

»» Rohstoffbedarf und -sicherheit in Zeiten der grünen und digitalen Transformation

Nr. 399, 7. September 2022

Autorinnen: Anke Brüggemann, Telefon 069 7431-1736, anke.brueggemann@kfw.de

Hannah Levinger, Telefon 069 7431-5717, hannah.levinger@kfw.de

Die Transformation Richtung Klimaneutralität und die Digitalisierung werden den zukünftigen Rohstoffbedarf wesentlich prägen, aber auch verändern. Während die Bedeutung fossiler Energierohstoffe abnimmt, wird die Nachfrage sowohl nach Massenmetallen wie Kupfer als auch nach Spezialmetallen wie Lithium, Seltenen Erden oder Kobalt stark steigen. Diese mineralischen Rohstoffe stehen im engen Zusammenhang mit dem Ausbau erneuerbarer Energien, der Entwicklung von Antriebstechnologien und Batterien für E-Mobilität sowie Robotik, 3D-Druck und anderen digitalen Technologien.

Deutschland und Europa sind in hohem Maße auf den Import von Metallen und einzelnen Industriemineralien angewiesen. Bei rund einem Dutzend strategisch wichtigen Rohstoffen liegt die Importabhängigkeit sogar bei 100 %. Deutschland und Europa stehen dabei zunehmend im Spannungsfeld zweier Tendenzen. Erstens, der weltweite Einsatz mineralischer Rohstoffe für klimafreundliche Energietechnologien wird sich bis 2040 versechsfachen müssen, wenn das Ziel des Pariser Klimaschutzabkommens zur Begrenzung des globalen Temperaturanstiegs auf 1,5°C realisiert werden soll. Auch die weltweiten Digitalisierungsbestrebungen werden die Rohstoffnachfrage erhöhen. Zweitens, die schon jetzt hohe geografische Konzentration der globalen Rohstoffproduktion und -weiterverarbeitung könnte sich vor dem Hintergrund des gesteigerten Wettbewerbs weiter zuspitzen. Darüber hinaus zeichnet sich bereits ab, dass die Entwicklung der globalen Bergbaukapazitäten nicht mit dem künftigen weltweiten Rohstoffbedarf Schritt hält. Für die Positionierung europäischer Unternehmen im Bereich strategischer Technologien wie Lithium-Ionen-Batterien oder Solartechnik stellt die hohe Marktmacht Chinas eine besondere Herausforderung nicht nur in Bezug auf die Rohstoffversorgung, sondern auch für den Technologiestandort Europa dar.

Mit Blick auf die hohe Relevanz mineralischer Rohstoffe für die Wettbewerbs- und Zukunftsfähigkeit der deutschen und europäischen Wirtschaft haben die EU und Deutschland mit ihren Rohstoffstrategien bereits wichtige Akzente für eine höhere Rohstoffsicherheit gesetzt. Jetzt gilt es mehr denn je, die verankerten Maßnahmen in enger Zusammenarbeit mit der Wirtschaft zu konkretisieren und zügig umzusetzen. Neben dem Vorantreiben der Kreislaufwirtschaft und dem Ausbau der europäischen Rohstoffgewinnung ist insbesondere die Diversifizierung der Rohstoffbezugsquellen – auch durch Ausgestaltung neuer strategischer Allianzen mit rohstoffreichen Ländern – ein zentraler Ansatzpunkt.

Kritische Abhängigkeiten treffen auf hohen Zukunftsbedarf an mineralischen Rohstoffen

Der Angriffskrieg Russlands auf die Ukraine und die daraus resultierenden Bemühungen um die Energiesicherheit Deutschlands haben schmerzlich aufgezeigt, welche gravierenden Auswirkungen mit starken Abhängigkeiten bei der Beschaffung von Rohstoffen einhergehen können. Dabei ist Deutschland nicht nur bei fossilen Energieträgern, sondern auch bei mineralischen Rohstoffen zum Teil extrem von Importen abhängig. Während Baurohstoffe – vor allem Sand, Kies und Natursteine – sowie verschiedene Industriemineralien wie Kali- und Steinsalz vornehmlich aus heimischen Lagerstätten gewonnen werden, sind deutsche Unternehmen beim Einsatz von Metallen und einzelnen Industriemineralen sowie deren Zwischenprodukten größtenteils auf Importe angewiesen.¹ Wie bei den fossilen Energierohstoffen ist auch der globale Abbau von mineralischen Rohstoffen von einer hohen Länderkonzentration gekennzeichnet. Rund 70 % der weltweiten Bergwerksproduktion im Bereich der mineralischen Rohstoffe entfallen auf nur zehn Länder: Das mit Abstand wichtigste Produktionsland ist China, das zuletzt 18 % des Gesamtwertes der weltweiten Bergwerksproduktion erzeugte. Mit großem Abstand folgen Australien (13 %), Brasilien, Russland, Chile und die USA (alle zwischen 5 und 6 %). Deutschland liegt mit einem Anteil an der weltweiten Bergwerksproduktion von lediglich 0,4 % nur auf Platz 33 im Ranking der Bergbauländer.² Auch die Weiterverarbeitung der Rohstoffe ist global stark konzentriert, mit China als dominantem Player.

Aus der hohen Angebotskonzentration ergeben sich für die Abnehmer sowohl Beschaffungs- und Preisrisiken als auch geostrategische Abhängigkeiten, wenn seitens der Anbieter Marktvorteile genutzt werden, um Druck auch in Bereichen auszuüben, die über den Rohstoffhandel hinausgehen. Zukünftig werden die fortschreitende Digitalisierung sowie die von vielen Industrieländern angestrebte Transformation Richtung Klimaneutralität den Bedarf an mineralischen Rohstoffen wesentlich steigern. Vor diesem Hintergrund stehen drei Fragen im Fokus:

- Welche Auswirkungen haben die grüne Transformation und die Digitalisierung auf die weltweite Rohstoffnachfrage?
- Bei welchen Rohstoffen bestehen potenzielle Versorgungsrisiken?
- Welche Strategien gibt es zur Erhöhung der Rohstoffsicherheit in Deutschland und Europa?

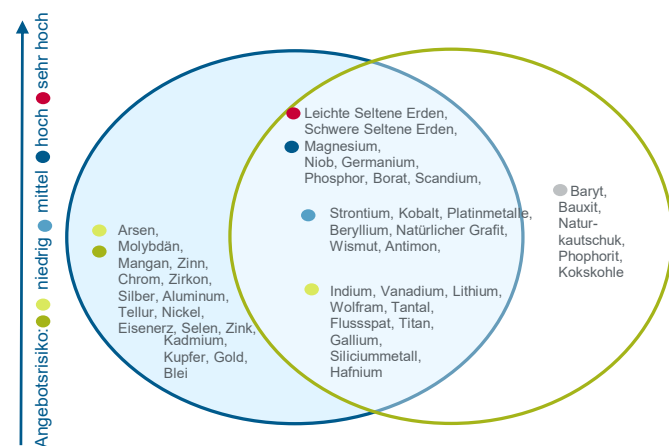
Bereits heute bestehen Versorgungsrisiken bei Rohstoffen für grüne und digitale Technologien

Die für die Dekarbonisierung und den digitalen Wandel benötigten Technologien sind vom Einsatz einer Vielzahl spezifischer mineralischer Rohstoffe abhängig. So werden beispielsweise bei der Herstellung von Photovoltaik-Modulen neben Massenmetallen wie Stahl, Aluminium und Kupfer auch Spezialmetalle wie Silizium, Germanium, Indium und Gallium für Solarzellen eingesetzt. Beim Bau von Windkraftanlagen kommen u. a. Stahl, Zink, Chrom, Mangan und Nickel zum Einsatz, bei Windgeneratoren mit Permanentmagneten werden überdies Metalle der Seltenen Erden wie Neodym und Dysprosium benötigt. Diese sind auch in den Motoren von Elektrofahrzeugen zu finden, deren Lithium-Ionen-Batterien zudem auf Lithium, Nickel, Kobalt und Grafit angewiesen sind. Der notwendige Stromnetzausbau zur Integration erneuerbarer Energien benötigt eine große Menge an Kupfer und Aluminium. Und digitale Technologien greifen fast auf das gesamte Periodensystem der Elemente zurück, mit besonders hohen Verbrauchsanteilen bei Kupfer, Gallium, Germanium, Gold, Indium, Platinmetallen, Seltenen Erden und Tantal.³

Wichtige Anhaltspunkte über Versorgungsrisiken bei den benötigten Rohstoffen liefert die von der EU-Kommission seit 2011 alle drei Jahre aktualisierte Liste kritischer mineralischer Rohstoffe. Demnach wird ein Rohstoff als kritisch eingestuft, wenn der Rohstoff von großer wirtschaftlicher Bedeutung für die EU ist und gleichzeitig einem Beschaffungsrisiko unterliegt.⁴ Die wirtschaftliche Relevanz ergibt sich vor allem durch die Bedeutung des jeweiligen Rohstoffs für die Wertschöpfung einzelner Sektoren, aber auch durch den Grad der Substituierbarkeit. Um das Versorgungsrisiko abzuleiten, werden neben der EU-Importabhängigkeit jeweils die Länder- und Unternehmenskonzentration bei Rohstoffabbau und -verarbeitung sowie Governance-Indikatoren der Zulieferländer und etwaige Handelsbeschränkungen einbezogen. Die Substituierbarkeit und Recyclingfähigkeit von Rohstoffen gelten dabei als risikomindernde Faktoren.

Grafik 1: Übersicht kritische und strategisch wichtige Rohstoffe für die EU

Grüne Ellipse=Kritische Rohstoffe nach EU (2020a).
Blaue Ellipse=Rohstoffe für strategisch wichtige Technologien nach EU (2020).



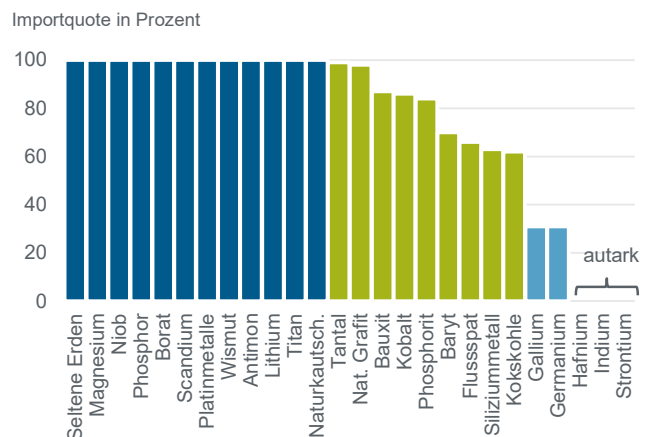
Anmerkung: ●=keine Einordnung bezüglich Angebotsrisiko

Quelle: KfW Research, EU-Kommission (2020, 2020a)

In der jüngsten Ausgabe werden 30 mineralische Rohstoffe als kritisch eingestuft. Diese Zahl hat sich damit seit 2011 in

etwa verdoppelt. Grafik 1 (grüne Ellipse) gibt einen Überblick über die aktuell als kritisch eingestuft Rohstoffe. Darunter finden sich eine Reihe von Rohstoffen, die für wichtige Schlüsseltechnologien im Bereich des Klimaschutzes und der Digitalisierung hohe Relevanz haben (blaue Ellipse). Tabelle 2 (siehe am Ende dieses Artikels) enthält eine Auswahl dieser Rohstoffe mit detaillierten Angaben zu den Einsatzfeldern, den jeweiligen größten Förderländern, den weltweit größten Vorräten und jährlichen Abbaumengen. Im Wesentlichen handelt es sich um Spezialmetalle, die zwar nur in relativ geringen Mengen in den grünen und digitalen Technologien eingesetzt werden, aber für deren Funktionsweise von zentraler Bedeutung sind, z. B. aufgrund von Halbleitereigenschaften oder magnetischer Eigenschaften.

Grafik 2: Importabhängigkeit der EU bei kritischen Rohstoffen



Anmerkung: Importabhängigkeit berechnet als Anteil der Nettoimporte an der Summe aus Inlandsproduktion und Nettoimporten. Nach Datenverfügbarkeit.

Quelle: EU-Kommission (2020a), KfW Research

Hohe Abhängigkeit, insbesondere von China

Versorgungsrisiken ergeben sich für die als kritisch eingestuft Rohstoffe insbesondere durch die hohe Importabhängigkeit der EU und die Konzentration der globalen Produktion auf wenige Länder. Aus der Liste der 30 kritischen Rohstoffe ist die EU nur bei drei Metallen – Strontium, Indium und Hafnium – nicht auf Importe von außerhalb der EU angewiesen (Grafik 2). Doch selbst hier besteht eine hohe Abhängigkeit von wenigen EU-Bergbauunternehmen.⁵ Bei knapp der Hälfte der Rohstoffe, für welche die entsprechenden Handelsdaten vorliegen, beträgt die Importabhängigkeit der EU 100 %. Bei weiteren neun Metallen wird mehr als die Hälfte des EU-Bedarfs durch Importe gedeckt.

Bemerkenswert ist bei vielen Rohstoffen die exponierte Stellung Chinas sowohl beim Rohstoffabbau als auch bei der Weiterverarbeitung (siehe auch Box 1). Dies gilt insbesondere für Gallium, Grafit, Wismut, Wolfram und Magnesium. Den jüngsten Schätzungen des U. S. Geological Survey zufolge entfielen im Jahr 2021 bei diesen Rohstoffen drei Viertel oder mehr der weltweiten Bergwerksproduktion auf China. Knapp 60 % der weltweit geförderten Seltenen Erden stammen ebenfalls aus chinesischen Minen. Aber auch andere Länder nehmen bei einzelnen Rohstoffen eine herausragende Rolle ein: Die Demokratische Republik Kongo beherbergt etwa 70 % der weltweiten Kobaltförderung und knapp 46 % der global identifizierten Vorkommen. Bei Platin besteht eine hohe Abhängigkeit von Südafrika, bei Lithium von Australien und Chile und bei Niob von Brasilien.⁶

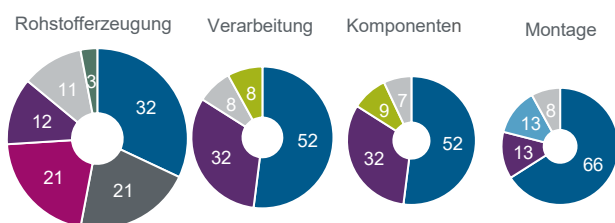
Rohstoffe als (Handels-)Waffen?

Neben Versorgungsrisiken durch Angebotsschocks birgt die Konzentration bei den Lieferländern auch geostrategische Risiken. Beispiele für die Ausnutzung von Marktvorteilen in der Lieferkette für geostrategische und handelspolitische Zwecke gibt es auch für mineralische Rohstoffe aus der jüngeren Vergangenheit. So stoppte China als Reaktion auf einen maritimen Zwischenfall 2010 den Export Seltener Erden nach Japan. Der Konflikt wurde 2014 von der WTO beigelegt.⁷ Seither ging Japans Importabhängigkeit von China bei Seltenen Erden von 91 auf 58 % zurück. Neben verstärkten Importen aus Vietnam und anderen Ländern setzte Japan auch auf die Weiterentwicklung von Technologien zur Bedarfssenkung, z. B. auf kleinere Motoren mit weniger Bedarf an Seltenerdmetallen. Die EU bezog 2019 noch 98 %, die USA 80 % der Seltenen Erden aus China.⁸

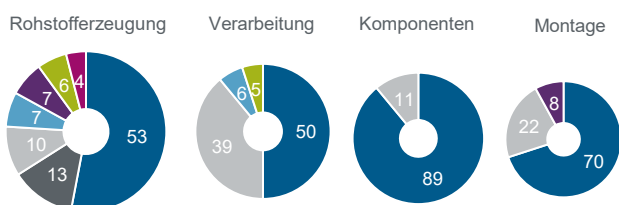
Grafik 3: Marktanteile bei ausgewählten Technologien

In Prozent

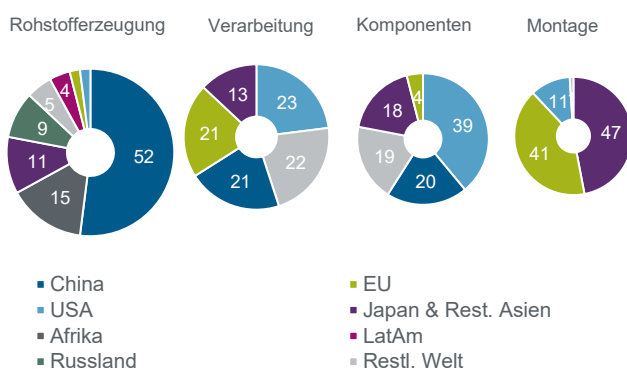
Lithium-Ionen-Batterien



Photovoltaik



Robotik



Quelle: KfW Research, European Commission (2020)

Wenig Diversifizierung auch über die Wertschöpfungskette hinweg

Nicht nur beim Abbau der mineralischen Rohstoffe, sondern auch in den sich anschließenden Wertschöpfungsketten vieler wichtiger Schlüsseltechnologien für die grüne und digitale Transformation ist eine hohe Länderkonzentration zu beobachten.⁹ China dominiert beispielsweise sowohl auf Ebene des Abbaus der Rohstoffe wie auch bei den verarbeiteten Materialien und Komponenten den Markt für Photovoltaik-Module

(Grafik 3, siehe auch Box 1). Aufgrund der strikten No-Covid-Politik Chinas kommt es aktuell zu merklichen Lieferengpässen bei den Solarkomponenten, die auch den PV-Ausbau in Deutschland bremsen. Ein weiteres Beispiel: Rund drei Viertel aller benötigten Rohstoffe für die Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien, die insbesondere in Elektrofahrzeugen, stationären Stromspeichern und mobilen digitalen Endgeräten zum Einsatz kommen, stammen aus China, Afrika und Lateinamerika. China ist darüber hinaus aktuell führender Anbieter der fertigen Lithium-Ionen-Batterien. Der globale Marktanteil der EU an den fertigen Produkten betrug im Jahr 2020 weniger als 1 %. Dagegen hat die EU beispielsweise eine Stärke in der letzten Stufe der Robotik-Lieferkette, d. h. bei der Lieferung von Industrie- und Servicerobotern (Marktanteil 2020: 41 %). Aber auch hier ist China größter Lieferant der notwendigen Rohstoffe (52 %), gefolgt von Südafrika (15 %) und Russland (9 %). Hohe Importabhängigkeit besteht auch bei den Robotik-Komponenten.

Box 1: China dominiert Weltmarkt bei vielen Rohstoffen

Global sticht besonders die hohe Konzentration der Erzeugung und Verarbeitung mineralischer Rohstoffe in China hervor. Insgesamt ist China größter Produzent bei 18 der von der EU identifizierten 30 kritischen Rohstoffe.¹⁰ Vor allem Chinas quasi-monopolistische Stellung im Markt für Seltene Erden, Magnesium und Wismut (mit einem Anteil von über 90 % der EU-Importe) macht die hiermit verbundenen Wertschöpfungsketten verwundbar.¹¹ Entsprechend hat China bei den Permanentmagneten, die ein wichtiges Bauteil für Windturbinengeneratoren und Elektromotoren in Elektrofahrzeugen darstellen, ein hohes Gewicht. In der Photovoltaik-Technologie dominiert China rund die Hälfte der Rohstoffproduktion, bei den Komponenten nahezu vollständig. Der Aufstieg Chinas in der Solarindustrie begann Ende der 1990er-Jahre, zeitgleich mit dem Start der Anreizprogramme für PV-Dachanlagen in Deutschland und der dadurch gestiegenen Nachfrage, sowie durch die starke Subventionierung der Produktion seitens der chinesischen Regierung. China beherrscht auch die Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien über die Wertschöpfungskette hinweg und beliefert den Weltmarkt zu zwei Dritteln mit fertigen Batterien. Darüber hinaus ist das Land in den Bereichen Robotik und 3D-Druck jeweils größter Anbieter der Rohmaterialien.¹²

China ist aber nicht nur Produzent, sondern auch weltweit größter Konsument vieler strategischer Rohstoffe und hat daher preisgestalterische Relevanz. 2018 verbrauchte China mehr als 60 % des weltweiten Wolframs, Mangans und Kobalts. Bei Lithium, Nickel und Chrom lag der Anteil über 40 %. Gleichzeitig bestehen auch aus chinesischer Sicht Importabhängigkeiten bei mehr als ein Dutzend Mineralien, z. B. Niob, Chrom und Kobalt.¹³ Chinas eigene Rohstoffstrategie beruht daher sowohl auf dem Ausbau der Rohstoffförderung, für die ein heimischer Vorteil besteht (Seltene Erden, Wolfram, Molybdän, Antimon), als auch der Sicherstellung eines Zugangs zu sogenannten Engpass-Rohstoffen (neben Energie-Rohstoffen und Basismetallen auch einige Spezialmetalle wie Chrom, Kobalt, Titan und Metalle der Platingruppe).¹⁴ Entsprechend spielt auch die in die Belt-and-Road Initiative eingebettete Erschließung von Bergwerksprojekten in den Abbauländern eine zentrale Rolle.¹⁵

Nach rapidem Wachstum hat Chinas Nachfrage nach Rohstoffen wie Zement und Stahl bereits ihren Scheitelpunkt in den Jahren 2013–2014 erreicht.¹⁶ Mit dem Fortschritt der Industrialisierung verlangsamten sich auch die Wachstumsraten bei Basismetallen wie Kupfer, Aluminium, Zink und Blei. Für viele Spezialmetalle wird hingegen mit einer deutlichen Zunahme der Nachfrage bis 2035 gerechnet, im Einklang mit dem Ziel, beim Ausbau erneuerbarer Energien und Elektromobilität weltweit führend zu sein.

Grüne und digitale Transformation wird Nachfrage nach kritischen mineralischen Rohstoffen deutlich steigern

Die EU-Liste der kritischen Rohstoffe bildet den derzeitigen Status quo ab. Zusätzlich hat die EU-Kommission eine Zukunftsstudie vorgelegt, die den Rohstoffbedarf für strategisch wichtige Technologien – Lithium-Ionen-Batterien, Brennstoffzellen, Windenergie, Photovoltaik, elektrische Antriebsmotoren, Robotik-Technik, Drohnen, 3D-Druck sowie digitale Technologien – analysiert.¹⁷ Grafik 1 (blaue Ellipse) enthält eine Übersicht der wichtigsten Rohstoffe für die Herstellung dieser Technologien sowie eine Einordnung der EU-Kommission zum Grad des Angebotsrisikos der jeweiligen Rohstoffe (siehe zudem Tabelle 2).

Die EU-Analyse der Wertschöpfungsketten für die o. g. strategisch relevanten Technologien zeigt, dass die Rohstoffphase für alle Technologien die kritischste ist – nur ca. 3 % der benötigten Rohstoffe kommen aus der EU. Bei allen untersuchten Rohstoffen wird bis 2050 eine signifikante Bedarfssteigerung in der EU erwartet. Die künftige Versorgungslage bei den jeweiligen Rohstoffen wird von der EU-Kommission unterschiedlich eingeschätzt. Bemerkenswert ist die auch zukünftig zu erwartende Dominanz Chinas beim Abbau und der Weiterverarbeitung von Seltenen Erden. Ebenso ist zu erwarten, dass die Demokratische Republik Kongo aufgrund ihrer beträchtlichen Reserven bedeutendster Rohstoffproduzent für Kobalt bleiben wird. Fraglich ist dabei, ob Kongo aufgrund seiner politischen Instabilität und des hohen Anteils des handwerklichen und kleinen Bergbaus die steigende Nachfrage zuverlässig und unter nachhaltigen Bedingungen bedienen kann. Als kritisch stuft die Kommission zudem ein, wie stark China die Weiterverarbeitung von Kobalterzen dominiert. Laut einer Recherche der New York Times befanden sich im Jahr 2020 15 der 19 großen kongolesischen Minen in chinesischem Besitz oder unter chinesischer finanzieller Beteiligung.¹⁸

Um die zukünftig steigende Nachfrage nach Nickel mit hohem Reinheitsgrad sowie Lithium für die Batterieproduktion bedienen zu können, mahnt die EU-Kommission zudem vermehrte Investitionen in den weltweiten Ausbau der Bergbaukapazitäten an. Auch die Angebotskonzentration von natürlichem Graphit in China könnte eine Herausforderung für die Zukunft der Batterieherstellung sein. In den verschiedenen strategischen Technologien finden darüber hinaus Massenmetalle wie Kupfer, Eisen, Aluminium, Zink und Blei breite Anwendung. Deren Versorgungslage wird von der EU-Kommission allerdings bisher nicht als kritisch eingestuft.

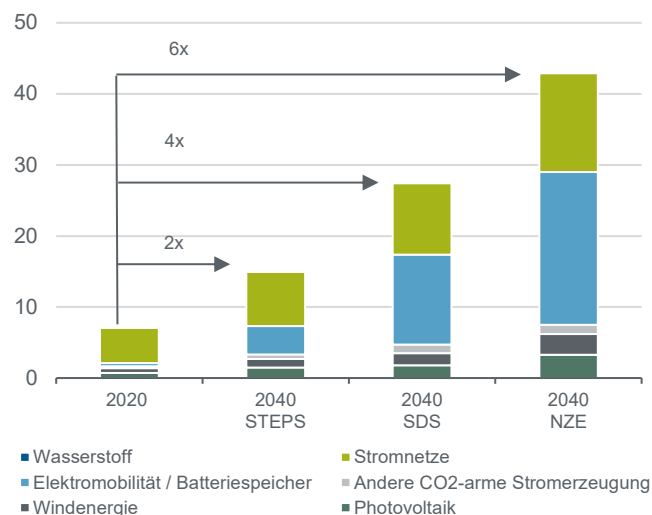
Versechsfachung des Rohstoffbedarfs für das 1,5°C Ziel des Pariser Klimaschutzabkommens notwendig

Der globale Wettbewerb um Rohstoffe für Schlüsseltechnologien wird stark zunehmen. Eine Abschätzung des zusätzlichen weltweiten Bedarfs an mineralischen Rohstoffen liegt bislang nur für klimafreundliche Energietechnologien vor, während der

Bedarf für digitale Technologien noch nicht im großen Umfang beziffert wurde. Die Internationale Energieagentur (IEA) hat im Jahr 2021 eine Quantifizierung für wichtige Energietechnologien wie Photovoltaik, Windenergie und Elektromobilität vorgenommen – in Abhängigkeit von verschiedenen Klimaschutzszenarien und unter Annahme unterschiedlicher Entwicklungspfade für die Materialintensität der jeweiligen Technologien. Die Ergebnisse zeigen: Der globale Rohstoffbedarf wird stark abhängig vom weltweiten Ambitionsniveau beim Klimaschutz sein.¹⁹ Ausgehend von den bestehenden oder angekündigten klimapolitischen Maßnahmen der einzelnen Staaten rechnet die IEA mit einer Verdopplung des Gesamtbedarfs an mineralischen Rohstoffen für klimafreundliche Energietechnologien bis 2040 – verglichen mit dem Rohstoffverbrauch dieser Technologien im Jahr 2020 (Grafik 4, STEPS-Szenario). Die Erreichung des Ziels des Pariser Klimaschutzabkommens – Begrenzung des globalen Temperaturanstiegs auf deutlich unter 2°C – würde eine Vervierfachung des Rohstoffbedarfs bis 2040 bedeuten (SDS-Szenario). Um den globalen Temperaturanstieg auf 1,5°C begrenzen zu können, wäre bis 2040 ein sechsmal höherer Input von mineralischen Rohstoffen als gegenwärtig erforderlich (NZE-Szenario).

Grafik 4: Steigender Bedarf an mineralischen Rohstoffen für klimafreundliche Energietechnologien

Nach Szenario (in Mio. Tonnen)



Anmerkung: **STEPS**=Stated Policies Scenario; **SDS**=Sustainable Development Scenario (Begrenzung Temperaturanstieg deutlich unter 2°C); **NZE**=Net-zero by 2050 Szenario (Begrenzung Temperaturanstieg auf 1,5 °C). Umfasst nur die mineralischen Rohstoffe, die im Untersuchungsrahmen der IEA-Studie lagen.

Quelle: IEA (überarbeitet 2022, erstmals veröffentlicht 2021), KfW Research

Am Beispiel des mittleren Szenarios – Begrenzung des Temperaturanstiegs auf deutlich unter 2°C – lässt sich zeigen, dass der Bedarfszuwachs heruntergebrochen auf einzelne Rohstoffe recht unterschiedlich ausfällt. Lithium verzeichnet in diesem Szenario das höchste Wachstum mit einem Anstieg des Bedarfs bis 2040 um mehr als das 40-fache, gefolgt von Graphit, Kobalt und Nickel (Faktor 20-25). Der Bedarf an Seltenen Erden wird sich im gleichen Zeitraum versiebenfachen, der Kupferbedarf rund verdreifachen. Stärkste Treiber für den steigenden Rohstoffbedarf sind die Elektromobilität und Batteriespeicher – nahezu die Hälfte des prognostizierten Gesamtbedarfs 2040 an mineralischen Rohstoffen entfällt auf diese beiden Einsatzbereiche. Gut ein Drittel des zukünftigen

Rohstoffbedarfs ist den Stromnetzen allein in Form von Kupfer zuzurechnen.

Entwicklung der Bergbaukapazitäten hält mit zukünftigem weltweiten Rohstoffbedarf nicht Schritt

Mit der Energiewende werden klimafreundliche Energietechnologien somit zum am schnellsten wachsenden Segment der Nachfrage bei vielen mineralischen Rohstoffen. Ihr Anteil an der Gesamtnachfrage wird gemäß IEA-Zwei-Grad-Szenario bis 2040 bei Kupfer und Seltenen Erden auf über 40 % steigen, bei Nickel und Kobalt auf 60 bis 70 %, bei Lithium auf fast 90 %. Bereits heute haben Elektrofahrzeuge und Batteriespeicher die Unterhaltungselektronik als größten Lithiumverbraucher abgelöst.

Die IEA-Analyse der Rohstoffangebotsseite zeigt deutlich: Es zeichnet sich eine Diskrepanz zwischen dem notwendigen Bedarf an mineralischen Rohstoffen zur Erreichung der Klimaschutzziele, auf die sich die Weltgemeinschaft verständigt hat, und der tatsächlichen Verfügbarkeit dieser Rohstoffe ab. Die heutigen Investitionspläne im Bergbau weltweit sind im Wesentlichen noch auf eine Welt des allmählichen Wandels ausgerichtet und entsprechen damit nicht den Erfordernissen einer beschleunigten Transformation, die für die Erreichung der Ziele des Pariser Klimaschutzabkommens unerlässlich ist. Mit den aktuell bestehenden Bergbaukapazitäten und im Bau befindlichen Anlagen können nach IEA-Berechnungen beispielsweise bis 2030 etwa nur die Hälfte des weltweiten Lithium- und Kobaltbedarfs und 80 % des Kupferbedarfs gedeckt werden, die mit dem Zwei-Grad-Ziel kompatibel wären. Entsprechend größer ist die Lücke mit Blick auf das 1,5°C-Ziel. Eine unzureichende Rohstoffversorgung könnte die globale Energiewende verzögern oder verteuern.²⁰

Transformation erfordert Strategien zur Rohstoffsicherung in Deutschland und Europa

Damit die Rohstoffversorgung nicht zum Flaschenhals der Transformation in Deutschland und Europa wird und europäischen Unternehmen an den Wertschöpfungspotenzialen der hierfür erforderlichen Technologien partizipieren können, bedarf die Sicherung einer zuverlässigen und bezahlbaren Rohstoffversorgung eine hohe Aufmerksamkeit seitens der Politik und der Wirtschaft. Dabei ist einer Reihe von Herausforderungen zu begegnen, die das Potenzial für eine Marktverknappung bzw. größere Preisvolatilität auf den Rohstoffmärkten haben. Dazu zählen:

- die hohe geografische Konzentration bei der Produktion von vielen mineralischen Rohstoffen, die zum Teil höher ist als bei der Öl- und Gasproduktion,
- lange Entwicklungszeiten für neue Bergbauprojekte,
- die mit dem Abbau von mineralischen Rohstoffen assoziierten ökologischen und sozialen Folgen: Ein Großteil der derzeitigen Produktionsmengen stammen aus Regionen mit niedrigen Governance-Werten oder hoher Emissionsintensität,
- die abnehmende Erzqualität bei vielen mineralischen Rohstoffen, die zu höheren Verarbeitungskosten, Emissionen und Abfallmengen führt und
- zunehmende Risiken für Bergbauprojekte durch Auswirkungen des Klimawandels (z. B. durch Wasserknappheit oder Überschwemmungen).

Welche grundsätzlichen Handlungsoptionen bestehen in Deutschland und Europa, um potenziellen Versorgungsrisiken bei strategisch wichtigen mineralischen Rohstoffen zu begegnen? Zentrale Ansatzpunkte für die künftige Rohstoffbeschaffung sind (i) die Diversifizierung der Bezugsquellen, (ii) Rohstoffpartnerschaften mit rohstoffreichen Ländern unter Wahrung hoher Umwelt- und Sozialstandards, (iii) der Ausbau der europäischen Rohstoffgewinnung sowie (iv) eine stärkere finanzielle Beteiligung europäischer Unternehmen an internationalen Bergbauprojekten oder in der Weiterverarbeitung der Rohstoffe (vertikale Integration der Lieferketten). Da Deutschland und Europa einen großen Teil der benötigten Rohstoffe nicht als Erz oder Konzentrat, sondern als weiterverarbeitete Zwischenprodukte importiert, sollte die Rohstoffsicherung die gesamte Wertschöpfungskette wichtiger Schlüsseltechnologien in den Blick nehmen.

Circular Economy als wichtiger Ansatzpunkt

Um den Rohstoffbedarf insgesamt und damit die Abhängigkeit von Rohstoffimporten zu verringern, ist zudem ein Umsteuern in der Rohstoffnutzung erforderlich. Durch einen sparsamen und effizienten Materialeinsatz sowie mehr Recycling kann der Verbrauch von Primärrohstoffen reduziert werden, deren Gewinnung und Verarbeitung zudem oftmals sehr energieintensiv ist. Der Übergang zu einer Circular Economy ist daher gleichzeitig eine wesentliche Strategie zur Erreichung der Klimaneutralitätsziele in Deutschland und Europa. Obwohl das Recycling von kritischen Spezialmetallen ein wichtiger Ansatz zur Ressourcensicherung in Deutschland und Europa sein könnte, sind dessen Potenziale bislang kaum erschlossen. Die Verwertung von Elektroaltgeräten und Altfahrzeugen ist beispielsweise heute noch weitestgehend auf die Rückgewinnung von Massenmetallen (Eisen, Kupfer, Aluminium) ausgelegt. Bislang mangelt es weitgehend an industriell einsetzbaren und wirtschaftlichen Recyclingtechnologien für kritische Spezialmetalle. Erschwert wird deren Recycling insbesondere durch die kleinteilige Verwendung in den Endprodukten. Auch legale und illegale Exporte von Altprodukten in Entwicklungs- und Schwellenländer verhindern einen regulierten Wertstoffkreislauf. Um dieses Rohstoffpotenzial vermehrt erschließen zu können, bedarf es politischer Rahmensetzung für die Etablierung innovativer Recyclingverfahren (z. B. Festlegung von Recyclingquoten für kritische Spezialmetalle).²¹

Umdenken bei Planung, Sicherung und Diversifizierung: Konkrete Handlungsansätze

Auf EU-Ebene ist die Sicherung kritischer Rohstoffe zu einem Kernthema auf der Agenda zur Erlangung strategischer Autonomie geworden. Dabei geht es darum, möglichen Anfälligkeiten der Lieferketten im Hinblick auf die Industrie- sowie Energie- und Klimapolitik vorzubeugen. Im Wesentlichen beruht die EU-Rohstoffstrategie auf drei Säulen:

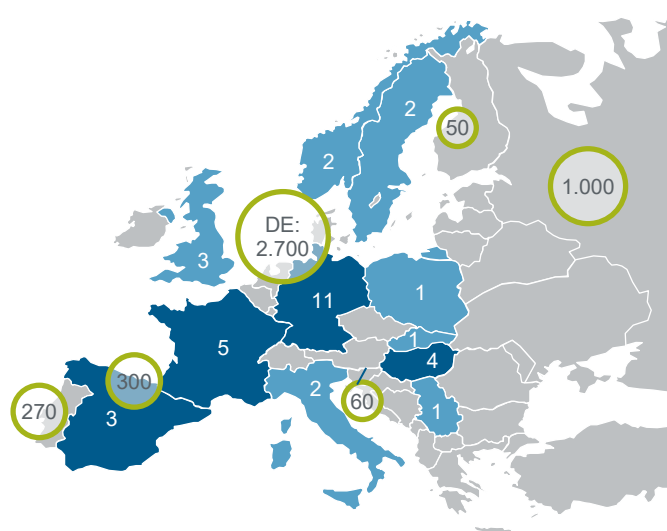
- Deckelung der Nachfrage nach Rohstoffen mittels Förderung der Kreislaufwirtschaft,
- Diversifizierung von Importen,
- Anreize für Bergwerksförderung in Europa.

Die Ziele zur Reduktion von Treibhausgasen im Rahmen des EU Green Deal verleihen diesem Vorhaben zusätzlich Dringlichkeit. Auch um bei Zukunftstechnologien künftig den Markt mitgestalten zu können, muss die Rohstoffversorgung gesichert sein. Die EU plant anhand des Europäischen Chip-

Gesetzes bis 2030 ihren globalen Marktanteil bei Halbleitern von aktuell 10 % zu verdoppeln.²² Die Europäische Batterie-Allianz – gegründet im Jahr 2017 – setzt sich zum Ziel, die technologische Weiterentwicklung zu fördern und die Produktionskapazitäten entlang der Batterie-Wertschöpfungskette mithilfe von Giga-Factories in Europa stark auszubauen. So soll der Batteriemarkt auf bis zu 250 Mrd. EUR jährlich wachsen, um die EU-Nachfrage zu decken.²³ Zudem wurde im März 2022 eine Kollaboration der Batterie-Allianz mit der US-amerikanischen Li-Bridge Alliance ins Leben gerufen, um die die transatlantische Verknüpfung der Batterie-Wertschöpfungskette zu stärken.²⁴

Grafik 5: Batterieprojekte und Lithiumressourcen in Europa

Anzahl bestehende oder geplante Giga-Factories zur Batterieherstellung. In Kreisen: Identifizierte Lithium-Ressourcen in 1.000 t (Stand 2022)



Quelle: IPCEI, PV Magazin, U.S. Geological Survey (2022)

Für die Batterieproduktion ist Lithium ein zentraler Rohstoff. In der EU existieren aktuell zehn tragfähige Lithium-Projekte, unter anderem in Spanien, Portugal und Deutschland, weitere sind für die nächsten Jahre geplant (siehe Grafik 5). Ein 2,2 Mrd. EUR-Projekt in Serbien wurde Anfang des Jahres aufgrund ökologischer Bedenken auf Eis gelegt, auch in Portugal regt sich Widerstand.²⁵ Die Ratingagentur Fitch prognostiziert dennoch, dass sich Ost- und Südosteuropa als regionales Zentrum für eine vertikal integrierte kommerzielle Lithium-Förderung innerhalb des nächsten Jahrzehnts durchsetzen wird – mit enger Vernetzung zu den europäischen Batterieherstellern. Grafik 5 zeigt (in den Kreisen) die identifizierten Lithiumressourcen laut U.S.G.S (2022). Auch für Deutschland mit den innerhalb Europas größten identifizierten Lithiumvorkommen (2,7 Mio. t) rechnet Fitch mit einem Start der Förderung im Oberrheingraben in 2024.²⁶ Gleichzeitig ist zu bedenken, dass die kaum entwickelte europäische Förderung von Primärrohstoffen als Teil einer längerfristigen Strategie zu verstehen ist, bei der Kostenvorteile, Logistiknetzwerke aber auch niedrigere Umwelt- und Sozialstandards in den rohstoffabbauenden Ländern einbezogen werden. Die Potenziale der Rohstoffgewinnung in Europa sind daher immer in Abwägung der Vorteile der internationalen Vernetzung zu analysieren.

Im Einklang mit dem Bestreben nach einem internationalen Level-Playing-Field in der Rohstoffversorgung steht auch die Deutsche Rohstoffstrategie.²⁷ Zu den dort beabsichtigten

Maßnahmen gehören neben Forschung und Entwicklung auch Initiativen zur Wiederbelebung der Gewinnung von metallischen Rohstoffen in Europa. Während die unternehmerische Verantwortung bei der Sicherung der Rohstoffversorgung weiterhin den ordnungspolitischen Rahmen bildet, lassen Handelsbeschränkungen, Konzentration der Marktmacht und veränderte soziale und ökologische Standards dem Staat in der aktuellen Strategie eine stärkere Rolle zuteilwerden als in der Vorgänger-Strategie von 2010. Dennoch bleibt die Unternehmenssicht entscheidend bei der Einschätzung und Behebung von Rohstoffrisiken.

Auf der Finanzierungsseite stellen Garantien für Ungebundene Finanzkredite des Bundes ein zentrales Instrument dar, welche Kreditgeber von Rohstoffvorhaben im Ausland gegen wirtschaftliche und politische Kreditausfallrisiken absichern und somit einen verlässlichen Rahmen für langfristige Abnahmeverträge deutscher Unternehmen bieten. Um der heimischen Rohstoffgewinnung wieder Auftrieb zu verleihen, hat die Bundesregierung im Rahmen des sogenannten Explorationsförderprogramms seit 2013 Unternehmen mit bedingt rückzahlbaren Darlehen unterstützt, das Programm aber 2015 aufgrund geringer Nachfrage wieder eingestellt.

Rohstoffpartnerschaften und -kooperationen bilden zudem die Basis für den internationalen Dialog mit rohstoffreichen Ländern, etwa mit der Mongolei, Kasachstan, Peru, Australien, Chile und Kanada. Ziel ist es hier, eine nachhaltige und mit sozialen und ökologischen Standards im Einklang stehende Rohstoffversorgung zu verfolgen. Schlussendlich geht es darum, wie beim Lieferkettengesetz, auch ein besseres Verständnis der ökologischen, sozialen und Governance-Bedingungen des Rohstoffimports über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg zu erlangen. Das umfasst auch, den Beitrag der Rohstoff-Wertschöpfung zu den Treibhausgasemissionen zu internalisieren (siehe Box 2).

Box 2: CO₂-Fußabdruck von mineralischen Rohstoffen

An die Berechnungen zum deutlich steigenden Bedarf an mineralischen Rohstoffen für klimafreundliche Technologien schließt sich die Frage an, wie stark im Einklang mit dem Bestreben nach Klimaneutralität der Abbau, die Weiterverarbeitung und der Transport der für die Klimawende benötigten Rohstoffe überhaupt sein kann. Auch wenn es wichtig ist, die Emissionen über die Wertschöpfung grüner Technologien hinweg in die Betrachtung einzukalkulieren, müssen diese den Vergleich mit konventionellen Technologien, die auf fossile Energieträger basieren, nicht scheuen. Die Emissionen entlang der Lieferkette der mineralischen Rohstoffe heben die klaren Klimavorteile nachhaltiger Energietechnologien nicht auf. Nach Berechnungen der Weltbank verursachen beispielsweise erneuerbare Energien und Speichertechnologien über den gesamten Lebenszyklus betrachtet nur 6 % der CO₂-Emissionen von Gas- und Kohlekraftwerken.²⁸

Dennoch wird es mit Blick auf die Ziele des Pariser Klimaschutzabkommens immer dringlicher auch die Emissionen bei der Erschließung von mineralischen Rohstoffen deutlich zu reduzieren, zumal der Rohstoffbedarf durch die grüne Transformation deutlich zunehmen wird und der Abbau von Spezialmetallen im Vergleich zu Massenmetallen in der Regel energieintensiver ist. Zu den kurzfristigen Strategien zur Verringerung der energiebedingten CO₂-Emissionen beim

Bergbau und der Rohstoffweiterverarbeitung gehören der Einsatz von kohlenstoffarmem Strom, die Umstellung auf saubere Brennstoffe sowie Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz.²⁹

Strategische Lagerhaltung auf dem Vormarsch

Mit der Prüfung der Notwendigkeit verstärkter staatlicher Intervention vollzieht Europa eine Bewegung, die global auf dem Vormarsch ist (Tabelle 1). Länder wie USA, China und Japan haben unter anderem staatliche Rohstoffgesellschaften gegründet, die Lagerhaltung strategisch wichtiger Rohstoffe ausgeweitet, ihren Rohstoffexport zum Schutz der eigenen Industrie gedrosselt oder durch Firmenübernahmen ihren Zugriff auf Rohstoffe in anderen Regionen gesichert. Die USA halten etwa Reserven strategischer Rohstoffe mit Blick auf die Versorgung der Verteidigungsindustrie inkl. deren ziviler Nutzung. Chinas staatliches Reservebüro betreibt Lagerung auch aus ökonomischen Zwecken, die erlauben aktiv in die Preisgestaltung einzugreifen, etwa um Volatilität zu glätten oder Branchen gezielt zu unterstützen.³⁰ Auch in Europa wird der Ruf nach strategischer Lagerhaltung von Metallen laut – zuletzt etwa vom Flugzeughersteller Airbus, der mit Blick auf zukünftige geostrategische Bedrohungen eine Reserve an wichtigen Metallen und Mineralien für 18 bis 22 Monate forderte.³¹

Tabelle 1: Globale Rohstoffstrategien im Überblick

	Strategien	Definition kritischer Rohstoffe	Lagerhaltung
EU	<ul style="list-style-type: none"> – Action Plan on Critical Raw Materials (2020) – Europäisches Chip-Gesetz (2022)³² – Batterie-Allianz (2017) 	2020er-Liste enthält 30 kritische Rohstoffe	Keine auf Ebene der EU oder EU-Mitgliedsstaaten
Deutschland	2. Rohstoffstrategie der Bundesregierung (2020)	siehe EU	Prüfung möglicher strategischer Rohstofflager für Metalle
China	14. Fünfjahresplan zu mineralischen Rohstoffen (2021-25)	Plan von 2016–2020 identifiziert 24 kritische Rohstoffe, einschl. Energie	Staatl. Lagerhaltung
USA	<ul style="list-style-type: none"> – Executive Order 14017 on America's Supply Chains (2021) – Joint Action Plan on Critical Minerals (Kollaboration mit Kanada) 	2022er-Liste enthält 50 kritische Rohstoffe	National Defense Stockpile (NDS) mit 37 Rohstoffen für Verteidigungssektor
Japan	International Resource Strategy (2020)	32 kritische Mineralien	Sowohl national (70 %) als auch privat (30 %)

Quellen: Nakano (2021)³³, Bundesregierung (2020),³⁴ White House (2021), EU-Kommission (2020b)

Fazit

Die grüne und digitale Transformation wird die Nachfrage sowohl nach Massenmetallen als auch nach Spezialmetallen deutlich erhöhen. Beim Abbau und der Weiterverarbeitung von Spezialmetallen sind hohe Länderkonzentrationen zu verzeichnen, die zum Teil sogar höher sind als bei der Öl- und Gasproduktion. Mit Blick auf die hohe Relevanz mineralischer Rohstoffe für die Wettbewerbs- und Zukunftsfähigkeit der

deutschen und europäischen Wirtschaft haben die EU und Deutschland mit ihren Rohstoffstrategien wichtige Akzente für eine höhere Rohstoffsicherheit gesetzt. Jetzt gilt es mehr denn je, die verankerten Maßnahmen zu konkretisieren und in enger Zusammenarbeit mit der Wirtschaft zügig umzusetzen. Neben dem Vorantreiben der Kreislaufwirtschaft und der Abwägung von Potenzialen der europäischen Rohstoffgewinnung sind insbesondere die Diversifizierung der Rohstoffbezugsquellen – auch durch Ausgestaltung neuer strategischer Allianzen mit rohstoffreichen Ländern – zentral. Die Unternehmen sind beispielsweise aufgefordert, durch Abschluss neuer Lieferverträge ihre Lieferquellen zu diversifizieren, ihr Engagement an internationalen Bergbauprojekten zu erhöhen sowie die Materialeffizienz und Recyclingfähigkeit ihrer Produkte zu verbessern. Staatliche Akteure können u. a. durch neue Länderkooperationen zusätzliche Rohstoffpotenziale zugänglich machen oder mithilfe öffentlicher Fördergelder Bergbauprojekte und den Aufbau innovativer Recyclinginfrastrukturen unterstützen.

Der Angriffskrieg Russlands auf die Ukraine hat eine neue Realität geschaffen und der Weltgemeinschaft vor Augen geführt, dass trotz gegenseitiger Abhängigkeiten und wirtschaftlicher Verflechtungen Energieträger und Rohstoffe als politisches Druckmittel eingesetzt werden können. Präzedenzfälle für den Einsatz von Marktmacht bei mineralischen Rohstoffen als handelspolitische Waffen liefern bereits einige Handelsstreitigkeiten der letzten Jahre im asiatischen Raum. Vor diesem Hintergrund muss es Ziel staatlicher wie privater Akteure sein, Lieferketten einer stärkeren Belastbarkeitsüberprüfung zu unterziehen und einseitige starke Abhängigkeiten zu verringern. Dies gilt nicht nur für Rohstoffe, sondern auch für den Bezug und Absatz von Gütern und Dienstleistungen allgemein. Dazu gehört auch der Aufbau von strategischen Reserven in kritischen Bereichen. Natürlich wird das etwas kosten. Diese Abwägung zwischen Kosteneffizienz und einer höheren Versorgungssicherheit müssen sich Politik und Wirtschaft gemeinsam stellen. Steuerliche Anreize könnten beispielweise Unternehmen motivieren, die unternehmenseigene Lagerhaltung zu erhöhen und Bestände für Krisenzeiten vorzuhalten.

Es wäre aber fatal, die internationale, wirtschaftliche Verzahnung nun radikal zurückzudrehen. Vielmehr zeigt die Literatur zur Bewältigung katastrophener Unterbrechungen von Lieferketten, dass – auf Unternehmensebene – Handel und Diversifizierung entscheidend die Resilienz erhöhen.³⁵ Im Angesicht der bei vielen Rohstoffen absehbar weiterhin bestehenden Importabhängigkeit Deutschlands und Europas gilt es, die Vorteile der internationalen Vernetzung zu nutzen. Gleichzeitig muss dies mit Augenmaß geschehen: Rohstoffherstellenden Entwicklungs- und Schwellenländern müssen attraktive Angebote zur Zusammenarbeit gemacht und dabei nachhaltige Entwicklungsperspektiven aufgezeigt werden – unter Einhaltung internationaler Umwelt-, Sozial- und Menschenrechtsstandards. Darüber hinaus sollten westliche Industrieländer in der Rohstofffrage, etwa beim Wissens- und Technologietransfer, stärker kooperieren.

Tabelle 2: Kritische Rohstoffe für grüne und digitale Technologien

Auswahl kritischer Rohstoffe auf Grundlage der EU (2020) – Liste

Rohstoffe	Technologien	Einsatzfelder	Weltweit größte Erzeuger* (Anteile in Prozent)	Weltweit größte Vorräte** (Anteile in Prozent)	Jährliche Förderung* (in t Inh.)
Leichte Seltene Erden		Batterien, Glas und Keramik	China (60 %) USA (15 %) Australien (8 %)	Relativ häufig in der Erdkruste, aber geringere abbaubare Konzentrationen China (37 %) Vietnam (18 %) Brasilien (18 %)	280.000 (t SEO)
Schwere Seltene Erden		Permanentmagnete für Elektromotoren und Stromgeneratoren, Leuchtphosphore, Katalysatoren			
Magnesium		Leichte Legierungen, Reduktionsmittel zur Gewinnung von Metallen, Flug- und Fahrzeugbau	China (91 %) USA (3 %) Israel (2 %)	Weltweit reichlich Vorkommen, z. B. in Meerwasser, Natursole	950.000
Niob		Hochfester Stahl und Superlegierungen für Transport und Infrastruktur, High-Tech-Anwendungen (Kondensatoren, supraleitende Magnete usw.)	Brasilien (88 %) Kanada (10 %) Russland (1 %)	Brasilien (94 %) Kanada (9 %) USA (1 %)	75.000
Germanium		Glasfasern, Halbleiter, Infraroptik, Satelliten-Solarzellen, Katalysatoren	China (68 %) Kanada, Deutschland, Japan, Belgien, Ukr. (29 %) Russland (4 %)	Erhebliche Zinkvorkommen z. B. in USA, Germaniumertrag daraus aber schwer abschätzbar	140
Borat		Hochleistungsglas, Permanentmagnete, Düngemittel	Türkei (42 %) USA (24 %) Chile (11 %)	Türkei (raffinierte Borate) USA Russland	k. A.
Scandium		Festoxid-Brennstoffzellen, Leichte Legierungen, Wasser-Elektrolyse, 3D-Druck	China (66 %) Russland (26 %) Ukraine (7 %)	In der Erdkruste reichlich vorhanden. Vorkommen u. a. in Australien, China, Kanada	k. A.
Strontium		Keramikmagnete, Aluminiumlegierungen	Spanien (42 %) Iran (25 %) China (22 %)	Weltweite Vorkommen werden auf über 1 Mrd. t geschätzt	411.847
Kobalt		Batterien, Superlegierungen, Katalysatoren, Magnete	DR Kongo (71 %) Russland (4 %) Australien (4 %)	Kongo (46 %) Australien (18 %) Kuba (7 %)	170.000
Metalle der Platingruppe		Chemische und Fahrzeug-Katalysatoren, Brennstoffzellen, elektronische Anwendungen, Rechenzentren, Wasser-Elektrolyse	<u>Platin und Palladium:</u> Südafrika (55 %) Russland (24 %) Simbabwe (7 %)	Südafrika (90 %) Russland (6 %) Simbabwe (2 %)	Palladium: 200 Platin: 180
Natürlicher Grafit		Batterien, Feuerfestmaterialien für die Stahlerzeugung	China (82 %) Brasilien (7 %) Mosambik (3 %)	Türkei (28 %) China (23 %) Brasilien (22 %)	1.000.000
Indium		Flachbildschirme, Photonik, Dünnschicht-Photovoltaik, Lötmetalle	China (58 %) Rep. Korea (22 %) Japan (7 %)	Seltenes Element. Größte Vorkommen an Zinkerzen in Kanada und China	920
Vanadium		CCS – Carbon Capture and Storage, Redox-Flow-Speicher	China (66 %) Russland (17 %) Südafrika (8 %)	China (40 %) Australien (25 %) Russland (21 %)	110.000
Lithium		Lithium-Ionen-Hochleistungsspeicher, Feststoffbatterie, Legierungen für den Airframe-Leichtbau, Glas und Keramik	Australien (55 %) Chile (26 %) China (14 %)	Chile (42 %) Australien (26 %) Argentinien (10 %)	100.000 (ohne USA)
Wolfram		Legierungen (z. B. für Stähle in Turbinen), Leuchtmittel, Elektrotechnik	China (84 %) Vietnam (6 %) Russland (3 %)	China (51 %) Russland (11 %) Vietnam (3 %)	79.000
Tantal		Mikroelektronische Kondensatoren, Superlegierungen, Radiofrequenz-Mikrochips	DR Kongo (33 %) Brasilien (22 %) Ruanda (13 %)	Vorkommen in Australien, Brasilien, Kanada werden als ausreichend eingeschätzt	2.100
Titan		Leichte hochfeste Legierungen	China (33 %) Südafrika (12 %) Mosambik (11 %)	China (31 %) Australien (26 %) Indien (12 %)	Konzentrate: 9.000 (t TiO ₂)
Gallium		Halbleiter, Photovoltaische Zellen, Radiofrequenz-Mikrochips	China (98 %) Russland (1 %) Japan (1 %)	Global in Bauxit enthaltene Vorkommen > 1 Mio. t (10 % potenziell förderbar)	430
Siliziummetall		Halbleiter, Photovoltaik, elektronische Bauteile, Silikone	China (71 %) Russland (7 %) Brasilien (5 %)	Weltweit reichlich Vorkommen z. B. in Quarziten	8.500.000

Zeichenerklärung:



*Letzter verfügbarer Wert, i. d. R. 2021 (geschätzt) auf Basis von U.S. Geological Survey (2022), sonst 2019 auf Basis von ROSYS Datenbank. Angaben zu Vorkommen und Produktion für leichte und schwere seltene Erden nur aggregiert verfügbar. ** Angaben nach Ländern beziehen sich auf Vorräte, d. h. der Teil der Vorkommen, der wirtschaftlich abbaubar oder produzierbar ist. Vorkommen sind definiert als Konzentration von natürlich vorkommendem Material in oder auf der Erdkruste derart, dass die wirtschaftliche Gewinnung derzeit oder potenziell möglich ist.

Quellen: EU-Kommission (2020, 2020a), DERA (2021), ROSYS Informationssystem, U.S. Geological Survey (2022).

-
- ¹ Vgl. BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2021), Deutschland – Rohstoffsituation 2020.
- ² Vgl. BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2019), Vorkommen und Produktion mineralischer Rohstoffe – ein Ländervergleich (2020).
- ³ Vgl. European Commission (2020), Critical raw materials for strategic technologies and sectors in the EU. A Foresight Study.
- ⁴ Vgl. EU-Kommission (2020a), Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, Widerstandsfähigkeit der EU bei kritischen Rohstoffen: Einen Pfad hin zu größerer Sicherheit und Nachhaltigkeit abstecken.
- ⁵ Vgl. European Commission (2020b), Study on the EU's list of Critical Raw Materials – Final Report.
- ⁶ Vgl. U.S. Geological Surveys (2022), Mineral commodity summaries 2022: U.S. Geological Survey, 202 p., <https://doi.org/10.3133/mcs2022>.
- ⁷ Vgl. WTO (2015), China – Rare Earths (DS431, 432, 433): Measures Related to the Exportation of Rare Earths, Tungsten and Molybdenum, abgerufen über: WT/DS431/17, [WTO | dispute settlement - the disputes - DS431](#)
- ⁸ Vgl. European Council of Foreign Relations (2021), Critical Mass: Raw Materials, Economic Coercion and Transatlantic Cooperation, Kommentar, 17. Dez 2021.
- ⁹ Vgl. European Commission (2020), a. a. O.
- ¹⁰ Auf Basis des jeweils aktuellen Datenstands von DERA Rohstoffdatenbank sowie U.S. Geological Survey (2022).
- ¹¹ Vgl. EU-Kommission (2020a), a. a. O.
- ¹² Vgl. European Commission (2020), a. a. O.
- ¹³ Vgl. Zhai et. al. (2021), Mineral Resource Science in China: Review and perspective, Geography and Sustainability 2, Seite 107–114.
- ¹⁴ Vgl. China Geological Survey (2020), Experts suggest scientific determination of china's strategic minerals (auf chinesisich), 23.12.2020, abgerufen über: cgs.gov.cn
- ¹⁵ Vgl. Ministry of Natural Resources PRC (2020): China Mineral Resources, Geological Publishing House Beijing, abgerufen über: P020201022612392451059.pdf (mnr.gov.cn)
- ¹⁶ Vgl. Wen et al. (2019), China's Demand for Energy and Mineral Resources by 2035, Strategic Study of CAE 2019 Vol. 21 No. 1.
- ¹⁷ Vgl. European Commission (2020), a. a. O.
- ¹⁸ Vgl. New York Times (2021), A Power Struggle Over Cobalt Rattles the Clean Energy Revolution, veröffentlicht 20. Nov 2021, überarbeitet am 7. Dez. 2021.
- ¹⁹ Vgl. International Energy Agency – IEA (2022), The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions, World Energy Outlook Special Report, veröffentlicht im Mai 2021, überarbeitet im März 2022.
- ²⁰ Vgl. ebenda.
- ²¹ Vgl. Brüggemann, A. (2019), [Circular Economy als Schlüssel für nachhaltiges Wirtschaften und Ressourcensicherheit](#), Fokus Volkswirtschaft Nr. 258, KfW Research.
- ²² Vgl. European Commission (2022), Press Release: Digital sovereignty: Commission proposes Chips Act to confront semiconductor shortages and strengthen Europe's technological leadership, Brussels, 8. Feb 2022.
- ²³ Vgl. European Commission (2018), Europe on the Move, Sustainable Mobility for Europe: safe, connected and clean, Brüssel, 17. Mai 2018. abgerufen über: [European Battery Alliance \(europa.eu\)](http://european-battery-alliance.eu)
- ²⁴ Vgl. Energy.gov: [DOE and European Commission Support Collaboration Between the U.S. Li-Bridge Alliance and European Battery Alliance to Strengthen Supply Chain for Battery Technologies | Department of Energy](#)
- ²⁵ Vgl. Euronews: [Lithium could help end the EU's oil addiction. But does Europe have enough of it? | Euronews](#)
- ²⁶ Vgl. Fitch Solutions (2022), Lithium: Eastern Europe To Emerge As A Key Producing Region, 14. Jan 2022.
- ²⁷ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2019), Rohstoffstrategie der Bundesregierung: Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nichtenergetischen mineralischen Rohstoffen, Dez. 2019.
- ²⁸ Vgl. Weltbank (2021), Minerals for Climate Action, The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition.
- ²⁹ Vgl. IEA (2022), a. a. O.
- ³⁰ Vgl. White House (2021), Building Resilient Supply Chains, Revitalizing American Manufacturing and Fostering Broad-Based Growth, 100-Day Reviews under Executive Order 14017, Juni 2021.
- ³¹ Vgl. Argus Media (2022), Airbus calls for metals stockpile in EU, 25. Mai 2022, abgerufen über <https://www.argusmedia.com/en/news>
- ³² Vgl. EU-Kommission (2022a), Commission Staff Working Document, A Chips Act for Europe, Brüssel, 11. Mai 2022.
- ³³ Vgl. Nakano (2021), The Geopolitics of Critical Supply Chains, CSIS Energy Security and Climate Change Program, März 2021.
- ³⁴ Vgl. Die Bundesregierung (2020), Fortschreibung der Rohstoffstrategie der Bundesregierung, Kernaussagen, 14. Jan 2020.
- ³⁵ Vgl. Todo, Y., K. Nakajima und P. Matous (2015), How do supply chain networks affect the resilience of firms to natural disasters? Evidence from the Great East Japan Earthquake, Journal of Regional Science 55 (2), 209–229. sowie Baldwin, R. und S. Evenett (2020), COVID-19 and trade policy: Why turning inward won't work, CEPR Press, London.