Seltene Erden sind ein fundamentaler Rohstoff für technologische Entwicklungen. Ihre Verfügbarkeit ist daher für die Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit in allen Bereichen der Wirtschaft unverzichtbar. Sie sind essenzieller Bestandteil für Technologien der Energie- und Mobilitätswende und der Digitalisierung, sodass der Bedarf an Seltenen Erden perspektivisch massiv steigen wird.

Vorkommen und Förderung von Seltenen Erden konzentrieren sich weltweit auf nur sehr wenige Länder außerhalb Europas. Deutschland und die EU sind somit nahezu vollständig von Importen abhängig. Die große Marktmacht einzelner Rohstoffproduzenten und insbesondere die Quasimonopolstellung Chinas als Hauptlieferant bergen dementsprechend große Versorgungsrisiken. Die Erschließung neuer Lagerstätten in Europa, das Recycling und der Aufbau einer Kreislaufwirtschaft sind Ansätze, um diese Importabhängigkeit zu reduzieren.

Der Aufbau einer europäischen Bergbau- und Minenindustrie für Seltene Erden hat für Europa und Deutschland fundamentale geopolitische Bedeutung. Mit dem Kommissionsvorschlag für eine Europäische Verordnung zu kritischen Rohstoffen wurden für den Bergbau und die Weiterverarbeitung Seltener Erden erste Weichen in Richtung vereinfachte und verkürzte Genehmigungsverfahren für Minenprojekte gestellt. Lagerstätten innerhalb Europas befinden sich in Schweden, Grönland und Finnland. Auch in Deutschland gibt es in der Nähe von Leipzig ein Vorkommen.

Ein Recycling Seltener Erden wird in Europa bisher noch wenig betrieben. Gründe hierfür liegen neben der bislang mangelnden Kosteneffizienz primär in technischen Schwierigkeiten, die sich bei der Gewinnung Seltener Erden aus Altprodukten ergeben. Überdies lassen sich aufgrund des hohen Verteilungsgrades und der niedrigen Materialanteile nur geringe Mengen rückgewinnen.

Grundsätzlich finden nur wenige potenzielle Recyclingmaterialien den Weg zur Rückgewinnung.

Der Ansatz eines kreislaforientierten Wirtschaftens geht über ein bloßes Recycling hinaus. Er zielt darauf ab, den Wert der Materialien effektiver und länger im System von Gewinnung, Produktion und Verwendung zu führen. Berechnungen zufolge ließe sich ein großer Teil der erwarteten Nachfrage an Seltenen Erden in einer Kreislaufwirtschaft decken, in der technische Innovationen, Recycling und Verhaltensänderungen ineinandergreifen.

Hintergrund und Entwicklungsstand

Als Seltene Erden werden 17 chemische Elemente bezeichnet, bei denen es sich um Metalle handelt. Es wird zwischen leichten und schweren Seltenen Erden unterschieden. Leichte Seltene Erden umfassen Elemente mit geringerer Atommasse wie Cer, während schwere Seltene Erden schwerere Elemente wie Gadolinium einschließen. Die einzelnen Elemente sind zwar ein relativ häufiger Bestandteil der Erdkruste, sie liegen jedoch in sehr unterschiedlichen Konzentrationen vor, was ihren Abbau vielerorts schwierig und unprofitabel macht (CISL/WI 2023). Die Anwendungsmöglichkeiten für Seltene Erden sind vielfältig (Tab. 1). Sie spielen eine entscheidende Rolle in vielen Produkten der täglichen Nutzung: Weder Smartphones, Laptops und Elektromotoren noch Flachbildschirme oder LED-Lampen würden ohne Seltene Erden funktionieren (Metz 2023). Zudem sind sie entscheidend für die Herstellung von Windrädern, Photovoltaik und Elektroautos und damit für die grüne und digitale Transformation (CISL/WI 2023). Weitere technische Anwendungsfelder liegen in der Verwendung als Chemiekatalysatoren, für Magnete und Poliermittel, in der Metallurgie sowie bei der Herstellung von Batterien, Glas und Keramik (Erdmann 2021).

Aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften sind Seltene Erden schwer substituierbar. Viele Entwicklungen moderner Technologien sind ohne Seltene Erden kaum denkbar, weshalb sie eine wesentliche wirtschaftliche Bedeutung haben (Erdmann 2021).

Die Energiewende ist Treiberin für den steigenden Bedarf an Seltenen Erden

Für 2022 wurde die weltweite Produktion von Seltenen Erden auf 300.000 t REO (Rare Earth Oxides/Oxide der Seltenen Erden) geschätzt, das sind etwa 10.000 t REO mehr als im Vorjahr (Statista 2023a).

Rohstoffe stehen am Anfang der industriellen Wertschöpfung und haben demnach einen großen Einfluss auf die nachgelagerten Wirtschaftsbereiche. Seltene Erden sind essenzieller Rohstoff für Zukunftstechnologien. Schätzungen zufolge wird der weltweite Bedarf an Seltenen Erden in den kommenden Jahrzehnten massiv ansteigen. Insbesondere für die Energie- und Mobilitätswende werden mehr und mehr Seltene Erden, wie Neodym, Dysprosium und

Lanthan, benötigt, die u.a. in Windturbinen, Elektromotoren, Photovoltaikanlagen, digitaler Technik sowie Batterie- und Wasserstofftechnologien verbaut werden (Schmid 2023). So werden etwa für ein Windrad je nach Größe zwischen 300 und 500 kg Seltene Erden verwendet (Metz 2023). Prognosen gehen davon aus, dass der globale Bedarf an Seltenen Erden allein für Windkraftanlagen von 3.167 t 2018 auf 11.640 t 2040 ansteigen wird (Statista 2023b).

Somit ist die Energiewende im Kern auch eine Rohstoffwende. Öl, Gas und Kohle verlieren mittel- und langfristig an Bedeutung, während metallische Rohstoffe in Zukunft immer wichtiger werden (Schmid 2023). Ohne eine sichere Rohstoffversorgung droht Deutschland bei wichtigen Technologien, wie der Elektromobilität, der Digitalisierung und der Energiewende, an Wettbewerbsfähigkeit zu verlieren.

Der Abbau Seltener Erden findet überwiegend in China statt

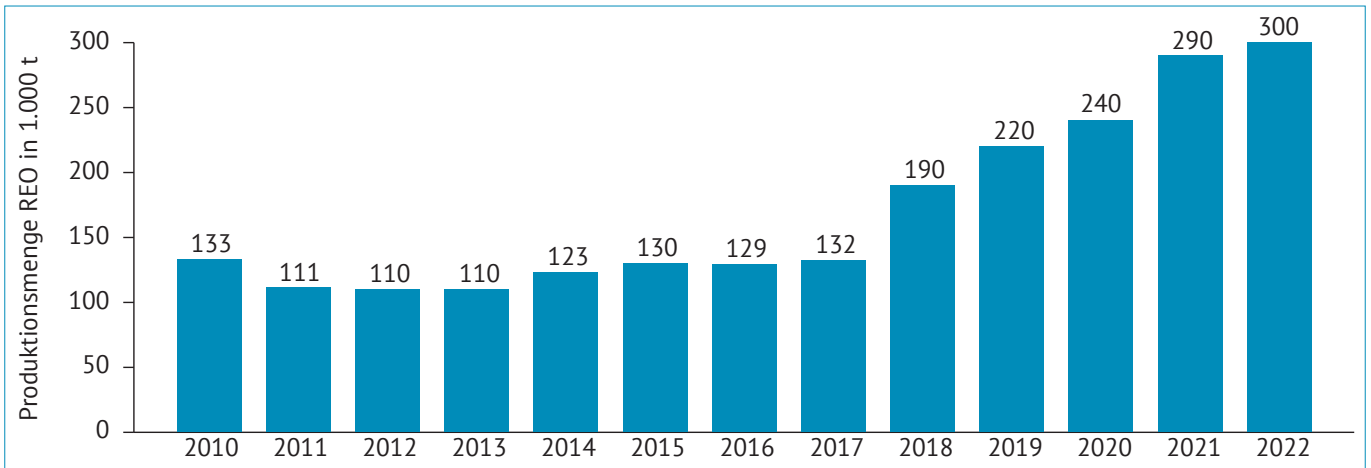
Seltene Erden sind zwar weltweit zu finden, jedoch konzentrieren sich die wichtigsten Reserven, der Abbau und die Weiterverarbeitung auf wenige Länder. 2022 beliefen

Tab. 1 Seltene Erden und ihre Anwendungen (Auswahl)

Name	ausgewählte Verwendungen
Scandium	Stadionbeleuchtung, Brennstoffzellen, Rennräder, Röntgentechnik, Laser
Yttrium	Leuchtstofflampe, LCD- und Plasmabildschirme, LEDs, Brennstoffzelle
Lanthan	Nickel-Metallhydrid-Akkus (z.B. in Elektro- und Hybridautos, Laptops), Katalysatoren, Rußpartikelfilter
Cer	Autokatalysatoren, Rußpartikelfilter, UV-Strahlungsschutzgläser, Poliermittel
Praseodym	Dauermagnete, Flugzeugmotoren, Elektromotoren, Glas- und Emaillefärbung
Neodym	Dauermagnete (z.B. in Elektromotoren, Windkraftanlagen, Kernspintomografen, Festplatten), Glasfärbung, Laser, CD-Player
Promethium	Leuchtziffern, Wärmequellen in Raumsonden und Satelliten (radioaktives Element)
Samarium	Dauermagnete (in Diktiergeräten, Kopfhörern, Festplattenlaufwerken), Raumfahrt, Gläser, Laser, Medizin
Europium	LEDs, Leuchtstofflampen, Plasmafernseher (roter Leuchtstoff)
Gadolinium	Kontrastmittel (Kernspintomografie), Radarbildschirme (grüner Leuchtstoff), AKW-Brennelemente
Terbium	Leuchtstoffe, Dauermagnete
Dysprosium	Dauermagnete (z.B. Windkraftanlagen), Leuchtstoffe, Laser, Atomreaktoren
Holmium	Hochleistungsmagnete, Medizintechnik, Laser, Atomreaktoren
Erbium	Laser (Medizin), Glasfaserkabel
Thulium	Leuchtstofflampen, Röntgentechnik, Fernsehgeräte
Ytterbium	IR-Laser, chemische Reduktionsmittel
Lutetium	Positronen-Emissions-Tomografen

Quelle: nach ISE o.J.

Abb. 1 Weltweite Produktionsmenge von Seltenen Erden im Zeitraum von 2010 bis 2022



Quelle: nach Statista 2023a

sich die weltweiten Reserven an Seltenen Erden auf rund 130 Mio. t REO (Statista 2023b). Die größten Vorkommen lagen dabei in China (44 Mio. t), Vietnam (22 Mio. t), Brasilien (21 Mio. t) und Russland (21 Mio. t). Abbildung 3 zeigt die Anteile der wichtigsten Erzeugerländer an der weltweiten Minenproduktion für 2022. Mit Abstand der größte Anteil entfiel dabei mit 70% auf China, gefolgt von den USA mit 14,3%, Australien mit 6,0% und Burma mit 4,0% (Statista 2023b).

Aufgrund Chinas marktbeherrschender Stellung im Bergbau und der Weiterverarbeitung Seltener Erden besteht eine hohe Abhängigkeit von chinesischen Importen. 2022 importierte Deutschland rund 5.300 t Seltene Erden im Wert von 49,3 Mio. Euro, wovon 66% aus China stammten (Destatis 2023). Bei Scandium und Yttrium lag der Import aus China sogar bei 95% (Destatis 2023). EU-weit stammen im Durchschnitt 98% der Importe Seltener Erden aus China (EK 2020).

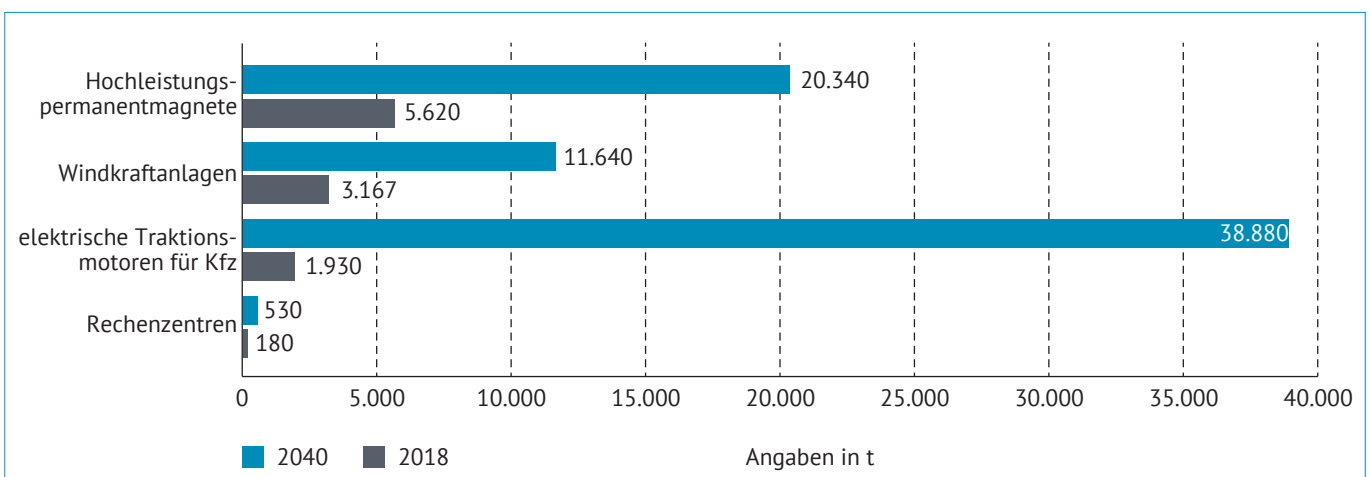
Das Risiko dieser Importabhängigkeit wurde insbesondere von 2010 bis 2014 sehr deutlich, als China seine Exporte

erheblich einschränkte. Dies führte zu einer Angebotsverknappung und einem erheblichen Preisanstieg (CISL/WI 2023). Zeitweise stiegen die Preise auf das Fünf- bzw. Zehnfache an. Die dadurch entstandenen Versorgungsengpässe führten dazu, dass der Abbau einzelner Seltener Erden z.B. in den USA, Australien, Russland, Indien, Vietnam, Thailand und Malaysia begonnen bzw. wieder aufgenommen wurde (ISE o.J.).

Geopolitischer Wettlauf und kritische Rohstoffe als politisches Druckmittel

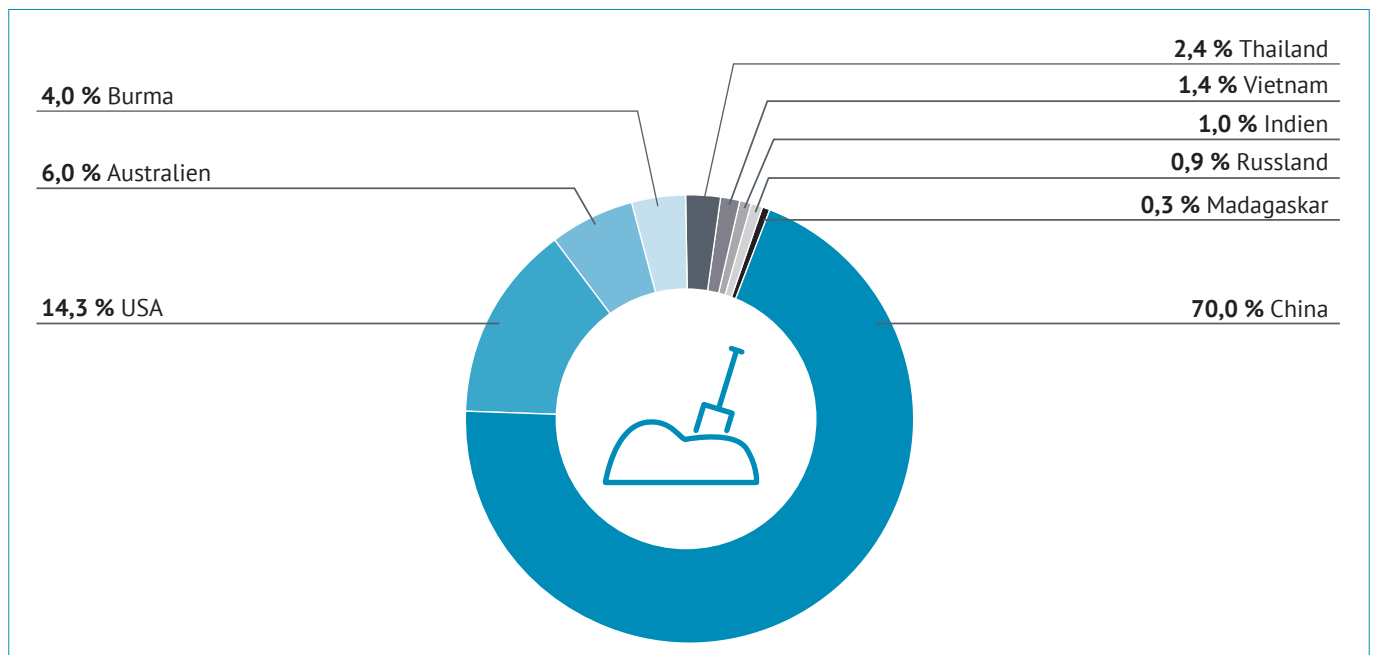
Die hohe Importabhängigkeit, insbesondere von China, ist ein geopolitisches Risiko für Europa und Deutschland. Jahrzehntelang schienen die Weltmärkte für Rohstoffe und die internationale Politik zwei getrennte Welten zu sein (Menkhoff/Zeevaert 2022). Selbst zu Zeiten des Kalten Krieges verkaufte die Sowjetunion zuverlässig ihre Rohstoffe an die Länder des Westens. Diese Verlässlichkeit ist in den Krisen der vergangenen Jahre verlorengegangen: Unter anderem die unterbrochenen Lieferketten während der COVID-19-Pandemie, die Einstellung der Gas- und Öllieferungen aus Russland infolge des An-

Abb. 2 Prognostizierter weltweiter Bedarf an Seltenen Erden für ausgewählte Technologien 2018 und 2040



Quelle: nach Statista 2023b

Abb. 3 Anteil der wichtigsten Erzeugerländer an der weltweiten Minenproduktion von Seltenen Erden 2022



Durch Rundungen entsteht eine Abweichung von 0,3 %.
Quelle: nach Statista 2023b

griffskrieges gegen die Ukraine sowie Handelsstreitigkeiten mit China haben verdeutlicht, wie verletzlich die europäische und die deutsche Wirtschaft tatsächlich sind (Schmid 2023). Für das Ziel der Klimaneutralität bis 2045 und die Sicherung des Wohlstandes ist es daher unerlässlich, bis spätestens 2035 resiliente Lieferketten für kritische Rohstoffe aufzubauen (Prognos et al. 2023). Für Europa ist es eine noch verhältnismäßig neue Erfahrung, dass Handelsbeziehungen nicht mehr nur der gegenseitigen Wohlstandsvermehrung dienen, sondern diese zunehmend auch als potenzielles Druckmittel oder gar als Form der hybriden Kriegsführung eingesetzt werden (Zentner 2023). Im geopolitischen Wettlauf um kritische Ressourcen rücken daher sogar die Böden der Ozeane in den Fokus, wie es die derzeitigen Verhandlungen über den Tiefseebergbau verdeutlichen (ZMT 2023; siehe hierzu auch das Themenkurzprofil „Chancen und Risiken des Tiefseebergbaus“ (TAB 2023).

Die anhaltende Abhängigkeit Europas von Seltenen Erden stellt somit eine große Herausforderung dar, die eine strategisch ausgerichtete Rohstoffpolitik erforderlich macht.

Rohstoffpolitik: Die EU und die Bundesregierung bereiten Maßnahmen für mehr Rohstoffsicherheit vor

Der **europäische Grüne Deal** (European Green Deal) ist eine übergreifende Strategie der EU zur Förderung einer nachhaltigen, europäischen Wirtschaft. Erklärtes Ziel ist es, die Klimaneutralität der 27 Mitgliedstaaten bis 2050 und die Senkung der Treibhausgasemissionen um 55 % bis 2030 gegenüber dem Stand von 1990 zu erreichen (EK o.J.). Der **Kommissionsvorschlag für eine Verordnung zu kritischen Rohstoffen** steht im Einklang mit der Strategie für den europäischen Grünen Deal (EK 2023). Darin werden

Rohstoffe, darunter auch Seltene Erden, hinsichtlich ihrer strategischen Bedeutung für europäische Industrien bewertet. Als kritische Rohstoffe gelten Rohstoffe von großer wirtschaftlicher Bedeutung für die EU, bei denen aufgrund der Konzentration der Bezugsquellen und des Mangels an guten, erschwinglichen Ersatzstoffen ein hohes Risiko von Versorgungsunterbrechungen besteht. Die vorgeschlagene Verordnung soll darauf abzielen, dass Rohstoffquellen diversifiziert, Recycling und Kreislauffähigkeit gestärkt sowie Forschung und Innovation in den Bereichen Ressourceneffizienz und Entwicklung von Ersatzstoffen unterstützt werden (ER/REU o.J.).

Des Weiteren ist vorgesehen, dass die EU bis 2030 in der Lage sein soll, 10 % ihres jährlichen Verbrauchs an strategischen Rohstoffen selbst zu fördern, 40 % zu verarbeiten und 15 % zu recyceln (EK 2023). Dies wird zu ökologischen und sozialen Dilemmata führen, da dieser Ansatz im Wesentlichen die Eröffnung oder Wiedereröffnung von Bergwerken in Europa bedeutet, die vielerorts abgelehnt werden (CISL/WI 2023). So kritisieren beispielsweise zivilgesellschaftliche Akteure bereits heute mitunter schwache Umwelt- und Menschenrechtsstandards sowie fehlende Rohstoffreduktionsziele in der geplanten Verordnung.

Die vorgeschlagene **EU-Richtlinie über die Sorgfaltspflichten von Unternehmen im Hinblick auf Nachhaltigkeit** soll zum Ziel haben, Menschenrechtsverletzungen und Umweltverschmutzung in Lieferketten europäischer Unternehmen in allen Sektoren zu mindern oder zu beseitigen (EK 2022). In Bezug auf Seltene Erden bedeutet dies beispielsweise, dass Unternehmen dazu verpflichtet sind, ihre Sorgfaltspflichten einzuhalten und Kinderarbeit, Sklaverei, Umweltverschmutzung oder Verlust von Biodiversität ent-

lang ihrer Lieferketten zu ermitteln, abzumildern oder zu beenden (Holdinghausen 2023).

Die deutsche Rohstoffstrategie

Die deutsche Bundesregierung hat 2010 erstmals eine Rohstoffstrategie erarbeitet. Eine Konsequenz daraus war damals die Gründung der Deutschen Rohstoffagentur (DERA) als Teil der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) im Geschäftsbereich des heutigen Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Die DERA führt regelmäßig ein Monitoring durch und beschreibt die Preisentwicklungen sowie Angebots- und Nachfragetrends. Zuletzt wurde die Rohstoffstrategie 2019 aktualisiert (Bundesregierung 2019). Das BMWK plant, eine aktivere Rolle bei der Rohstoffversorgung einzunehmen, und hat Anfang 2023 ein Eckpunktepapier veröffentlicht, das die bestehende Rohstoffstrategie ergänzt. Schwerpunkte darin sind die Kreislaufwirtschaft, die Ressourceneffizienz und das Recycling, die Diversifizierung der Rohstofflieferketten sowie die Sicherung fairer und nachhaltiger Marktbedingungen (BMWK o.J.). Zudem sieht das BMWK einen Fonds vor, aus dem Rohstoffprojekte in Deutschland, der EU und weltweit finanziell gefördert werden sollen. Des Weiteren ist vorgesehen, den heimischen Bergbau auszubauen und Unternehmen mit steuerlichen Vergünstigungen zu motivieren, mehr kritische Rohstoffe einzulagern (Eckstein 2023).

Maßnahmen zur Reduzierung der Importabhängigkeit

Angesichts des rasanten globalen Nachfragewachstums für Seltene Erden stellt sich die Frage, wie sich die ausgeprägte Abhängigkeit von Importen verringern lässt. Dabei kann zwischen kurzfristigen und langfristigen Maßnahmen unterschieden werden.

Kurzfristige Maßnahmen unterliegen der Annahme, dass Importe kritischer Rohstoffe in den kommenden Jahren unverändert notwendig sind, die Lieferanten im Wesentlichen dieselben bleiben und die Volumina möglicherweise ansteigen werden (Menkhoff/Zeevaert 2022). Menkhoff und Zeevaert (2022) haben in diesem Zusammenhang drei Maßnahmen identifiziert: erstens die Bündelung der Nachfrage, um der Marktmacht weniger Anbieter entgegenzuwirken; zweitens die stärkere Diversifizierung der Lieferländer, die tendenziell die Macht einzelner Anbieter senkt und zudem Importrückgänge bei einem Lieferantenausfall abfedert; und drittens eine verpflichtende Mindestreserve, die temporär die Versorgungssicherheit gewährleistet (Menkhoff/Zeevaert 2022). **Langfristige Maßnahmen** sind u.a. erstens die Wiederbelebung bzw. der Aufbau einer europäischen Produktion, zweitens verbessertes Recycling und der Aufbau einer Kreislaufwirtschaft für Seltene Erden sowie drittens die Förderung technischer Innovationen, um den Einsatz kritischer Roh-



stoffe zu reduzieren oder sogar komplett zu substituieren (Menkhoff/Zeevaert 2022).

Im Folgenden werden Maßnahmen zur Erschließung neuer Lagerstätten in Europa, zum Recycling Seltener Erden sowie zum Aufbau einer europäischen Kreislaufwirtschaft beschrieben.

Erschließung neuer Lagerstätten in Europa

In Europa findet derzeit kein Abbau Seltener Erden statt. Die Wiederbelebung des Bergbaus würde nicht nur die Importabhängigkeit verringern, sondern es auch erlauben, die sozialen und ökologischen Bedingungen des Abbaus und der Weiterverarbeitung besser zu kontrollieren (Lepesant 2021). In den letzten Jahren wurden mit Explorationsprojekten Erschließungsmöglichkeiten neuer Lagerstätten in Europa untersucht. Die größten Reserven, die sich potenziell für einen Abbau eignen könnten, liegen u.a. in Schweden, Grönland und Finnland.

Schweden: Im Januar 2023 meldete Schweden einen großen Fund von geeignetem Erz in der Bergbauregion **Kiruna** im Norden des Landes. Die Menge von mehr als 1 Mio. t Seltener Erden wäre möglicherweise ausreichend, um einen Großteil des künftigen Bedarfs der EU an Permanentmagneten für Elektromotoren und Windturbinen zu decken (LKAB 2023). Das staatliche Bergbauunternehmen LKAB (2023) geht davon aus, dass es allerdings mindestens 10 bis 15 Jahre dauern wird, bis tatsächlich mit dem Abbau begonnen und die Rohstoffe auf den Markt gebracht werden können. LKAB arbeitet aktuell an der Entwicklung einer Methode zur Gewinnung von Seltenen Erden und Phosphor aus den Abfällen seiner Eisenerzminen. Die Produktion soll 2027 starten. Dies könnte die wirtschaftliche Rentabilität des Bergbaus erhöhen, da Seltene Erden oft als Nebenprodukte gewonnen werden und sich ihr alleiniger Abbau oft nicht rentiert (CISL/WI 2023).

Grönland (zu Dänemark gehörend): In **Kvanefjeld** befindet sich eine Lagerstätte mit etwa 11 Mio. t Seltenen Erden, die schätzungsweise 20 bis 30% des globalen Bedarfs

decken könnten (Gollmer 2014). Seit einigen Jahren wird angestrebt, die Bergbauminerale zum wichtigsten westlichen Produktionsort für Seltene Erden zu entwickeln (ETM o.J.). Eine Herausforderung besteht in der hohen Radioaktivität des Kvanefeldgebiets.

Finnland: Das Bergbaugebiet **Sokli** im finnischen Teil Lapplands birgt bedeutendere Ressourcen an Seltenen Erden als bislang angenommen. Nach vorsichtigen Schätzungen könnten in Sokli mindestens 10% des europäischen Bedarfs an Seltenen Erden für die Herstellung von Permanentmagneten gewonnen werden (Suomen Malmijalostus Oy 2023). Für ihre bergbauliche Gewinnung sind Investitionen von 1 bis 1,5 Mrd. Euro erforderlich.

Deutschland: Auch in Deutschland sind Vorkommen Seltenen Erden (Lanthan, Cer und Neodym) in **Storkwitz** nordwestlich von Leipzig bekannt. Entdeckt wurden die Bodenschätze eher zufällig bei Uranbohrungen zu DDR-Zeiten. In den 1970er Jahren wurde das Vorkommen auf rund 136.000 t geschätzt (ARD alpha 2023). Nach Probebohrungen 2012 wurde die Größe des Vorkommens auf etwa 20.000 t Erze korrigiert. Weil jedoch der Gehalt der gesuchten Metalle im Erz weniger als 0,5 % beträgt, war relativ schnell deutlich geworden, dass der heimische Abbau von Seltenen Erden unwirtschaftlich ist. 2015 gab das Unternehmen, das ursprünglich den Abbau des Erzes vorgehabt hatte, die Abbaulizenz zurück (ARD alpha 2023).

Es gibt jedoch grundsätzlich eine Reihe von Hindernissen beim Aufbau einer europäischen Wertschöpfungskette für Seltene Erden. Zum einen sind die Genehmigungsverfahren für den Bergbau und die erforderlichen Infrastrukturen langwierig. Gegenwärtig vergehen durchschnittlich etwa 16 Jahre zwischen den ersten Erkundungsarbeiten bis zur Produktion (IEA 2022, S.129). Zum anderen besteht die Herausforderung darin, ein wirtschaftliches Modell zu finden, das die Rentabilität trotz hoher entstehender Kosten, der Umweltrisiken und der hohen Preisvolatilität gewährleistet.



tet (Lepesant 2021). Bei einer alleinigen Förderung Seltenen Erden ist die Rentabilität kaum gesichert, da es sich in der Regel um geringe Mengen handelt und die Preise je nach technologischer Entwicklung und Nachfrage stark schwanken. Vor allem aber verfügt China als bis dato weltweit größter und etablierter Produzent und Anbieter nicht nur über reiche Vorkommen an Seltenen Erden, sondern auch über die zu deren Verarbeitung notwendige Wertschöpfungskette (Lepesant 2021).

Seltene Erden recyceln statt fördern

Neben der Erschließung neuer Lagerstätten in Europa ist das Recycling kritischer Rohstoffe ein möglicher bzw. sinnvoller Weg aus der Importabhängigkeit. Durch das Recycling von Technologiekomponenten können Stoffkreisläufe geschlossen und der Bedarf an primär gewonnenen bzw. importierten Materialien reduziert werden (WD 2022).

Es existieren enorme Mengen an Elektroschrott, der bisher allerdings kaum recycelt wird. Weltweit werden pro Jahr 53,6 Mio. t Elektroschrott als Müll entsorgt, was 7,3 kg pro Person entspricht (ITU o.J.). Deutschland liegt mit über 20 kg Elektroschrott pro Kopf und Jahr deutlich über dem weltweiten Durchschnitt. Davon werden lediglich 45 % fachgerecht entsorgt, obwohl bereits seit längerer Zeit eine Sammelquote von 65 % vorgeschrieben ist (TAB 2024). Die Bestimmungen des Elektro- und Elektronikgerätegesetzes wurden zudem 2022 für Hersteller und Händler weiter verschärft (ARD alpha 2023).

Derzeit werden nur etwa 1 % der Seltenen Erden recycelt, da es bisher weltweit nirgendwo ganzheitliche Strategien und umfassende Programme für das Recycling von Seltenen Erden aus Produkten gibt (ZMT 2023). In Europa werden lediglich 3 % der Gesamtnachfrage an leichten Seltenen Erden und 8 % an schweren Seltenen Erden aus dem Recycling gedeckt (Erdmann 2021). Gründe für die geringe Recyclingquote liegen darin, dass mit dem Recycling Seltenen Erden mehrere Probleme verbunden sind (CISL/WI 2023; Erdmann 2021):

- Die verschiedenen Seltenen Erden weisen nur geringfügige Unterschiede in ihren chemischen Eigenschaften auf, was ihre Trennung im Recyclingprozess erschwert.
- Seltene Erden bilden sehr stabile Verbindungen in Seltenerd-magneten, was das Recycling technisch und finanziell sehr anspruchsvoll macht.
- Die getrennte Sammlung von Seltenerd-magneten ist kostspielig und lohnt sich nur für große Magnete in Windkraftanlagen.
- Neben technischen Schwierigkeiten sind vor allem die Verteilung in verschiedenen Anwendungen sowie die geringe Gesamtmenge und Rücklaufquote die größten Herausforderungen für ein wirtschaftliches Recycling.

Magnete, die Seltene Erden enthalten, können am ehesten wirtschaftlich recycelt werden. Sie fallen allerdings nur in



kleinen Mengen an und stammen hauptsächlich aus Festplatten, Lautsprechern und von Abfällen aus der Magnetproduktion. Die gesammelten Magnetabfälle werden in der Regel nach China, Japan, Vietnam und auf die Philippinen verkauft, wo die meisten industriellen Recyclingverfahren zur Verfügung stehen (Erdmann 2021). Das Recycling von Seltenen Erden wird mittlerweile in vielen Ländern vorangetrieben (z.B. von Geomega Resources in Quebec, Kanada), bislang sind jedoch nur wenige Unternehmen über den Bau einer Pilotanlage hinausgekommen (Erdmann 2021). Global betrachtet spielt das Recycling von Seltenen Erden aufgrund der niedrigen Sammelquoten und komplexer Aufbereitungsverfahren derzeit somit keine Rolle (Erdmann 2021).

Kreislaufwirtschaft für Seltene Erden

Eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft könnte dazu beitragen, die Herausforderungen der Rohstoffsicherheit und Nachhaltigkeit bei der Produktion und dem Konsum von Gütern, die Seltene Erden enthalten, gemeinsam zu bewältigen (Schmid 2023). Der Ansatz der Kreislaufwirtschaft geht dabei einen Schritt weiter als das Recycling Seltener Erden: Es geht nicht nur um die reine Wiederverwendung, sondern darum, wie der Wert von Materialien effektiver und länger im System von Gewinnung, Produktion und Verwendung gehalten werden kann (CISL/WI 2023). Berechnungen zufolge wären genügend Rohstoffe vorhanden, wenn Produktion und Konsum im Sinne einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft gestaltet würden (Holdinghausen 2023). Durch technische Innovationen, Recycling und Verhaltensänderungen ließe sich ein großer Teil der erwarteten Nachfrage decken, z.B. 90 % des Yttriums, 79 % des Dysprosium und 68 % des Neodyms (Holdinghausen 2023).

Zur Etablierung einer Kreislaufwirtschaft ist ein bewusster Wechsel hin zu einem Wiederverwendungsmodell notwendig. Der Textkasten (S.8) gibt einen Überblick über Maßnahmen und Handlungsempfehlungen zum Aufbau einer

globalen Kreislaufwirtschaft für Seltene Erden. Praktiken der Kreislaufwirtschaft erfordern oft erhebliche Änderungen an bestehenden Geschäftsmodellen, wie beispielsweise dem Produktdesign, der Wiederverwertungslogistik und der Recyclinginfrastruktur. Zudem muss die wirtschaftliche Machbarkeit solcher Praktiken unter den geltenden Vorschriften berücksichtigt werden (CISL/WI 2023). Dies umfasst einen komplexen Prozess, der die koordinierte Zusammenarbeit aller Beteiligten erfordert einschließlich Lieferanten, Herstellern, Verbrauchern und politischen Entscheidungsträgern (CISL/WI 2023). Der Aufbau einer Kreislaufwirtschaft für Seltene Erden stellt zwar eine erhebliche Herausforderung dar, bietet aber Unternehmen zugleich neue und relevante Möglichkeiten, ihre Geschäftsmodelle auszubauen und ihre Kosten zu senken.

Ökologische und soziale Relevanz

Der Abbau Seltener Erden kann erhebliche **Umweltauswirkungen** haben, wie hoher Verbrauch und Verschmutzung von Wasser, Belastung von Böden und Luft, Entwaldung und Zerstörung der Landschaft, Freisetzung giftiger, mitunter radioaktiver chemischer Verbindungen und Verlust der Biodiversität (Holdinghausen 2023). Die erwartete schnelle Zunahme der Nachfrage nach Seltenen Erden für die Energiewende könnte zu einer Verschärfung dieser problematischen Auswirkungen und bereits bestehender Konflikte um Ressourcen wie Boden und Wasser führen (Schmid 2023). Außerdem führt der Abbau Seltener Erden vielerorts zu einer Reihe von **sozialen und ethischen Problemen** insbesondere im Hinblick auf Arbeitsbedingungen, die Einhaltung von Menschenrechten und Geschlechtergerechtigkeiten. So haben Frauen, die je nach Land und Unternehmen 30 bis 50 % der Belegschaft im handwerklichen Bergbau stellen, in vielen Ländern häufig keinen Zugang zu Bergbaurechten und -titeln und ihr Verdienst beträgt nur ein Viertel dessen, was Männer verdienen (Holdinghausen 2023).

Maßnahmen und Handlungsempfehlungen zum Aufbau einer globalen Kreislaufwirtschaft für Seltene Erden

Globales Recycling von Seltenen Erden ankurbeln, indem

- Regierungen verpflichtende Rücknahmeregelungen für Produkte mit hohem Seltene-Erden-Gehalt einführen und lizenzierte Recyclingunternehmen aufbauen;
- verbindliche Quoten für den Anteil von rückgewonnenen Seltenen Erden festgelegt werden;
- Regierungen sich auch auf einen globalen Standard für die Produktkennzeichnung einigen, damit Hersteller und andere Personen die Arten und Mengen von Seltenen Erden in Produkten verstehen können.

Rückgewinnung und Rückverfolgung von Seltenen Erden durch Investitionen

- in Systeme und Technologien für die Rückverfolgung von Seltenen Erden, die Sammlung von Produkten, die Automatisierung von Demontagetechnologien und die Trennung und Rückgewinnung von Seltenen Erden, auch und gerade in grünen Hafentwicklungen;
- in öffentlich-private Partnerschaften, die Gelder für das Recycling von Seltenen Erden aus Produkten wie Permanentmagneten von Festplattenlaufwerken, Motoren von Windturbinen und Elektrofahrzeugen, Lautsprechern, Magnetresonanztomografen und Satellitenkommunikationsgeräten aufbringen könnten;
- in eine Infrastruktur zur Rückverfolgung der Mengen von Seltenen Erden auf individueller Produktebene, was langfristig die Sekundärmärkte und die Kreislaufwirtschaft fördern würde.

Überarbeitung der Seltenen-Erden-Lieferketten durch

- Neugestaltung von Geschäftsmodellen und Lieferketten bis hin zu Rückverfolgungssystemen, die das Leasing von Seltenen-Erden-Mineralien ermöglichen.
- Entwicklung von Recyclinginfrastrukturen, Finanzen, Plattformen, Rückverfolgbarkeit und Standards für den Informationsaustausch.
- Schaffung einer globalen Datenplattform für Sekundärmaterialien und Szenarien.

Quellen: Geng et al. 2023; ZMT 2023

Zielkonflikt zwischen Rohstoffsicherheit und Umweltschonung

Wie beschrieben, strebt die EU eine Wiederbelebung der Bergbauindustrie in Europa zur Selbstversorgung mit kritischen Rohstoffen an, um eine sichere Versorgung für den grünen und digitalen Wandel zu gewährleisten. Doch die heimische Rohstoffförderung in Europa ist umstritten. In Teilen der Bevölkerung bestehen Widerstände gegen jede Art von Rohstoffabbau und deren negative Umweltauswirkungen, die sich selbst bei dem Einsatz möglichst umweltfreundlicher Technologie nicht vermeiden lassen. Menkhoff und Zeevaert (2022, S.672) identifizieren in die-

sem Zusammenhang u.a. einen Zielkonflikt zwischen Rohstoffsicherheit und Umweltschonung. Damit ist gemeint, dass zwischen den beiden Zielen insofern eine konkurrierende Beziehung besteht, als Maßnahmen zur Verbesserung einer Zielgröße zur Einschränkung einer anderen Zielgröße führen. Es muss daher gesamtgesellschaftlich überlegt werden, wie die beiden Ziele von Rohstoffsicherheit durch die Wiederbelebung des heimischen Bergbaus und Umweltschonung durch Vermeidung von Rohstoffabbau austariert werden können (Menkhoff/Zeevaert 2022).

Um die Interdependenz zwischen Rohstoffsicherheit und Umweltschonung zu verdeutlichen, lohnt ein Blick nach Schweden. Der große Fund in **Kiruna** befindet sich innerhalb der UNESCO-Welterbestätte Laponia (CISL/WI 2023). Dort betreiben Samen, das letzte indigene Volk Europas, eine jahrtausendealte Rentierzucht (Ovesson 2023). Es ist deshalb völlig unklar, ob eine Bergbaugenehmigung erteilt wird bzw. überhaupt erteilt werden dürfte, da dies u.a. von der Beurteilung der Umweltauswirkungen, dem Widerstand gegen den Bergbau vor Ort, den Zugangsrechten zum Land und zur Rentierweide sowie der Gefahr des Verlusts des Welterbestatus abhängt (CISL/WI 2023).

Neben dem Zielkonflikt verdeutlicht dieses Beispiel einen weiteren relevanten Aspekt: Bisher wurden Seltene Erden ausschließlich aus Drittländern importiert sowie die damit verbundenen vielfältigen ökologischen und sozialen Folgen ausgelagert und diesen Ländern überantwortet (CISL/WI 2023). Dieses Phänomen wird auch als Burden Shifting oder Pollution Exporting bezeichnet. Es beschreibt die Tatsache, dass Industrienationen mit ihren eigenen strengen Umweltschutzvorschriften ihre Rohstoffe aus Ländern mit geringeren Umweltstandards und schwächerer Regierungsführung beziehen (Erdmann 2021). Wenn aber eine sichere und günstige Versorgung mit kritischen Rohstoffen auf dem Weltmarkt nicht mehr ohne Weiteres als gegeben angesehen werden kann, wird das Dilemma von Rohstoffsicherheit und Umweltschonung in seinen vollen Umfängen und Konsequenzen sichtbar. Bislang ist Europa nicht in der Lage oder willens, den Verbrauch von Seltenen Erden einzuschränken und/oder den Bedarf im Rahmen einer Kreislaufwirtschaft relevant zu reduzieren, während zugleich die gesellschaftliche Akzeptanz für eine Reaktivierung des Bergbaus im eigenen Land zwecks Abbaus von Seltenen Erden nur gering ausgeprägt ist.

Mögliche vertiefte Bearbeitung des Themas

In diesem Themenkurzprofil wurden die Potenziale der Rohstoffsicherung von Seltenen Erden für Europa durch die Erschließung heimischer Lagerstätten, das Recycling Seltener Erden und den Aufbau einer europäischen Kreislaufwirtschaft beleuchtet. Aufgrund der hohen Komplexität des Themas wurde die Kategorie der Seltenen Erden nicht weiter aufgeschlüsselt. In einer möglichen tiefer

gehenden Bearbeitung durch das TAB könnte herausgearbeitet werden, welche Seltenen Erden für welche Zukunftstechnologien relevant sind und wie es jeweils um die Versorgungslage steht. Des Weiteren wäre eine dezidierte Betrachtung des aktuellen Entwicklungsstands des Recyclings Seltener Erden vor dem Hintergrund des geplanten Aufbaus einer europäischen Kreislaufwirtschaft denkbar. In einer solchen Betrachtung könnte herausgearbeitet werden, an welchen technologischen Innovationen aktuell gearbeitet wird, welche Barrieren zur Implementierung existieren und mit welchen Maßnahmen diese abgebaut werden könnten. Zudem könnte auf internationaler Perspektive geschaut werden, ob es (Pilot-) Projekte gibt, mit denen es bereits erfolgreich gelingt, Seltene Erden länger im Kreislauf zu führen, und was das deutsche Innovationssystem von diesen Projekten lernen kann.

Literatur

- ▶ ARD alpha (2023): Wofür und wie wir Seltene Erden gewinnen. Seltenerdmetalle. <https://www.ardalpha.de/wissen/umwelt/nachhaltigkeit/seltene-erden-seltenerdmetalle-metalle-rohstoffe-technologie-smartphones-china-100.html> (6.3.2024)
- ▶ BMWK (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz) (o.J.): Eckpunktepapier des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK): Wege zu einer nachhaltigen und resilienten Rohstoffversorgung. <https://www.vbw-bayern.de/Redaktion/Frei-zugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Wirtschaftspolitik/2023/Downloads/230103-BMWK-Eckpunktepapier-nachhaltige-und-resiliente-rohstoffversorgung.pdf> (6.3.2024)
- ▶ Bundesregierung (2020): Die Rohstoffstrategie der Bundesregierung. Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nichtenergetischen mineralischen Rohstoffen. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/rohstoffstrategie-der-bundesregierung.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (6.3.2024)
- ▶ CISL (University of Cambridge Institute for Sustainability Leadership), WI (Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy) (2023): Embracing circularity: A pathway for strengthening the Critical Raw Materials Act. Cambridge
- ▶ Destatis (Statistisches Bundesamt) (2023): Januar bis November 2022: 66 % der importierten Seltenen Erden kamen aus China. Zahl der Woche Nr. 04, https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2023/PD23_04_p002.html (6.3.2024)
- ▶ Eckstein, P. (2023): Wie die Ampel Rohstoffe sichern will. Tagesschau, <https://www.tagesschau.de/inland/innenpolitik/rohstoffe-strategie-101.html> (6.3.2024)
- ▶ EK (Europäische Kommission) (2020): Widerstandsfähigkeit der EU bei kritischen Rohstoffen: Einen Pfad hin zu größerer Sicherheit und Nachhaltigkeit abstecken. COM(2020) 474 final, Brüssel
- ▶ EK (2022): Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über die Sorgfaltpflichten von Unternehmen im Hinblick auf Nachhaltigkeit und zur Änderung der Richtlinie (EU) 2019/1937. COM(2022) 71 final, Brüssel
- ▶ EK (2023): Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Rahmens zur Gewährleistung einer sicheren und nachhaltigen Versorgung mit kritischen Rohstoffen und zur Änderung der Verordnungen (EU) 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 und (EU) 2019/1020. COM(2023) 160 final, Brüssel
- ▶ EK (o.J.): Der europäische Grüne Deal. Erster klimaneutraler Kontinent werden. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de (6.3.2024)
- ▶ ER (Europäischer Rat); REU (Rat der Europäischen Union) (o.J.): Infografik – Ein EU-Gesetz zu kritischen Rohstoffen für die Zukunft der EU-Lieferketten. / (6.3.2024)
- ▶ Erdmann, M. (2021): Seltene Erden. Informationen zur Nachhaltigkeit. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Informationen_Nachhaltigkeit/seltene_erden.pdf;jsessionid=62888616968FA62C25067A6529C32049.2_cid331?__blob=publicationFile&v (6.3.2024)
- ▶ ETM (Energy Transition Minerals Ltd) (o.J.): Kvanefjeld Project. <https://etransmin.com/kvanefjeld-project/> (6.3.2024)
- ▶ Geng, Y.; Sarkis, J.; Bleischwitz, R. (2023): How to build a circular economy for rare-earth elements. In: Nature 619 (7969), S.248–251
- ▶ Gollmer, M. (2014): Seltene Erden. Finanz und Wirtschaft, <https://www.fuw.ch/article/seltene-erden-2> (6.3.2024)
- ▶ Holdinghausen, H. (2023): Der große Run auf Rohstoffe. Heinrich-Böll-Stiftung, <https://www.boell.de/de/2023/10/03/der-grosse-run-auf-rohstoffe#7> (6.3.2024)
- ▶ IEA (International Energy Agency) (2022): The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ffd2a83b-8c30-4e9d-980a-52b6d9a86fdc/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf> (6.3.2024)
- ▶ ISE (Institut für Seltene Erden und Metalle AG) (o.J.): Seltene Erden/Rare Earth Elements/REE. <https://institut-seltene-erden.de/seltene-erden-und-metalle/seltene-erden/> (6.3.2024)
- ▶ ITU (International Telecommunication Union) (o.J.): Global E-waste Monitor 2020. <https://www.itu.int/en/ITU-D/Environment/Pages/Spotlight/Global-Ewaste-Monitor-2020.aspx> (6.3.2024)
- ▶ Lepesant, G. (2021): Die Rolle der kritischen Metalle bei der Energiewende: Herausforderungen und Strategien. <https://shs.hal.science/halshs-03364930/document> (6.3.2024)
- ▶ LKAB (Luossavaara-Kiirunavaara Aktiebolag) (2023): Europe's largest deposit of rare earth metals is located in the Kiruna area. <https://lkab.com/en/press/europes->

- largest-deposit-of-rare-earth-metals-is-located-in-the-kiruna-area/ (6.3.2024)
- ▶ Menkhoff, L.; Zeevaert, M. (2022): Deutschland kann seine Versorgungssicherheit bei mineralischen Rohstoffimporten erhöhen. DIW Wochenbericht 50, S.667–675
 - ▶ Metz, J. (2023): Globale Produktion von kritischen und strategischen Rohstoffen 2022. In: Das Parlament 35–36, S.4–5
 - ▶ Ovesson, I. (2023): Die Samen, Greta und die seltenen Erden: „Das letzte indigene Volk der EU wird geopfert“. RedaktionsNetzwerkDeutschland, https://www.rnd.de/politik/samen-in-skandinavien-das-letzte-indigene-volk-der-eu-wird-geopfert-ZHVQAGN7EJA5PCZQZZS74VOC_DQ.html (6.3.2024)
 - ▶ Prognos AG, Öko-Institut e.V., Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH (2023): Souveränität Deutschlands sichern. Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045. <https://www.oeko.de/news/aktuelles/rohstoffe-fuer-die-nachhaltige-transformation-resiliente-lieferketten> (6.3.2024)
 - ▶ Schmid, S. (2023): Rennen um Rohstoffe. Um Abhängigkeit und Raubbau zu verringern, braucht es neue Strategien. In: Das Parlament 35–36, S.1
 - ▶ Statista (2023a): Metalle der Energiewende. <https://de.statista.com/statistik/studie/id/132881/dokument/metalle-der-energiewende/> (6.3.2024)
 - ▶ Statista (2023b): Seltene Erden. <https://de.statista.com/statistik/studie/id/6596/dokument/seltene-erden/> (6.3.2024)
 - ▶ SuomenMalmijalostusOy(FinnishMineralsGroup)(2023): Scoping study of Sokli mining project completed – would significantly strengthen Finnish mineral production. <https://www.mineralsgroup.fi/topical/news/scoping-study-of-sokli-mining-project-completed-would-significantly-strengthen-finnish-mineral-production.html> (6.3.2024)
 - ▶ TAB (Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag) (2023): Chancen und Risiken des Tiefseebergbaus. (Bogenstahl, C.) TAB-Themenkurzprofil Nr. 61, Berlin
 - ▶ TAB (2024): Strategien und Instrumente zur Verbesserung des Rezyklateinsatzes. Mit Fallstudien zu Kunststoffverpackungen, Elektrogeräten sowie Baustoffen. (Kehl, C.; Rioussset, P.) TAB-Arbeitsbericht Nr. 207, Berlin
 - ▶ WD (Wissenschaftliche Dienste Deutscher Bundestag) (2022): Seltene Erden als wichtige Ressource. WD 5 - 3000 - 003/22, https://www.bundestag.de/resource/blob/886424/16cb4318a6eaf7b2e5d2221d85e81927/WD-5-003-22-pdf-data.pdf?trk=public_post_comment-text (6.3.2024)
 - ▶ Zentner, C. (2023): Das Fundament. In: Das Parlament 35–36, S.1
 - ▶ ZMT (Leibniz-Zentrum für Marine Tropenforschung GmbH)(2023):Eine Kreislaufwirtschaft für Seltene Erden: Wie kann das gelingen? <https://www.leibniz-zmt.de/de/neuigkeiten/nachrichten-aktuelles/archiv-news/eine-kreislaufwirtschaft-fuer-seltene-erden-wie-kann-das-gelingen.html> (6.3.2024)

Das Horizon-Scanning ist Teil des methodischen Spektrums der Technikfolgenabschätzung im TAB.

Horizon
SCANNING

Mittels Horizon-Scanning werden neue technologische Entwicklungen beobachtet und diese systematisch auf ihre Chancen und Risiken bewertet. So werden technologische, ökonomische, ökologische, soziale und politische Veränderungspotenziale möglichst früh erfasst und beschrieben. Ziel des Horizon-Scannings ist es, einen Beitrag zur forschungs- und innovationspolitischen Orientierung und Meinungsbildung des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung zu leisten.

In der praktischen Umsetzung werden im Horizon-Scanning softwaregestützte Such- und Analyseschritte mit expertenbasierten Validierungs- und Bewertungsprozessen kombiniert.

Herausgeber: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB)

Gestaltung und Redaktion: VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

Bildnachweise: AkuAku/AdobeStock (S. 1); qwerty01/iStock (S. 5); Anastasiia/AdobeStock (S. 6); RHI/iStock (S. 9)

ISSN-Internet: 2629-2874