

## »» In Stein gemeißelt? Abhängigkeit der deutschen Wirtschaft von Kupfer, Lithium und Seltenen Erden

Nr. 454, 6. März 2024

Autorinnen: Dr. Fritzi Köhler-Geib, Telefon 069 7431-2931, [fritzi.koehler@kfw.de](mailto:fritzi.koehler@kfw.de)  
Hannah Levinger, Telefon 069 7431-5717, [hannah.levinger@kfw.de](mailto:hannah.levinger@kfw.de)  
Dr. Katrin Ullrich, Telefon 069 7431-9791, [katrin.ullrich@kfw.de](mailto:katrin.ullrich@kfw.de)

**Die zukunftsfeste Aufstellung der Versorgung Deutschlands mit mineralischen Rohstoffen ist für die Sicherung des Wirtschaftsstandorts zentral.** Gerade für Zukunftstechnologien und zur Begrenzung potenzieller Angebotsrisiken, die sich nachteilig auf abhängige Wirtschaftszweige auswirken können, ist Versorgungssicherheit mit diesen Rohstoffen relevant. Dabei geht es um die gesamte Wertschöpfungskette von der Produktion bis zur Wiedergewinnung. Auch Rohstoffe, die in Gütern verarbeitet importiert werden, spielen hier eine Rolle. Eine [von KfW Research in Auftrag gegebene und von IW Consult und Fraunhofer ISI erstellte Studie](#) analysiert die rohstoffhaltige Wertschöpfung und Angebotsrisiken entlang der Produktions- und Lieferlinien für die Rohstoffe Kupfer, Lithium und die Gruppe der Seltenen Erden.

**Es bestehen hohe Abhängigkeiten in Branchen, die das Verarbeitende Gewerbe in Deutschland prägen.** Die Studie quantifiziert die rohstoffabhängige Wertschöpfung und Erwerbstätigkeit in Deutschland. So entfallen 30 % der Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes auf die Erzeugung kupferhaltiger Waren, 10 % auf lithiumhaltige Güter und 22 % auf Waren, die Seltene Erden enthalten. Besonders hoch ist die Abhängigkeit der Wertschöpfung bei der Herstellung elektrischer Ausrüstungen, elektronischer und optischer Erzeugnisse und im Fahrzeugbau von Kupfer und Seltenen Erden. Der Wirtschaftszweig Kraftwagen und -teile ist umfangreich von allen drei Rohstoffen abhängig und gleichzeitig ein bedeutender Pfeiler der deutschen Wirtschaft.

**Mit unterschiedlich gelagerten Länderrisiken und Marktkonzentration entlang der Wertschöpfungskette ergibt sich für jeden Rohstoff ein spezifisches Bild.** Auf Basis der Konzentration der Herkunftsländer rohstoffhaltiger Importwaren und des durchschnittlichen Länderrisikos gelten für Deutschland fast ein Drittel der lithiumhaltigen Importe und 19 % des Importwerts bei kupfer- und Seltenen Erden-haltigen Waren als risikobehaftet. Über 50 % davon entfallen jeweils auf China als Herkunftsland.

**Um die Versorgung mit Rohstoffen zu sichern, können Wirtschaft und Staat mit verschiedenen Maßnahmen darauf hinwirken, die Risiken für kurzfristige Angebotschocks zu mindern und langfristigen Angebotsengpässen vorzubeugen.** Aufgrund der heterogenen Risikoprofile

mineralischer Rohstoffe eignen sich für staatliche Unterstützung Querschnittsmaßnahmen, die allen Rohstoffen zugutekommen. Ergänzen ließen sich diese durch ein Baukastensystem, auf das die Rohstoffe gemäß ihres Risikoprofils zugreifen können. Für gezielte staatliche Maßnahmen sind weitgehende und robuste Informationen notwendig. Darunter fällt die zukünftige Angebots- und Nachfrageentwicklung sowie das Potenzial für risikomindernde Faktoren etwa durch technologische Weiterentwicklungen. Konkret bedeutet das:

- Bei **Kupfer** mindert die global diversifizierte Produktion auf den frühen Wertschöpfungsstufen das Risiko kurzfristiger Angebotsverknappung deutlich. Die erforderliche Kapazitätsausweitung steht dennoch Hindernissen gegenüber. Ein bestehender Markt für Sekundärkupfer ist ein wichtiger ausgleichender Faktor, der noch ausgebaut werden kann.
- **Lithium** ist in der Produktion hoch konzentriert und trotz mehrerer länderübergreifender Produktionsrouten ob seiner zentralen Bedeutung für die Batterieherstellung anfällig gegenüber geoökonomischen Störungen. Gleichzeitig wird der Kapazitätsausbau global prioritär vorangetrieben. Ansätze für Diversifikation bietet die Erweiterung der Bezugsquellen sowie Forschung und Entwicklung in substituierende Technologien, z. B. Natrium-Ionen-Batterien.
- Bei den **Seltenen Erden** stehen die Risiken im direkten Zusammenhang mit dem hohen Spezialisierungsgrad und Marktanteil Chinas bei Abbau und Weiterverarbeitung. Diversifizierung und Stärkung der Rahmenbedingungen hierfür sowie – im Pilotstadium – Ansätze zum Recycling stehen daher im Vordergrund.

Während bei Kupfer die Möglichkeit für Risikominderung durch Diversifizierung und Substitution besteht, ist die Einschätzung dieser Möglichkeiten bei Lithium und Seltenen Erden aktuell schwer und hängt hauptsächlich vom technischen Fortschritt ab.

## Rohstoffverfügbarkeit für Wertschöpfung insgesamt und duale Transformation im Besonderen entscheidend

Deutschland ist umfangreich in internationale Produktionsverflechtungen eingebunden. Fehlen Rohstoffe, die am Beginn der internationalen Wertschöpfungsketten stehen, breiten sich die negativen Effekte entlang der Produktionsverflechtungen aus und reduzieren Wirtschaftsaktivität und Handel. Das haben die Angebotsschocks vor allem zu Beginn der Corona-Krise offengelegt.<sup>1</sup> Der Ukraine-Krieg hat dann die geopolitische Dimension der Rohstoffversorgung verdeutlicht. Die Sanktionen im Zuge des Ukraine-Kriegs und die geopolitische Instrumentalisierung der Lieferung von Energierohstoffen durch Russland zwangen die EU, ihre Energierohstoffimporte kurzfristig anzupassen, sowohl was die Zusammensetzung als auch die Herkunftsländer angeht. Durch die duale Transformation hin zu einer klimaneutralen und digitalen Wirtschaft in Deutschland und weltweit gewinnt das Thema Rohstoffsicherheit nochmals an Bedeutung. Eine steigende Nachfrage wird vor allem bei Massenmetallen wie Kupfer, aber auch bei Spezialmetallen wie Lithium, Seltenen Erden oder Kobalt erwartet. Dabei ist Deutschland bei vielen für die traditionelle Industrie, aber auch für Energiewende und Digitalisierung essenziellen mineralischen Rohstoffen stark von Importen abhängig. Durch die Gefahr einer geopolitischen Blockbildung bei gleichzeitig substantziellen wirtschaftlichen Verflechtungen Deutschlands mit den USA und China gilt es, sich sowohl auf wirtschaftliche als auch geopolitische Schocks einzustellen und die Rohstoffversorgung zu sichern, um die angestrebten Klima- und Digitalisierungsziele erreichen zu können.

Eine von KfW Research in Auftrag gegebene Studie widmet sich der Frage, welche Bedeutung Rohstoffe für die Wertschöpfung in Deutschland haben und wie sich die Ausgangslage bei der Rohstoffversorgung darstellt. Die von IW Consult und Fraunhofer ISI durchgeführte Analyse konzentriert sich dafür auf drei ausgewählte mineralische Rohstoffe mit jeweils zentraler Relevanz für den Einsatz in digitalen und Klimaschutztechnologien: Kupfer, Lithium, und die Gruppe der Seltenen Erden. Aus den unterschiedlichen Abhängigkeiten und Angebotsrisiken für diese Rohstoffe ergeben sich eine Reihe von Implikationen für Unternehmen und Staat, um die Versorgungssicherheit mit Rohstoffen zu erhöhen. Denn eine hohe Verwundbarkeit ist nicht in Stein gemeißelt und kann durch verschiedene Ansatzpunkte reduziert werden.

## Rohstoffversorgung in Zeiten der Polykrise und im historischen Kontext

Durch den Ukraine-Krieg und die Corona-Pandemie hat die Widerstandsfähigkeit von Wertschöpfungsketten gegenüber Angebotsschocks und Lieferengpässe in der EU und Deutschland starke Aufmerksamkeit erhalten. Bei der Verfügbarkeit von mineralischen Rohstoffen spielen Länderrisiken eine relevante Rolle. So können die Länder, in denen die Rohstoffe produziert werden, den Rohstoffexport beschränken – sei es aus wirtschaftspolitischen Gründen zur Unterstützung nachgelagerter Verarbeitungsstufen oder aus geoökonomischen Überlegungen heraus. Ein prominentes Beispiel ist der Konflikt zwischen China und Japan um Seltene Erden im Jahr 2010. Die OECD stellt fest, dass sich in den vergangenen zehn Jahren der Einsatz von Exportbeschränkungen einschl. Exportsteuern bei kritischen Rohstoffen mehr als verfünffacht hat.<sup>2</sup> Von den drei hier betrachteten Rohstoffen unterliegt Lithium den wenigsten und Kupfer den meisten Beschränkungen. Hinzu kommen gegebenenfalls Beschränkungen auf den

Export von Technologien, die bei der Gewinnung und Verarbeitung von Rohstoffen zum Einsatz kommen, wie zuletzt Ende 2023 die Ankündigung Chinas eines Exportverbots für Technologien zur Selten-Erd-Produktion.<sup>3</sup> Auch schon lange vor Corona-Krise und Ukraine-Krieg war die Versorgungssicherheit mit Rohstoffen für Deutschland ein Thema. Die Ölkrisen der 1970er-Jahre lenkten – analog zur Frage der Energiesicherheit im Zuge des Ukraine-Kriegs – den Blick auch auf Abhängigkeiten bei anderen Rohstoffen.<sup>4</sup> Die hohe Importabhängigkeit Deutschlands wurde für verschiedene Rohstoffe festgehalten, selbst wenn Lithium und Seltene Erden zum damaligen Zeitpunkt noch keine Rolle spielten. Im Jahr 2010 wurde dann die erste Rohstoffstrategie der Bundesregierung vorgelegt, die sich mit der „Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nicht-energetischen mineralischen Rohstoffen“ auseinandersetzt.<sup>5</sup>

## Gesamte Wertschöpfungskette in den Blick nehmen

Der Fokus liegt bei der Versorgungssicherheit mit Rohstoffen in der Regel auf der Sicherung des Angebots und damit auf den Importrisiken. Dabei spielt die gesamte Wertschöpfungskette der Rohstoffe eine Rolle von der Produktion bis zur Wiedergewinnung. Deshalb müssen auch Rohstoffe berücksichtigt werden, die schon in Gütern verarbeitet sind.<sup>6</sup> Die einschlägigen Analysen konzentrieren sich auf die Bestimmung der Importabhängigkeit und Anbieterkonzentration der Primärrohstoffe und frühen Verarbeitungsstufen, teilweise ergänzt um die ökonomische Bedeutung der Rohstoffe oder ihren Einsatz in Schlüsseltechnologien für die duale Transformation.<sup>7</sup> In die Kritikalitätsbestimmung der EU geht beispielsweise die wirtschaftliche Bedeutung gemessen als Wertschöpfungsbeitrag der Rohstoffe im Sektor der Endnutzung in Kombination mit den ökonomischen Substitutionsmöglichkeiten ein.<sup>8</sup> Danach weisen für die EU Leichte Seltene Erden die höchste und Lithium die geringste ökonomische Bedeutung der hier betrachteten Rohstoffe auf. Alle drei Rohstoffe überschreiten jedoch deutlich die Grenze, die für diese Dimension zu einer Kritikalitätseinstufung führt.<sup>9</sup>

Sollten sich Angebotsengpässe materialisieren, betreffen die Auswirkungen jedoch die gesamte Wertschöpfungskette des Rohstoffs bis zu den Endprodukten. So hat die Corona-Krise gezeigt, dass sich Angebotsschocks zu Beginn der Wertschöpfungsketten bis zu den endverbrauchernahen Industrien fortpflanzen können.<sup>10</sup> Schließlich werden Rohstoffe vornehmlich als Input in die Produktion genutzt mit dem Potenzial für systemische Auswirkungen, sollten sie fehlen.<sup>11</sup> Dies unterscheidet sie auch maßgeblich von Energierohstoffen, da sie im Gegensatz z. B. zu Erdöl nicht die Nutzung bestehender Güter, sondern deren Produktion beeinflussen.<sup>12</sup>

In der vorliegenden Analyse werden neben den Angebotsrisiken und Rohstoffimporten auch die Wertschöpfung und Beschäftigung in Deutschland in den Blick genommen, die von der Produktion kupfer-, lithium- und Seltene Erden-haltiger Güter abhängt (siehe Box 1).

### Box 1: Wertschöpfungskette von Rohstoffen

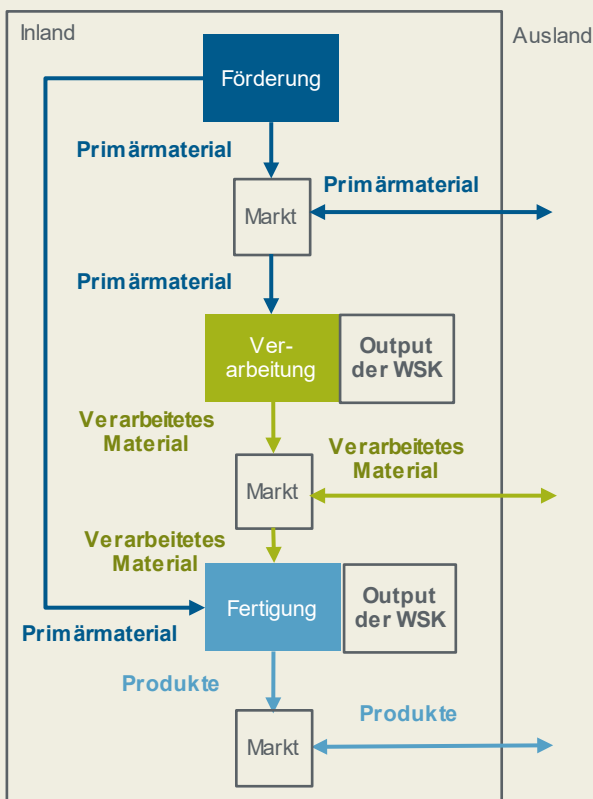
Rohstoffe und Raffinadeprodukte stehen am Anfang der Wertschöpfungsketten oder werden auf späteren Verarbeitungsstufen hinzugefügt, deren Endergebnis fertige Investitions- und Konsumgüter sind. Würden sie fehlen, wirkte sich dies auf alle nachgelagerten Verarbeitungsstufen aus mit negativen Effekten für die dort entstehende Wertschöpfung und

den benötigten Arbeitseinsatz. Damit sind all die Güter und Wertschöpfungsstufen zu betrachten, in denen der Rohstoff oder das rohstoffhaltige Zwischenprodukt verarbeitet und weiterverarbeitet werden.

Die Wertschöpfungskette eines Rohstoffs umfasst den Rohstoff selbst, erste Verarbeitungsschritte und Vorleistungen bis hin zu fertigen Konsum- und Investitionsgütern. Die entsprechenden Betrachtungen basieren auf Stoffstromanalysen, anhand derer Materialströme identifiziert werden können (s. Grafik 1).<sup>13</sup> Güter werden in der von KfW Research beauftragten Studie mit dieser Methode als abhängig von den drei betrachteten Rohstoffen Kupfer, Lithium oder Seltenen Erden klassifiziert, sobald der entsprechende Rohstoff in einem Produkt verarbeitet ist.<sup>14</sup> Dabei ist der Umfang der in den Gütern enthaltenen Rohstoffe unerheblich, da selbst kleine Mengen für deren Herstellung wesentlich sein können.

Das Angebotsrisiko wird aus der Länderkonzentration und dem durchschnittlichen Länderrisiko ermittelt. Allerdings stimmen das Land der Rohstoffproduktion und der Unternehmenssitz oder der Sitz des einflussreichsten Anteilseigners nicht immer überein, was die Bewertung der Länderrisiken verändern kann.<sup>15</sup> Zudem wird in der Analyse auf das Länderrisiko aus den direkten Zulieferern abgestellt. Sobald dies andere Länder der EU ohne eigene Rohstoffproduktion sind, wird das Länderrisiko dadurch tendenziell unterschätzt.

Grafik 1: Stark vereinfachtes Schema einer Stoffstromanalyse



WSK – Wertschöpfungskette.

Quelle: In Anlehnung an Matos, C.T. et al. (2020), Material System Analysis of five battery-related raw materials: Cobalt, Lithium, Manganese, Natural Graphite, Nickel, EUR 30103 EN, Publication Office of the European Union, Luxembourg, 2020, S. 7.

### Bedeutung von Kupfer und Seltenen Erden für das Verarbeitende Gewerbe in Deutschland höher als von Lithium

Die Kupfer, Lithium oder Seltene Erden enthaltenden Güter werden in unterschiedlichen Wirtschaftsbereichen hergestellt. So wird Kupfer vielseitig eingesetzt, angefangen von Schädlingsbekämpfungsmitteln über Beschläge, Uhren und Kabel bis hin zu Pkw und Schiffen. Lithium findet sich u. a. in Reifen und Gläsern, Akkumulatoren, Batterien und Fahrzeugen. Seltene Erden werden beispielsweise in Industriegasen, Eisen-gießerei-Erzeugnissen, Akkumulatoren und Batterien, Pkw sowie der Luft- und Raumfahrt verarbeitet.

Die Produktion der rohstoffhaltigen Güter lässt sich den entsprechenden Wirtschaftszweigen zuordnen. Dadurch lässt sich die jeweilige Wertschöpfung ermitteln, die bei der Herstellung der kupfer-, lithium- und Seltene-Erd-haltigen Gütern entsteht, und die Beschäftigung feststellen, die hierfür notwendig ist.<sup>16</sup> Die Betrachtung erfolgt dabei für jeden Rohstoff getrennt, wobei Güter mehrere Rohstoffe enthalten können. Für das Jahr 2022 zeigt sich, dass in Deutschland

- auf die Erzeugung kupferhaltiger Waren 30 % der Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes (216 Mrd. EUR) entfielen. Rd. 24 % der Erwerbstätigen des Verarbeitenden Gewerbes (1,8 Mio. Erwerbstätige) waren hiermit beschäftigt.
- von der Erzeugung lithiumhaltiger Güter rd. 10 % der Wertschöpfung im Verarbeitenden Gewerbe (69 Mrd. EUR) und 6 % der Erwerbstätigen des Verarbeitenden Gewerbes (480.000 Erwerbstätige) abhängen.
- bei der Erzeugung von Waren, die Seltene Erden enthalten, 22 % der Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes (161 Mrd. EUR) entstanden. Dafür wurden rd. 17 % der Erwerbstätigen des Verarbeitenden Gewerbes (1,3 Mio. Erwerbstätige) eingesetzt.

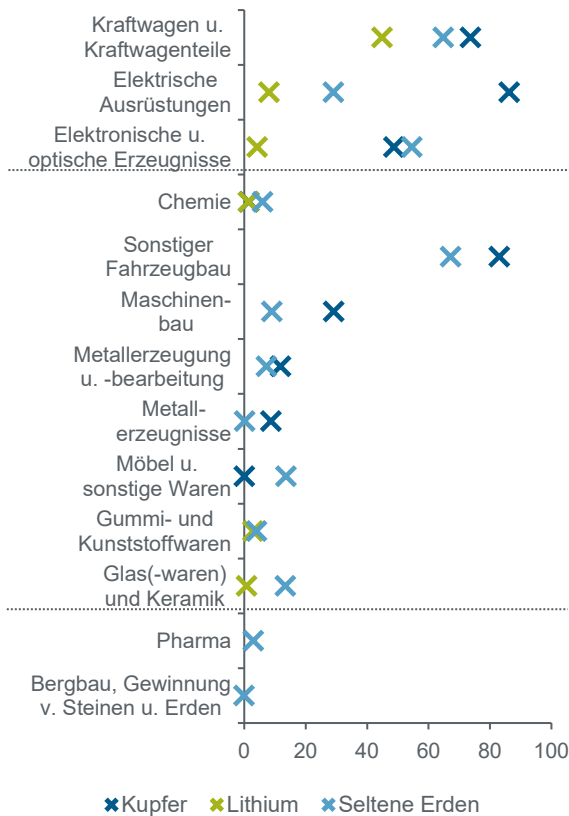
Das Verarbeitende Gewerbe wies im Jahr 2022 einen Anteil von rund 20 % an der nominalen Bruttowertschöpfung (Dienstleistungen: 69 %) und 16 % an den Erwerbstätigenzahl (Dienstleistungen: 75 %) auf.<sup>17</sup> Allerdings sind Industrie- und Dienstleistungssektor eng verflochten, wobei zwischen 8,8 und 11,5 % der gesamtwirtschaftlichen Wertschöpfung dem Industrie-Dienstleistungsverbund zugeordnet werden kann.<sup>18</sup>

### Der Fahrzeugbau als größter Wirtschaftszweig des Verarbeitenden Gewerbes ist auffallend rohstoffabhängig

Die Abhängigkeit der einzelnen Wirtschaftszweige von Kupfer, Lithium und Seltenen Erden ist sehr unterschiedlich ausgeprägt. Vor allem kann die kupfer- und Seltene-Erden-abhängige Bruttowertschöpfung in einzelnen Wirtschaftsbereichen vergleichsweise hohe Anteile erreichen (s. Grafik 2). So sind z. B. 86 % der Wertschöpfung bei Herstellung elektrischer Ausrüstungen von Kupfer und 67 % der Wertschöpfung im Sonstigen Fahrzeugbau von Seltenen Erden abhängig. Bei Lithium konzentriert sich der hohe Anteil der rohstoffabhängigen Wertschöpfung – rd. 45 % – auf die Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen.

**Grafik 2: Bedeutung von Kupfer, Lithium und Seltenen Erden für die Wirtschaftszweige in Deutschland**

Anteile rohstoffabhängiger Bruttowertschöpfung an der Bruttowertschöpfung der Wirtschaftszweige in Prozent, 2022



Quellen: Bähr, C. et al. (2024), Kritisch für die Wertschöpfung – Rohstoffabhängigkeit der deutschen Wirtschaft, Studie für die KfW Bankengruppe, erstellt von IW Consult und Fraunhofer Institut für System und Innovationsforschung. KfW Research.

In einigen Wirtschaftszweigen ist die Bruttowertschöpfung von allen drei betrachteten Rohstoffen abhängig, andere Wirtschaftszweige sind in ihrer Abhängigkeit spezialisierter:

- Der an der Bruttowertschöpfung gemessen größte Wirtschaftsbereich des Verarbeitenden Gewerbes, der Fahrzeugbau, nutzt umfangreich die drei Rohstoffe bei der Wertschöpfung. Dabei ist die Wertschöpfung im Wirtschaftszweig Kraftwagen und Kraftwagenteile substanziiell von Kupfer (74 % der Bruttowertschöpfung des Wirtschaftszweigs), Seltenen Erden (65 %) und Lithium (45 %) abhängig.
- Auch die Bruttowertschöpfung in den Bereichen Elektrische Ausrüstungen, Elektronische und optische Erzeugnisse und Chemie stützt sich auf alle drei betrachteten Rohstoffe, wobei der Anteil lithiumabhängiger Wertschöpfung deutlich geringer ausfällt als bei Kupfer und Seltenen Erden. Im Bereich Chemie ist die Abhängigkeit von allen drei Rohstoffen gering. Die Wertschöpfung in diesen drei Wirtschaftszweigen ist relativ rohstoffabhängig und zusammen erreichen sie gewichtige 21 % der Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland.<sup>19</sup>
- Im Maschinenbau und Metallgewerbe als zweit- und drittgrößter Wirtschaftsbereich ist die Abhängigkeit von den betrachteten Rohstoffen geringer ausgeprägt. Sowohl kupfer- als auch Seltene Erden-haltige Produkte spielen bei der Wertschöpfung im Maschinenbau sowie in der

Metallerzeugung und -bearbeitung jedoch eine Rolle. Der Maschinenbau stützt sich in nennenswertem Umfang auf kupferhaltige Produkte.

- Die Wertschöpfung von Möbeln und sonstigen Waren – wobei hierzu auch die Herstellung von medizinischen und zahnmedizinischen Apparaten und Materialien oder Sitze für Luft- und Kraftfahrzeuge zählen – hängt spürbar von Seltenen Erden ab. Bei der Wertschöpfung im Bereich Gummi- und Kunststoffwaren spielen sowohl Güter, die Lithium, als auch Waren, die Seltene Erden enthalten, eine gewisse Rolle. Für Glaswaren und Keramik sind eher Seltene Erden als Lithium relevant.

Die Größe und Rohstoffabhängigkeit der Wirtschaftszweige spiegelt sich auch in der Zusammensetzung der rohstoffabhängigen Wertschöpfung und Beschäftigung nach Branchen wider, bei der die Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen jeweils den höchsten Anteil aufweist.

**Rund 1/2 beträgt das Verhältnis der Kupfer, Lithium und Seltene-Erden enthaltenden Importe zum vom jeweiligen Rohstoff abhängigen Produktionswert in Deutschland**

Um die Bedeutung von Rohstoffen für die Wirtschaft Deutschlands zu analysieren, ist neben dem Import der Primärrohstoffe und der frühen Verarbeitungsstufen auch der Import von weiter verarbeiteten Gütern und damit die Abhängigkeit auf allen Verarbeitungsstufen relevant. Denn es geht neben der Produktion auch um die Bedienung der Endnachfrage mit Investitions- und Konsumgütern. Selbst bei einer sehr offenen Volkswirtschaft wie Deutschland mit einer Importquote von 49 % des nominalen BIP im Jahr 2022<sup>20</sup> übersteigt der Produktionswert den Wert der Importe auch bei den rohstoffabhängigen Gütern. So beträgt – über alle Wertschöpfungsstufen hinweg betrachtet – das Verhältnis von rohstoffhaltigen Importen zum rohstoffabhängigen Produktionswert<sup>21</sup> rd. 1/2. Auf den frühen Verarbeitungsstufen ist Deutschland bei Lithium und Seltenen Erden zu 100 % importabhängig.<sup>22</sup> Auch die Importabhängigkeit der EU beträgt bei Lithium und Seltenen Erden jeweils 100 % und bei Kupfer 44 % auf Ebene der Minenproduktion.<sup>23</sup>

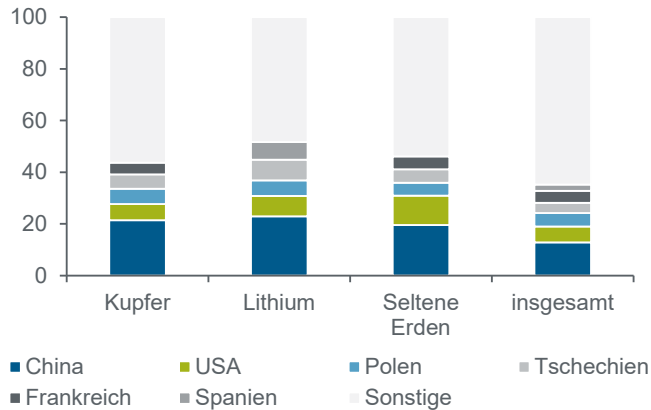
Der deutliche Unterschied zwischen der Importabhängigkeit je nach Verarbeitungsstufe ist dem Wertschöpfungsprozess und dem Importmuster geschuldet. So ist der Wert der weiter verarbeiteten Importgüter wie Permanentmagnete, Solarpanele oder Batterien deutlich höher als derjenige der darin enthaltenen kritischen Primärrohstoffe und frühen Verarbeitungsstufen.<sup>24</sup> Darin spiegelt sich zum einen wider, dass in weiter verarbeiteten Gütern Wertschöpfung hinzugefügt wird, zum anderen importiert die EU nur vergleichsweise wenig Primärrohstoffe für die Weiterverarbeitung innerhalb des Wirtschaftsraums, sondern eher die schon weiter verarbeiteten Produkte, um die Nachfrage zu bedienen.

Die wichtigsten Herkunftsländer der kupfer-, lithium- und Seltene Erden enthaltenden Einfuhr spiegeln – abgesehen von der Bedeutung der Niederlande<sup>25</sup> – die Importbeziehungen Deutschlands insgesamt wider (s. Grafik 3). So kommen die höchsten Anteile kupfer-, lithium- und Seltene-Erden-haltiger Warenimporte aus China und den USA, die für Deutschland auch die wichtigsten Importländer für Waren auf Einzellandbasis insgesamt darstellen. Relativ intensive Verflechtungen bestehen auch innerhalb Europas mit den direkten Nachbarländern Frankreich, Polen und Tschechien, sowohl bei den

rohstoffabhängigen Importen als auch insgesamt. Spanien ist bei den lithiumhaltigen Warenimporten unter den fünf wichtigsten Herkunftsländern für Deutschland zu finden. Tendenziell sind die Länderanteile bei den rohstoffabhängigen Importen höher als die Importanteile an den Waren insgesamt, was eine gewisse Spezialisierung und Arbeitsteilung nahelegt.

**Grafik 3: Fünf wichtigste Importländer rohstoffhaltiger Waren**

Anteile am Importwert in EUR in Prozent, 2022



Die Kategorie „insgesamt“ bezieht sich auf die Importe rohstoffhaltiger und nicht rohstoffhaltiger Waren zusammen.

Quellen: Bähr, C. et al. (2024), Kritisch für die Wertschöpfung – Rohstoffabhängigkeit der deutschen Wirtschaft, Studie für die KfW Bankengruppe, erstellt von IW Consult und Fraunhofer Institut für System und Innovationsforschung, Statistisches Bundesamt, KfW Research.

**Lithiumhaltige Importe werden fast zu einem Drittel ihres Werts, bei Kupfer und Seltenen Erden jeweils knapp 1/5 des Importwerts als risikobehaftet eingestuft**

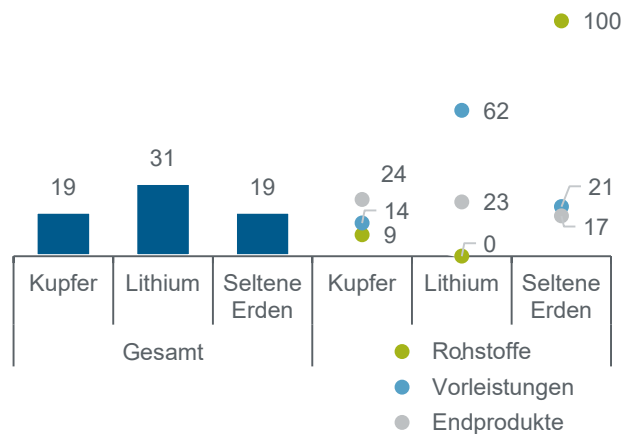
Mit dem substantziellen Umfang kupfer-, lithium- und Seltene Erden-haltiger Importe im Verhältnis zum Produktionswert und den spürbaren Anteilen der wichtigsten Importländer liegt es nahe, die Angebotsrisiken für die rohstoffhaltigen Importe über alle Wertschöpfungsstufen hinweg zu analysieren (siehe Box 2). Je nach Fertigungsgrad der Importgüter sind potenziell andere Bereiche der Wirtschaft betroffen, sollte sich ein Angebotsrisiko materialisieren. Fehlende Vorprodukte wie Leiterplatten und Halbleiterbauelemente treffen die Produktion und Wertschöpfung in Deutschland selbst und können über Multiplikatoreffekte die gesamte Wertschöpfungskette treffen. Fehlende Investitionsgüter würden direkt die Endnachfrage treffen und sich – sofern über einen längeren Zeitraum keine Substitution erfolgt – auf das zukünftige Produktionspotenzial auswirken. Fehlende Konsumgüter sind ebenfalls für die Endnachfrage relevant. Unter die Verbrauchsgüter fallen auch pharmazeutische Erzeugnisse, deren Fehlen sich unmittelbar auf die Versorgungssicherheit im Bereich Gesundheit auswirken kann.

Lithiumhaltige Importe werden fast zu einem Drittel ihres Werts als risikobehaftet eingestuft (s. Grafik 4). Hierfür ist vor allem die hohe Konzentration auf wenige Lieferländer ausschlaggebend, während das Länderrisiko im Durchschnitt als mäßig klassifiziert wird. Der Anteil des risikobehafteten Importwerts beläuft sich bei Kupfer und Seltenen Erden jeweils auf 19 %. Auch bei diesen beiden Rohstoffen ist die Konzentration der Importländer ausschlaggebend für die Klassifizierung, das Länderrisiko ist jeweils im Durchschnitt mäßig.

Eine Differenzierung nach Rohstoffen, Vorleistungen und Endprodukten zeigt unterschiedliche Muster des gefährdeten Importwerts für die drei Rohstoffe. Bei Kupfer steigt er entlang der Wertschöpfungskette. Bei Lithium sind es vor allem die Vorleistungen und bei Seltenen Erden die Rohstoffimporte selbst, die als risikobehaftet eingestuft werden. Aber auch bei diesen beiden Rohstoffen sind es noch 23 % und 17 % des Importwerts der Endprodukte, die als gefährdet gelten.

**Grafik 4: Gefährdete Importe rohstoffhaltiger Güter**

Anteile am Importwert in Prozent, 2022



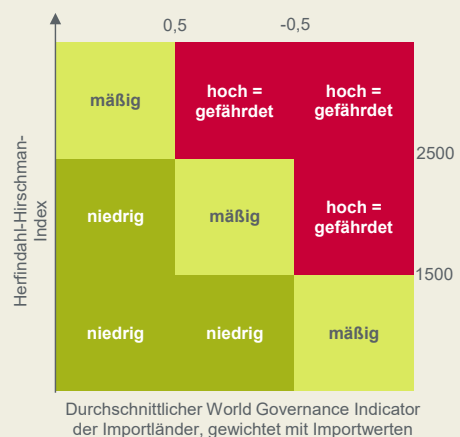
Quelle: Bähr, C. et al. (2024), Kritisch für die Wertschöpfung – Rohstoffabhängigkeit der deutschen Wirtschaft, Studie für die KfW Bankengruppe, erstellt von IW Consult und Fraunhofer Institut für System und Innovationsforschung. Darstellung: KfW Research.

**Box 2: Bestimmung risikobehafteter Importe**

Im Rahmen der vorliegenden Studie werden die risikobehafteten Importe auf Basis der Marktkonzentration und des durchschnittlichen Länderrisikos auf Grundlage der Worldwide Governance Indicators bestimmt (s. Grafik 5). Fallen die Marktkonzentration oder das durchschnittliche Länderrisiko hoch aus und der jeweils andere Indikator zumindest mäßig, wird der Importwert des Gutes als gefährdet im Sinne von risikobehaftet klassifiziert.

**Grafik 5: Klassifikationsschema für gefährdeter / risikobehafteter Importe**

Länderkonzentration gemessen am Herfindahl-Hirschmann-Index, Länderrisiko gemessen am durchschnittlichen Worldwide Governance Indicator



Quelle: Bähr, C. et al. (2024), Kritisch für die Wertschöpfung – Rohstoffabhängigkeit der deutschen Wirtschaft, Studie für die KfW Bankengruppe, erstellt von IW Consult und Fraunhofer Institut für System und Innovationsforschung, Darstellung: KfW Research.

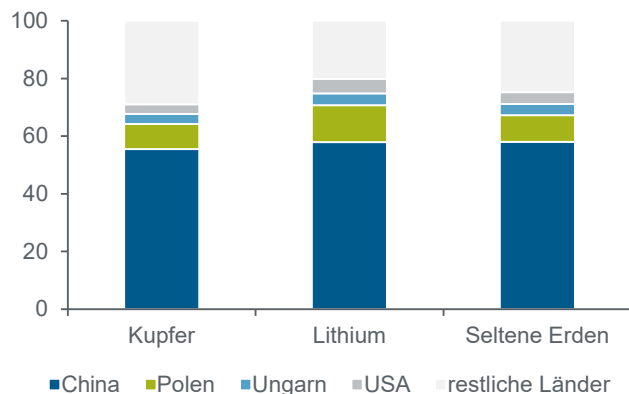
Da die Risikobetrachtung allein auf Basis von Marktkonzentration und durchschnittlichem Länderrisiko gemäß World Governance Indicator (WGI) erfolgt, ist die Interpretation der Ergebnisse mit Einschränkungen verbunden. Auf der einen Seite ist eine Konzentration auf wenige Bezugsländer tendenziell unkritisch, wenn es noch weitere potenzielle Lieferländer gibt, mit denen kurzfristig Handelsbeziehungen aufgenommen werden können. Auf der anderen Seite ist der WGI nur eine Möglichkeit, das Länderrisiko und damit die Wahrscheinlichkeit von Lieferengpässen einzuschätzen. Beispielsweise kann auch eine Zunahme protektionistischer Tendenzen die Lieferbeziehungen gefährden, selbst wenn das Länderrisiko lt. WGI als gering eingestuft ist.

### China mit großer Bedeutung für risikobehaftete Importe rohstoffhaltiger Waren

Die gefährdeten Importe werden vorwiegend aus China bezogen, 55 % bei kupferhaltigen Importen und jeweils 58 % bei lithium- und Seltenen Erden-haltigen Importgütern stammen von dort (s. Grafik 6). Polen weist ebenfalls noch einen nennenswerten Anteil an den gefährdeten Importen über alle Wertschöpfungsstufen auf.

#### Grafik 6: Herkunftsländer gefährdeter Importe

Anteile am gefährdeten Importwert in Prozent, 2022



Quelle: Bähr, C. et al. (2024), Kritisch für die Wertschöpfung – Rohstoffabhängigkeit der deutschen Wirtschaft, Studie für die KfW Bankengruppe, erstellt von IW Consult und Fraunhofer Institut für System und Innovationsforschung. Darstellung: KfW Research.

Die große Bedeutung Chinas für die risikobehafteten Importe wird nochmals deutlich, wenn der Anteil der Importe aus China für die als gefährdet eingestufteten Waren betrachtet wird:

- Bei kupferhaltigen Warenimporten ist China für 83 % der gefährdeten Güter und für 86 % des gefährdeten Importwerts das wichtigste Bezugsland. So stammen 61 % der Vorhängeschlösser, 86 % der Datenmaschinen und 68 % der Staubsauger aus China.
- Für rund zwei Drittel der lithiumhaltigen, gefährdeten Gütergruppen und 85 % des entsprechenden Importwerts ist China das wichtigste Herkunftsland. 49 % der Lithium-Ionen-Akkumulatoren und 87 % der Mobiltelefone werden aus China bezogen.
- Bei Seltenen Erden ist China für fast 80 % der als gefährdet eingestufteten Güter und damit 89 % des Importwerts das wichtigste Bezugsland. Beispielsweise werden 82 % der

Selten-Erd-Metalle, 55 % der Glaswaren aus Glaskeramik und 84 % der Dauermagnete aus China eingeführt.

Die hohe Bedeutung Chinas für die kupfer-, lithium- und Seltene-Erden-abhängigen Importe schlägt sich auch in den wirtschaftlichen Abhängigkeiten Deutschlands von China insgesamt nieder, wie sie in Studien zu über Rohstoffe hinausgehenden wirtschaftlichen Abhängigkeiten Deutschlands und der EU untersucht wird:

- Flach et al. (2021) kommen zu dem Ergebnis, dass für Deutschland rund 3 % der abhängigen Industriegüter aus China stammen, die sich über viele Sektoren – von der Chemieindustrie bis zu Textilien – verteilen.<sup>26</sup>
- Zenglein (2020) identifiziert 103 Produktkategorien, bei denen die EU eine kritische Importabhängigkeit von China aufweist, insbesondere in den Bereichen Elektronik, Chemie, Minerale/Metalle sowie Pharma/Medizin.<sup>27</sup>
- Sandkamp et al. (2023) ermittelt, dass China und Taiwan zusammen bei 127 von über 6.000 betrachteten Produkten einen Anteil von über 80 % der deutschen Importe aufweisen.<sup>28</sup> Dies sind insbesondere technische Geräte wie Laptops, Mobiltelefone und Einheiten für Computer, bei denen zugleich der Weltmarktanteil Chinas bei rund 75 % liegt. Aber auch Textilprodukte wie FFP-Masken, Fahrradteile und organische Chemikalien bzw. Medikamente und Vitamine, Rohstoffe einschl. Seltener Erden werden hauptsächlich aus China bezogen.
- Arjona et al. (2023) kommen zu dem Ergebnis, dass für die EU 64 der 204 abhängigen Güter in kritischen Ökosystemen China das Hauptbezugsland darstellt (58 % des Importwerts). Unabhängig vom Herkunftsland werden die strategisch abhängigen Güter den Bereichen Chemische und verwandte Industrien, Mechanische Geräte und elektrische Ausrüstungen, Unedle Metalle und deren Erzeugnisse, Mineralische Erzeugnisse und Präzisionsinstrumente und medizinische Geräte zugeordnet.<sup>29</sup>

### Potenziellen Angebotsknappheiten vorbeugen oder Risiken reduzieren

Knappheiten bei Primärrohstoffen und rohstoffhaltigen Importen können sich zum ersten kurzfristig ergeben, wenn unerwartete Ereignisse wie z. B. Streiks, Umweltkatastrophen, Pandemien oder geopolitische Ereignisse eintreten. Sie stellen vorwiegend wirtschaftsexogene Angebotsschocks für Deutschland dar und können eines oder mehrere Herkunftsländer der Rohstoffe zeitgleich betreffen. Trotzdem lassen sich risikomindernde Faktoren ermitteln. Dazu gehören z. B. diversifizierte Importländer, die Produktion von Primär- und Verfügbarkeit von Sekundärrohstoffen und ihre Weiterverarbeitung im Inland oder auch eine Lagerhaltung.

Zum zweiten können in der längerfristigen Perspektive Knappheiten auftreten, wenn die Nachfrage nach Rohstoffen global c. p. schneller wächst als das Angebot. Kann der Marktpreis nicht für einen Ausgleich von Angebot und Nachfrage sorgen, kommt es zur Rationierung. In diesem Fall würde eine vorbeugende Ausweitung des Angebots – sei es für die Primärrohstoffe, in Form von Sekundärrohstoffen oder durch Substitution – die Eintrittswahrscheinlichkeit für dieses Szenario reduzieren. Auch spielen regulatorische und langfristige industriepolitische Entwicklungen in den Abbau- und Raffinadeländern eine Rolle. Zudem ist eine Nachfrageminderung hilfreich, um

Angebotsknappheiten vorzubeugen. Die Angebots- und Nachfrageentwicklung im Falle von Kupfer, Lithium und Seltenen Erden wird in Box 3 behandelt. Im Folgenden werden verschiedene Aspekte der Risikoprofile der drei Rohstoffe wie die Länderkonzentration oder längerfristige Nachfrageentwicklung sowie risikomindernde Faktoren wie Substitutionsmöglichkeiten näher beleuchtet.

Die auf quantitativen Analysen basierenden Ausführungen zu den kurz- und längerfristigen Risiken für das Angebot und potenzielle Auswirkungen auf die Wertschöpfung in Deutschland werden in der von KfW Research in Auftrag gegebenen Studie durch eine qualitative Analyse auf Basis strukturierter Interviews mit Marktteilnehmern aus den Bereichen Kupfer, Lithium und Seltene Erden ergänzt.

**Box 3: Internationales Ambitionsniveau des Klimaschutzes beeinflusst entscheidend die globale Nachfrageentwicklung.**

Kupfer, Lithium und Seltene Erden sind für die grüne Transformation und den Ausbau der Digitalisierung von entscheidender strategischer Bedeutung. Dabei steht die erwartete Entwicklung der globalen Nachfrage in enger Abhängigkeit vom jeweiligen Ambitionsniveau zur Erreichung von Klimaschutz und Nachhaltigkeit.<sup>30</sup> Gleichwohl ist die Nachfrage nach Kupfer auch konjunkturell durch Aktivitäten der Fertigung und des Baugewerbes stark beeinflusst.

Die IEA prognostiziert – unter der Annahme einer Anwendung bestehender und angekündigter Politikambitionen – für Kupfer ein Nachfragewachstum von 24 % bis 2035 gegenüber 2022 – siehe Grafik 7.<sup>31</sup> Wichtigste Treiber sind dabei die Produktion von Elektroautos und der Ausbau der Stromnetze im Zusammenhang mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien. Bei Neodym, das zur Gruppe der leichten Seltenen Erden zählt und bei Magneten zum Einsatz kommt, wird mit einer Nachfragesteigerung um 58 % bis 2035 gerechnet. Für Lithium, das „weiße Gold“ der Elektromobilität, ist gar mit 230 % Zuwachs zu rechnen.

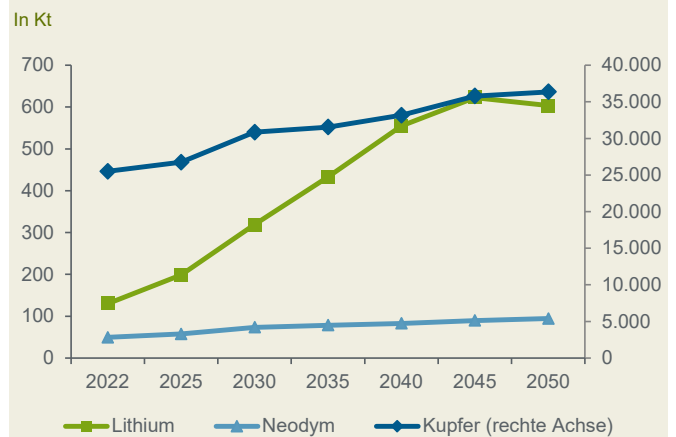
Die Prognosen zur Angebotsentwicklung driften bei den drei untersuchten Rohstoffen auseinander: Bei **Kupfer** ist die Deckung gemessen an der erwarteten Steigerung der Nachfrage mittelfristig mit Fragezeichen behaftet. Es mangelt an hochwertigen Großprojekten, die aktuell in Vorbereitung sind. Hinzu kommen steigende Grenzkosten, da bestehende Bergbaubetriebe in Chile mit sinkenden Erzgehalten des Gesteins und Wasserknappheit konfrontiert sind. Die IEA sieht daher die Möglichkeit, dass der Kupfermarkt nach 2024 in ein Angebotsdefizit umschlagen könnte.

Um die Ausweitung der **Lithiumproduktion** voranzutreiben ist die Identifikation neuer Produktionsstandorte nötig. Die jährliche Minenproduktion von Lithium ist in den 5 Jahren bis 2022 von knapp 50.000 Tonnen auf 130.000 Tonnen Lithiuminhalt massiv ausgeweitet worden.<sup>32</sup> Tatsächlich wächst das Lithiumangebot derzeit sogar schneller als die Nachfrage – eine Tatsache, die im Verlauf des Jahres 2023 zu kurz- bis mittelfristigen Überkapazitäten (insbesondere bei den chinesischen Lithium-Ionen-Batterien) und einem deutlichen Rückgang der Preise geführt hat.<sup>33</sup> Angesichts der Erwartung einer langfristig drastisch steigenden Nachfrage

prognostiziert hingegen Schmidt (2023) für den europäischen Markt ein deutliches Angebotsdefizit mit negativer Marktdeckung im Jahr 2030. Dies gilt auch in einem Szenario, bei dem das Lithiumangebot aus Recyclingquellen deutlich steigen würde.<sup>34</sup>

Bei der zukünftigen Deckung der Nachfrage nach **Seltenen Erden** geht es in erster Linie um den Aufbau alternativer Produktionsstätten außerhalb Chinas entsprechend der weit verbreiteten Verfügbarkeit – mit USA, Australien sowie Finnland, Schweden und Baltikum in Europa im Fokus. Aber auch die Ausweitung des chinesischen Bergbaus unterliegt Grenzen. Bereits in der Vergangenheit überstieg der chinesische Konsum die zugewiesenen Produktionsquoten.<sup>35</sup> Die resultierende Marktlücke wird durch undokumentierten Bergbau ausgeglichen, auch Importe aus Myanmar werden herangezogen. Herausgefordert wird die globale Produktionsausweitung durch Chinas dominante Stellung bei der Separierung der einzelnen Elemente.<sup>36</sup>

Grafik 7: Schätzung der weltweiten Nachfrageentwicklung nach ausgesuchten Rohstoffen bis 2035



Anmerkung: Stated-Policy-Szenario bezieht sich auf bestehende und angekündigte Politikmaßnahmen bis Stand Sep. 2022

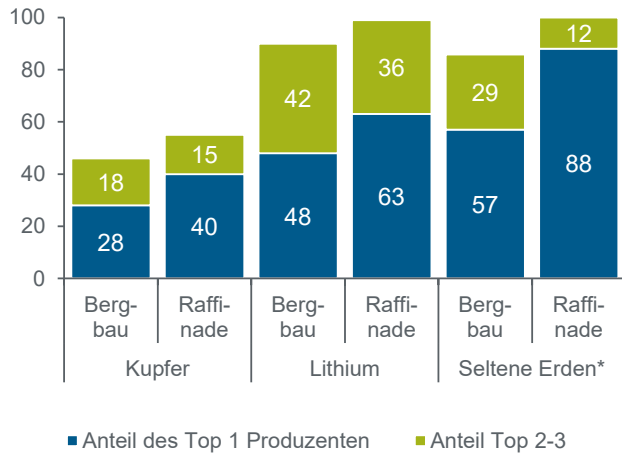
Quellen: KfW Research, IEA

**Anfälligkeiten der frühen Wertschöpfungsstufen verdienen wegen der hohen Importabhängigkeit Deutschlands bei Rohstoffen besondere Aufmerksamkeit**

Angebotsschocks können auf allen Stufen der Wertschöpfungskette auftreten und sich entlang der einzelnen Verarbeitungsstufen fortsetzen. Die geografische Konzentration der Rohstoffvorkommen und der Produktion auf den frühen Wertschöpfungsstufen – Abbau und Raffinade – und die damit verbundenen Länderrisiken prägen dabei entscheidend die Ausgangslage. Grafik 8 stellt für Kupfer, Lithium und Seltene Erden jeweils die Konzentration der globalen Produktion auf die größten (Top 1) sowie größten drei Produzenten (Top 3) auf den Wertschöpfungsstufen für Bergbau- und Raffinadeproduktion dar:

**Grafik 8: Geografische Konzentration der Produktion steigt mit Verarbeitungsstufe**

Anteile der größten (Top 1) und größten drei (Top 3) Produzenten an der weltweiten Produktion, in Prozent



\*Seltene Erden ausschließl. undokumentierter Produktion in China.  
Anmerkung: Referenzjahr für Kupfer, Lithium, Seltene Erden (Bergbau) ist 2020, für Lithium und Seltene Erden (Raffinade) 2019. Daten für Seltene Erden (Raffinade) von IEA bezogen auf Magnet-SE: Neodym, Praseodym, Dysprosium und Terbium.

Quellen: Bähr, C. et al. (2024) basierend auf USGS (2022)<sup>37</sup>, IEA (2023), KfW Research.

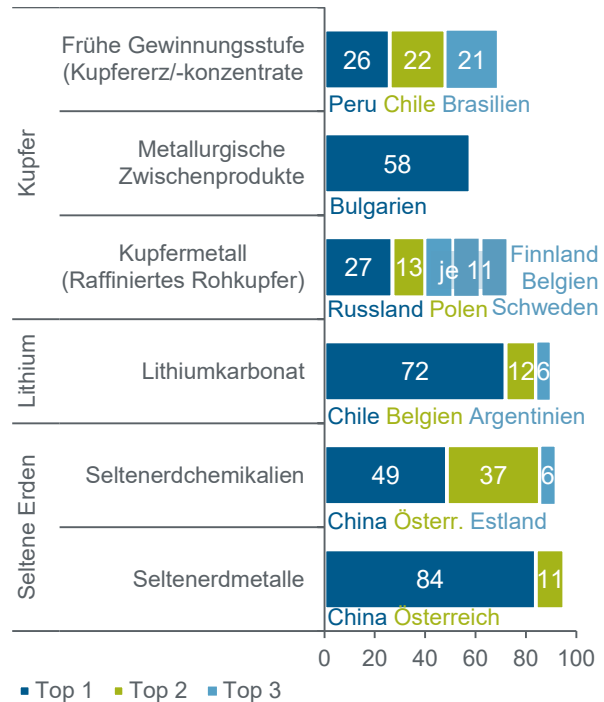
- Kupfer weist die geringste Länderkonzentration auf. Auf Raffinadeebene entfallen dennoch knapp 40 % der Produktion auf ein Land – China. Bei Lithium verteilt sich die hohe Konzentration vor allem auf die Top 3 Produzenten bei einem Anteil Australiens von 48 % an der Minenproduktion und Chinas von 63 % an der Raffinadeproduktion. Im Falle der Seltene Erden ist die gesamte Produktion noch stärker auf den größten Produzenten – China – fokussiert.<sup>38</sup>
- Zieht man Daten der International Energy Agency (IEA) hinzu zeigt sich auch für Lithium und Seltene Erden: Die Länderkonzentration steigt tendenziell mit der Verarbeitungsstufe. Bei allen drei Rohstoffen liegt die Marktkonzentration der Raffinade über der des Bergbaus.
- Im Zeitverlauf der letzten drei Jahre hat sich die Marktkonzentration auf die größten drei Produzenten kaum verändert. Allerdings haben bei Kupfer und Lithium die größten Bergbauländer zuletzt an Produktionsanteilen verloren.

**Kupferproduktion ist hinreichend diversifiziert, einzelne Zulieferer haben für Deutschland aber hohes Gewicht**

Deutschland bezog im Durchschnitt der Jahre 2016–2020 die zu Beginn der Wertschöpfungskette gewonnenen Kupfererze und -konzentrate zu rund 70 % aus Peru, Chile und Brasilien (s. Grafik 9). Die Einfuhr der Rohstoffe spiegelt hier den hohen Anteil der südamerikanischen Länder am Bergbau wider. Denn Chile ist mit 28 % des Bergbauoutputs der global größte Kupferproduzent. In den letzten Jahren hat die Vormachtstellung Chiles jedoch etwas nachgelassen, die Produktion in Ecuador und in der DR Kongo, verzeichnete hingegen starke Wachstumsraten.<sup>39</sup> Die Abschätzung neuer Förderkapazitäten auf Basis geplanter Projekte oder Betriebserweiterungen ist mit hoher Unsicherheit behaftet. Laut DERA entfallen mehr als die Hälfte der neuen Förderkapazitäten bis 2025 auf Peru, DR Kongo und Russland.<sup>40</sup>

**Grafik 9: Deutschlands Importe von rohstoffnahen Handelsprodukten bei Kupfer, Lithium und Seltene Erden**

Anteile der direkten Zuliefererländer für Importe ausgewählter Handelsprodukte der frühen Verarbeitungsstufen, jährlich im Durchschnitt 2016–2020, in Prozent



Quellen: KfW Research in Anlehnung an Bähr, C. et al. (2024), UN Comtrade.

Schon auf der ersten Weiterverarbeitungsstufe, der Raffinade der Kupfererze zu Kupferkonzentrat, erhöht sich die Länderkonzentration entscheidend. Mit rund 40 % hat China den stärksten Anteil an der weltweiten Produktion inne. Auch in Deutschland wird Kupfer raffiniert (2,5 % der globalen Produktion). Bei den weiterverarbeiteten metallurgischen Zwischenprodukten, die jedoch nur einen geringen Importwert gemessen am Kupferinhalt in Kilotonnen haben, dominiert Bulgarien als Herkunftsland deutscher Importe (s. Grafik 10). Dabei bezieht Bulgarien Kupfererze und -konzentrate aus Georgien, der Türkei und Brasilien.<sup>41</sup> Schließlich importiert Deutschland in hohem Umfang Kupfermetalle wie etwa Kupferkathoden. Diese stammten im Durchschnitt der Jahre 2016 bis 2020 zu 27 % aus Russland. Die EU-Länder Polen, Finnland, Belgien und Schweden lieferten knapp unter der Hälfte der Kupferimporte auf dieser Stufe, was jedoch nur direkte Lieferbeziehungen widerspiegelt (s. Box 4).

**Die Lithiumproduktion folgt zwei Routen – mit jeweils hohen Marktkonzentrationen und damit Störanfälligkeit durch Angebotsschocks**

Bei Lithium umfasst die Gewinnung und Verarbeitung mehrere Prozessrouten, aus denen gleichwertige Produkte generiert werden können, die sich jedoch hinsichtlich der Verfahren und geografischen Routen stark unterscheiden:

- Erstens wird Sole aus unterirdischen Salzseen durch Verdunstung und anschließender Extraktion des lithiumhaltigen Konzentrats gewonnen. Bei dieser, hauptsächlich im sogenannten Lithium-Dreieck Südamerikas (Bolivien, Chile, Argentinien) angewandten Sole-Prozessroute, werden aus dem gewonnenen Konzentrat durch chemische



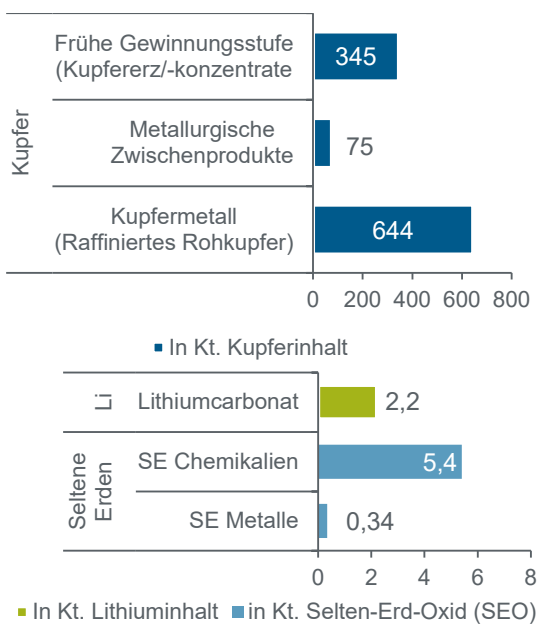
Aufbereitung Lithiumcarbonat und Lithiumhydroxid hergestellt und exportiert.<sup>42</sup>

- Zweitens werden Lithiumvorkommen in festem Gestein vorwiegend in Australien und, in geringerem Maße, Kanada, USA und Afrika im Tagebau gefördert.<sup>43</sup> Die gewonnenen Erze werden zu Konzentrat verarbeitet und international gehandelt. Ein Großteil des Erzkonzentrats wird nach Asien insbesondere China verschifft, wo es zu Batterievorprodukten (Lithiumcarbonat, -hydroxid) weiterverarbeitet wird. Dabei exportiert China selbst auch diese Verbindungen und nutzt sowohl eigene Vorkommen als auch importierte Vorprodukte.<sup>44</sup>

Beim Rohstoff Lithium beträgt die Importabhängigkeit Deutschlands 100 %. Bezogen auf das Handelsprodukt Lithiumcarbonat war Chile für die Importe Deutschlands 2016–2020 mit Abstand das wichtigste Herkunftsland (s. Grafik 9). Belgien spielt als Umschlagplatz eine Rolle (über 95 % stammen wiederum aus Chile; allerdings ist hier auch eine Sekundärproduktion angesiedelt). Mit einem Anteil von 2 % sind die direkten Importe aus China überschaubar. Beim Zwischenprodukt Lithiumhydroxid/oxid liegen keine Importstatistiken vor. Jedoch hat China einen Anteil von nahezu 70 % an den globalen Exporten, gefolgt von Chile mit 11 %.<sup>45</sup>

**Grafik 10: Importwert variiert je nach Handelsprodukt**

Deutschland: Jährliche Importe im Durchschnitt 2016–2020, in Kt. Rohstoffinhalt



Li=Lithium; SE=Seltene Erden  
Quelle: KfW Research in Anlehnung an Bähr, C. et al. (2024).

**Seltene Erden: Hohe Abhängigkeit von China erzeugt Verletzlichkeit der Lieferkette**

Während Seltene Erden global umfangreich vorhanden sind, ist die Aufbereitung der Erze bzw. Trennung der einzelnen Oxide voneinander aufwendig und findet nur an wenigen Produktionsstätten statt, davon 57 % in China, 16 % in den USA, 13 % in Myanmar. Hinzu kommt in China ein bedeutender, wenn auch zurückgehender Anteil an nicht dokumentierter Produktion (min. 5 % der offiziellen Produktion 2021).<sup>46</sup> In der Verarbeitung werden aus dem Konzentrat sowohl Chemikalien als auch, nach weiteren Schritten, Metalle gewonnen, welche international handelbare Zwischenprodukte darstellen. Daraus

lassen sich wiederum Katalysatoren, Legierungen und Magnete als Zwischen- und Endprodukte fertigen.

Rund die Hälfte der von Deutschland im Durchschnitt der Jahre 2016–2020 importierten Seltene-Erd-Chemikalien kamen direkt aus China, Seltene-Erdmetalle sogar zu 84 % (s. Grafik 9). Österreich rangiert – wohl aufgrund eines ansässigen Unternehmens der Chemie- und Metallurgieindustrie – EUweit an zweiter Stelle beim Import von Seltenen Erden, und nimmt für Deutschland daher eine bedeutende Stellung als Zulieferer ein. Bei einer Reihe von weiterverarbeiteten Seltene-Erdprodukten liegt der Importanteil aus China bei über 90 %.<sup>47</sup>

**Box 4: Asien als entscheidender Player der Rohstofflieferketten in der Handelsstatistik für Deutschland unterrepräsentiert.**

Entlang der Kupferwertschöpfungskette ist der internationale Handel von großer Bedeutung. Kupferhaltige Konzentrate aus Südamerika werden vornehmlich in Asien verhüttet und in Europa zu Halbzeug verarbeitet, was in etwa der Mitte der Wertschöpfungskette entspricht.<sup>48</sup> Darauf folgt die Herstellung von Zwischen- und Endprodukten, z. B. Kabelbäume. In Bezug auf die Importe Deutschlands der weiterverarbeiteten Zwischenprodukte ist die Bedeutung der asiatischen Länder insbesondere Chinas in der Handelsstatistik nicht unter den direkten Lieferländern ersichtlich. Es liegt nahe, dass die EU-Länder hier als Umschlagplatz für Lieferungen aus Asien dienen.

Bei Lithium ist der Marktanteil Asiens auf den nachgelagerten Wertschöpfungsstufen stark ausgeprägt. Während nur 6 % der Lithiumvorkommen und 15 % des Bergbauoutputs auf China entfallen, wird der globale Markt für Lithium-Ionen-Batterien zu mehr als 70 % von China dominiert.<sup>49</sup> Die Schlüsselrolle Asiens und Chinas im Speziellen bei der Weiterverarbeitung zu Endprodukten manifestiert sich vor allem bei den deutschen Importen im Laufe der Wertschöpfungskette, insbesondere bei fertigen Lithium-Ionen-Batterien (68 % aus China, Korea und Japan).<sup>50</sup> Prognosen der DERA zufolge wird die Weiterverarbeitung von Lithiumcarbonat bis ins Jahr 2030 vorrangig im asiatischen Raum verbleiben. Auch dürfte China den Anteil an der Weiterverarbeitung australischer Konzentrate zu Lithiumhydroxid aufrechterhalten.

Anders gelagert ist die Wertschöpfungskette der Seltenen Erden, welche durchgängig durch eine hohe geografische Konzentration auf China (und am Rande Myanmar) gekennzeichnet ist. Hier wird auch ein Großteil der Importe Deutschlands direkt aus China bezogen.

**Länder- und geoökonomische Faktoren beeinflussen Angebotsrisiken, Rahmenbedingungen kommen auch bei langfristigem Kapazitätsausbau zentrale Rolle zu.**

Die mit einer hohen Länderkonzentration einhergehenden Angebotsrisiken bei einzelnen Rohstoffen sind nicht statisch, sondern können durch globale wie lokale Entwicklungen beeinflusst werden. Hinzu kommen weltweit gleichlaufend steigende Bedarfe an spezifischen Rohstoffen für den Umstieg auf saubere Energietechnologien und den Ausbau der Digitalisierung. Dadurch ist zum einen mit schärferem Wettbewerb um die relevanten Rohstoffe und potenziell einer Bildung von Allianzen mit gleichgesinnten Handelspartnern zu rechnen.

Zum anderen wird das Bestreben, die Wertschöpfungskette verstärkt im Inland weiterzuentwickeln, auch im globalen Süden zunehmend in die politische Agenda aufgenommen. Entsprechend ist für einen künftig diversifizierten Bezug der Rohstoffe die geopolitische Tektonik von entscheidender Bedeutung.

### **Für einer kurzfristige Verknappung des Angebots auf dem internationalen Markt bestehen folgende Anfälligkeiten:**

- Bei Kupfer betreffen die Anfälligkeiten politische Unsicherheiten (Streiks, Unruhen) sowie physische Risiken (Extremwetter, Trockenheit im Zusammenspiel mit wasserintensiver Förderung) in den Hauptproduktionsländern. Wie der Produktionsstopp der im chinesischen Besitz befindlichen Las Bambas Mine in Peru (2 % der globalen Produktion) Anfang 2023 im Zuge politischer Unruhen verdeutlichte,<sup>51</sup> vermögen kurzfristige Angebotsschocks durchaus einen Effekt auf die Weltmarktpreise für Kupfer zu haben. Aus heutiger Sicht ließe sich eine kurzfristige Verknappung dank diversifizierter Produktionsketten ausgleichen.
- Kurzfristige Schocks in der Lithium-Lieferkette können insgesamt weniger gut kompensiert werden als es für Kupfer der Fall ist. Durch die zwei bestehenden Hauptprozessrouten (Sole-Lateinamerika, Erze-Australien) existieren jedoch grundsätzlich Möglichkeiten der Diversifizierung.
- Auf der gesamten Wertschöpfungskette für Seltene Erden, stehen die Abhängigkeiten und (geo-)politisch motivierten Risiken im Zusammenhang mit der bedeutenden Stellung Chinas im Vordergrund. Dies gilt, in gewissem Umfang, auch für die Weiterverarbeitung von Kupfer sowie die Lithiumraffinade und -weiterverarbeitung.

### **Längerfristige Entwicklung des globalen Angebots von nationalen Entscheidungen der Abbauländer abhängig**

Darüber hinaus beeinflussen regulatorische, politische, sozio-ökonomische und Umweltfaktoren das Rahmenwerk für Investitionen, die zur Ausweitung der Produktionskapazitäten notwendig sind. Die fehlende Umsetzung von Investitionsprojekten kann zu langfristigen Verschiebungen der Produktion in andere Länder oder Ausdünnung der Produktion bewährter Zulieferer führen.

- Ein Faktor für die Produktionsverlagerung ist das Bestreben vieler rohstoffreicher Länder, einen höheren Anteil der Wertschöpfungskette ins eigene Land zu holen. Beispiele sind die – bisher wenig erfolgreichen – Ansätze der chilenischen Regierung, Kapazitäten für die Raffinade von Kupfer im Land aufzustocken.<sup>52</sup> Auch Australien bemüht sich, in die höhere Wertschöpfung der Lithiumproduktion zu expandieren.<sup>53</sup> Aus einer solchen Verschiebung ergibt sich zwar nicht notwendigerweise eine Verknappung des Rohstoffangebots, jedoch könnte hiermit der Druck auf Deutschland steigen, eher weiterverarbeitete Produkte zu importieren.
- Sowohl bei Kupfer als auch Lithium ist die besondere Stellung Chiles in der frühen Wertschöpfungskette unter Druck. In der Lithiumproduktion hat sich der Marktanteil Chiles im Vergleich zu anderen exportierenden Ländern zuletzt verringert, u. a. da komplexe Vergabemethoden neue Projekte hemmen.<sup>54</sup> Hinzu kommt, dass das Verdunstungsverfahren schon jetzt mit einer zunehmenden Wasserknappheit einher geht. Der Wasserbedarf zur Produktion einer Tonne Lithium wird mit ca. 2.000 Kubikmetern Wasser beziffert.<sup>55</sup>

Innerhalb Südamerikas wird damit gerechnet, dass sich die Lithiumproduktion bis 2030 stärker in Richtung Argentinien verlagert.<sup>56</sup> Bei Lithium stellt sich zudem die Frage, ob die Produktion mit der globalen Nachfrage mithalten kann, vor allem im Kontext des Ausbaus des chinesischen Elektromobilitätssektor.<sup>57</sup>

- Bei der Angebotsentwicklung Seltener Erden steht die wirtschafts- und industriepolitische Ausrichtung Chinas im Vordergrund. Zum Beispiel könnten Quotenregelungen zu im Land zu verbleibenden Mengen (für die Magnetproduktion) die Exportmengen schrittweise reduzieren. Einer globalen Diversifizierung dienlich und aufgrund der insgesamt weit verbreiteten Vorkommen möglich wäre die Erschließung alternativer Abbaugelände. Dies ist jedoch im Einklang mit Umweltkriterien ein schwieriges Unterfangen. Der Aufbau einer Seltener-Erd-Weiterverarbeitung in den USA seit 2018 dürfte für den europäischen Markt nur begrenzt für Diversifizierung sorgen, da diese darauf abzielt, den Bedarf des heimischen Marktes zu decken. Vertikale Integration erfordert einen langen Planungszeitraum.

### **Risikomindernde Faktoren für Kupfer vorhanden, technischer Fortschritt ist für Lithium und Seltene Erden zentrale Komponente**

Ob und welche Ansätze zur Risikominderung in der kurzen und längeren Frist möglich sind oder schon bestehen, stellt sich für Kupfer, Lithium und Seltene Erden unterschiedlich dar, wie Tabelle 1 zusammenfasst. Neben der geografischen Diversifizierung der Rohstoffimporte sind insbesondere folgende Fragen von Belang: Besteht eine Primärrohstoffproduktion in Deutschland oder der EU oder wären Vorkommen zum Aufbau einer solchen vorhanden? Stehen Sekundärrohstoffe zur Verfügung? Welche Substitutionsmöglichkeiten und Potenziale für Effizienzsteigerungen bestehen? Kann auf Lagerhaltung zurückgegriffen werden?

### **Inländische Primärrohstoffe sind größtenteils nicht vorhanden oder nicht erschlossen, eine Weiterverarbeitung besteht bei Kupfer.**

Eine inländische Förderung von Primärrohstoffen ist bei keinem der drei Rohstoffe aktuell in Deutschland vorhanden.

- Bei Kupfer hat Europa einen Anteil von 6 % an den bekannten natürlichen Vorkommen, die global relativ weit gestreut sind. Der Großteil findet sich in Nord- und Südamerika.
- Im Falle von Lithium verfügt Deutschland über 3 % der natürlichen Vorkommen, die grundsätzlich abbaufähig, aber noch nicht wirtschaftlich erschlossen sind. Global verfügen Südamerika, USA und Australien über große Vorkommen.
- Seltene Erden umfassen eine Gruppe einzelner Oxide, deren Vorkommen umfangreich (480 Mio. t.) und global weit gestreut sind. Die Aufbereitung der Erze bzw. Trennung der einzelnen Oxide voneinander ist jedoch aufwendig und findet nur an wenigen Produktionsstätten statt. In Deutschland gibt es keine nennenswerten Primärrohstoffe.
- Bei Kupfer bestehen ausgeprägte Weiterverarbeitungskapazitäten in Deutschland, bei Lithium sind ebenfalls Kapazitäten vorhanden, die zudem ausgebaut werden. Eine relevante Verarbeitung Seltener Erden findet in Deutschland nicht statt, importiert werden in erster Linie schon verarbeitete Produkte wie Legierungen, Pulver und die Produktgruppe Magnete.

**Tabelle 1: Ausgangslage und mögliche Ansätze zur Risikominderung/Vermeidung bzw. Vorbeugung**

	Kupfer	Lithium	Selt. Erden
Ausgangslage			
Importabhängigkeit DE bei Primärrohstoffen	k. A.	100 %	100 %
Förderung inländischer Primärrohstoffe	Nein	Nein, aber Vorkommen (3 %)	Nein
Inländische Weiterverarbeitung	Ja, große Kapazitäten	Bestehende Kapazitäten im Ausbau	Nein
Diversifizierung des Rohstoffbezugs	Hoch	Mittel	Gering
Diversifizierung des Imports weiterverarbeiteter Güter	Eher hoch	Gering	Gering
Risikomindernde Faktoren			
Verfügbarkeit von Sekundärrohstoffen	Ja	FuE zur Kreislaufwirtschaft mit langer Zeitspanne	Nur Pilotprojekte
Substitutionsmöglichkeiten	Ja für bestimmte (preissensible) Produkte, Aluminium, Kunststoff, Edelstahl	Schwierig, wegen Anforderungen an Reinheitsgrad	Ja, aber verschlechterte Effizienz
Effizienzsteigerungen	Grundsätzlich möglich	Bereits effizient, DLE-Prozess ermöglicht kleine Sprünge	Wenig, da bereits am effizienten Rand
Lagerhaltung	Ja	Nein, da technisch unbeständig	Nein da fehlende Weiterverarbeitung.
Stärkere Importdiversifizierung	Bereits hohe Diversifikation am Anfang der WSK	Möglich	Nur sehr begrenzt möglich, erfordert Erschließung neuer Abbaugebiete

Quelle: KfW Research in Anlehnung an Bähr, C. et al. (2024), Kritisch für die Wertschöpfung – Rohstoffabhängigkeit der deutschen Wirtschaft, Studie für die KfW Bankengruppe, erstellt von IW Consult und Fraunhofer Institut für System und Innovationsforschung.

### **Sekundärrohstoffe stehen bei Kupfer in großem Umfang, bei Lithium perspektivisch und bei Seltenen Erden nicht zur Verfügung**

Wenn neben der Raffinadeproduktion aus Bergbauerzeugnissen auch Raffinade aus Schrotten zum Einsatz kommt, spricht man von Sekundärrefination. Ein hoher Anteil stellt einerseits eine weitere Rohstoffquelle und somit Diversifizierung der verfügbaren Vorprodukte dar. Andererseits setzt die Verfügbarkeit des Sekundärrohstoffs den vorangehenden Wertschöpfungsprozess und die technische Recyclbarkeit voraus.

- Rund 50 % der Kupferraffinade in Europa erfolgt auf Basis von aus Kupferabfällen gewonnenem Sekundärkupfer, dieses wird zusätzlich exportiert. Auch wenn der Anteil für Deutschland geringer ist, stellt die Verfügbarkeit von Sekundärkupfer aus europäischer Sicht einen erheblichen risikomindernden Faktor dar, da anderweitig exportierte Mengen im Falle eines Lieferausfalls zur innereuropäischen Verwendung herangezogen werden könnten. Global betrachtet macht Sekundärkupfer rund 17 % der Raffinadeproduktion aus, China ist auch hier der größte Akteur.<sup>58</sup>
- Für Lithium besteht keine nennenswerte Sekundärproduktion in Europa. Eine zusätzliche Bezugsquelle mit Potenzial

für Kapazitätsausweitung besteht jedoch perspektivisch im Batterierecycling. Laut Schmidt (2023) bereiten Pilotanlagen für Batterierecycling im industriellen Maßstab darauf vor, dass absehbar größere Rücklaufmengen an Traktionsbatterien generiert werden, die dem Produktionsprozess wieder zugeführt werden können.<sup>59</sup> Laut McKinsey könnte das Recycling von Lithium-Ionen-Batterien bis 2030 ca. 6 % der globalen Produktion von Lithium decken.<sup>60</sup>

- Auch für das Recycling Seltener Erden gibt es in Deutschland Pilot- oder Demonstrationsprojekte. Deren Machbarkeit leitet sich vor allem von geschlossenen Kreisläufen einzelner Produktvarianten (Japan) oder etablierter Primärrohstoffgewinnung (China) ab. Eine ausreichend breite Sekundärrohstoffproduktion ist mit technischen und wirtschaftlichen Einschränkungen behaftet.

### **Substitutionsmöglichkeiten und effizientere Verfahren bedürfen oft langjähriger Forschung**

- Für Kupfer bestehen Substitute, je nach Anwendungsbereich Aluminium, Kunststoff oder Edelstahl. Diese kommen bei preissensitiven Produkten in Reaktion auf hohe Kupferpreise oder Preisvolatilität zum Zuge.
- Die Substitution von Lithium ist Gegenstand intensiver Forschung. Bislang gilt Lithium als nicht-substituierbarer Rohstoff gegeben der Anforderungen des Mobilitätssektors. Erschwerend kommt der erforderliche Reinheitsgrad (Battery-grade Lithium) hinzu. Bei der Entwicklung alternativer Netzspeicheranwendungen steht die Natrium-Ionen-Technologie im Zentrum, welche sich aufgrund ihrer Eigenschaften jedoch nur für Anwendungen mit geringerer Leistung anbietet. Bis neue Batteriekonzepte im kommerziellen Maßstab etabliert sind dürfte aber noch mindestens ein Jahrzehnt vergehen.<sup>61</sup>
- Bestehende Substitutionsmöglichkeiten für Seltene Erden in Magneten oder Sensortechnologie gehen derzeit noch mit hohen Effizienzverlusten einher. Ansätze zielen stärker auf Ersatz-Technologien (z. B. ohne Seltene Erden auskommende Motoren in E-Mobilität und Windkraft) ab.

Das vorhandene Angebot an Primärrohstoffen kann über eine Erhöhung der Material- und Rohstoffeffizienz ausgeweitet werden. Die Produktionsprozesse bei Lithium und Seltenen Erden gelten bereits als sehr effizient. Steigerungen lassen sich daher nur noch in geringem Umfang erwarten. Für den Lithiumabbau sind geringe Effizienzverbesserungen im Zuge einer breiteren Anwendung des Verfahrens zur direkten Entnahme (Direct Lithium Extraction) insbesondere mit Blick auf die limitierenden Umweltfaktoren der herkömmlichen Sole-Förder-technologie zu erwarten.

### **Lagerhaltung stößt auf technische Grenzen**

Eine Lagerhaltung setzt deren technologische Machbarkeit voraus. Während bei Kupfer die Lagerhaltung schon aktuell passiert, ist sie bei Lithium an technische Restriktionen gebunden. Bei Lithium und Seltenen Erden kommen noch eine hohe Kapitalbindung hinzu, sodass die Gewinne aus der Risikominderung diese Kosten rechtfertigen müssen. Zudem ist eine Lagerung des Primärrohstoffs selbst unzuweckmäßig, wenn wie bei Seltenen Erden inländische Weiterverarbeitungskapazitäten fehlen. Werden schon weiter verarbeitete Produkte gelagert, sind der Produktlebenszyklus und potenziell häufige Nachfrageänderungen hinsichtlich der Produktspezifikationen – letzteres z. B. bei Seltenen Erden –, zu berücksichtigen.

## Ein genereller Ansatz zur Sicherstellung der Versorgung mit mineralischen Rohstoffen wird durch die unterschiedlichen Risikoprofile herausgefordert

Um die Rohstoffsicherheit zu verbessern, bietet es sich an, sowohl auf der Angebots- als auch auf der Nachfrageseite anzusetzen und insgesamt die Widerstandsfähigkeit der Wirtschaft zu verbessern.<sup>62</sup> Wie die Analyse von Kupfer, Lithium und Seltenen Erden zeigt, sind das Risikoprofil und die risikomindernden Faktoren bei mineralischen Rohstoffen unterschiedlich ausgeprägt. Entsprechend unterschiedlich sind die daraus abzuleitenden Implikationen für Unternehmen und Staat, wenn es um den geeigneten Umgang mit den Versorgungsrisiken und ihre Reduzierung geht. Dies unterscheidet mineralische Rohstoffe von Energierohstoffen, die wie Erdöl bei aller Differenzierung in Schwer- und Leichtöl usw. doch vergleichsweise homogene Güter darstellen. Auch für die grüne Transformation sind die Bedarfe an mineralischen Rohstoffen sehr unterschiedlich ausgeprägt. So ist Kupfer im Vergleich zu anderen mineralischen Rohstoffen für viele dieser Anwendungen besonders wichtig. Lithium findet in Elektroautos und Batteriespeichern Anwendung, Seltene Erden darüber hinaus in Windanlagen.<sup>63</sup>

Wird die gesamte Wertschöpfungskette der Rohstoffe in den Blick genommen, dann sind in Deutschland zunächst die Unternehmen gefordert, ihre Liefer- und Wertschöpfungsketten robust aufzustellen und die Versorgung mit von ihnen benötigten Rohstoffen und rohstoffhaltigen Vorprodukten durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen. Für die staatliche Unterstützung erscheint es wegen der stark ausdifferenzierten Bedürfnisse bei einzelnen Rohstoffen zielführend, Maßnahmen zu wählen, die über die Rohstoffe hinweg im Querschnitt wirken und damit rohstoffoffen sind. Vorstellbar ist auch ein Baukastensystem, auf das die Rohstoffe gemäß ihres Risikoprofils passgenau zugreifen können. Damit lassen sich die jeweiligen risikomindernden Faktoren stärken und gleichzeitig beschränkende Faktoren berücksichtigen. Bei Lithium ist beispielsweise wegen mangelnder Lagerfähigkeit eine Bevorratung unmöglich, von einer FuE-Stärkung dürfte jedoch die Entwicklung von Substitutionsmöglichkeiten wie bspw. bei Batterien profitieren. Bei Seltenen Erden ist zwar eine hohe Marktkonzentration und große Marktmacht Chinas auf den frühen Stufen der Wertschöpfungskette zu verzeichnen. Zugleich fehlen die Weiterverarbeitungskapazitäten im Inland, denen eine stärkere Importdiversifizierung zugutekommen würde. Letzteres ist eher relevant für weiter verarbeitete, Seltener-Erd-haltige Güter, bei denen die Importe risikobehaftet sind. Unbenommen davon bleibt, bei Rohstoffen für als besonders kritisch eingeschätzte Technologien, gezielt die Versorgungssicherheit in den Blick zu nehmen. Die Informationserfordernisse hinsichtlich der künftigen Entwicklung von Angebot und Nachfrage einschließlich technologischer Weiterentwicklungen sind jedoch sehr hoch, sodass auch hier eine gewisse Rohstoff- und Technologieoffenheit wünschenswert ist.

### Risikomindernde Faktoren stärken

Mittlerweile liegen eine Reihe von Vorschlägen vor, um die Rohstoffsicherheit in der EU und Deutschland zu erhöhen, sodass hier einige ausgewählte Aspekte betrachtet werden. Aus der bisherigen Analyse ergibt sich als erster Ansatzpunkt grundsätzlich eine Stärkung der risikomindernden Faktoren durch Verbrauchsminderung bei Primärrohstoffen. Dies ließe sich durch eine stärkere Nutzung von Sekundärrohstoffen, eine Substitution der kritischen Rohstoffe sowie eine

effizientere Produktion erreichen. Im Hinblick auf die drei hier betrachteten Rohstoffe lassen sich dazu folgende Überlegungen festhalten:

- Die Verfügbarkeit von Sekundärrohstoffen und Recycling ist bei Kupfer schon ausgeprägt, ein substanzieller Teil der Versorgung wird damit bestritten. Für Lithium und Seltene Erden spielen Sekundärrohstoffe momentan in Europa keine substanzielle Rolle. Für Lithium ist entsprechendes Potenzial bei Batterien vorhanden, sodass ihr Recycling im industriellen Maßstab aktuell erprobt und aufgebaut wird. Bei Seltenen Erden hingegen befinden sich entsprechende Projekte im Pilot- und Demonstrationsstadium.
- Die Substitution der Rohstoffe setzt sowohl die technische Möglichkeit als auch eine entsprechende Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit der Substitute voraus. Kupfer kann – in bestimmten Verwendungen – durch Aluminium, Titan, Stahl, Glasfaser oder Plastik ersetzt werden.<sup>64</sup> In elektrischen Anwendungen ist ein Ersatz durch Silber unwirtschaftlich, aber Aluminium wird schon jetzt bei der Übertragung und Verteilung von Elektrizität verwendet.<sup>65</sup> Lithium lässt sich potenziell durch Kalzium, Magnesium, Quecksilber oder Zink ersetzen. In den entsprechenden Batterien gilt Lithium bislang wegen der Anforderungen des Mobilitätssektors als nicht-substituierbar.<sup>66</sup> In bestimmten Bereichen lassen sich jedoch Natrium-Ionen-Batterien einsetzen. Bei Seltenen Erden sind die bestehenden Substitutionsmöglichkeiten sowohl was die Rohstoffe als auch die Technologien angeht mit Leistungseinbußen verbunden.<sup>67</sup>
- Zwar wurden für Lithium und Seltene Erden schon eine weitgehende Effizienz festgestellt. Aufgrund der aktiven Forschung und Entwicklung im Bereich der Zukunftstechnologien ist jedoch nicht auszuschließen, dass es zu alternativen Anwendungen und technologischen Weiterentwicklungen kommt.

Aspekte hinsichtlich eines verminderten Einsatzes von Primärrohstoffen profitieren sowohl von der Grundlagenforschung als auch von angewandter FuE und damit einer entsprechenden Forschungsförderung durch den Staat. Auch die Material- und Rohstoffeffizienz wird schon durch das Bundesumweltministerium gefördert (z. B. ProgRessIII: BMUV, 2020). Der Auf- und Ausbau von Recyclingsystemen ist hingegen rohstoffspezifisch und eine staatliche Unterstützungsfunktion wird in den Bereichen Koordinierung zwischen den Unternehmen, Aufbau der Sammelformenstruktur oder begleitender Normensetzung bei Rücknahme- oder Rückgabepflichten gesehen.

### Bezugsquellen erweitern

Eine Verminderung der Importrisiken lässt sich grundsätzlich durch eine Diversifizierung der Anbieter erreichen und durch Lagerhaltung unterstützen. Für Kupfer, Lithium und Seltenen Erden wurde vor allem die hohe Anbieterkonzentration als Risikoquelle identifiziert. Zugleich ist festzuhalten, dass Deutschland die kritischen Rohstoffe, die in mindestens fünf Schlüsseltechnologien zum Einsatz kommen und zugleich eine hohe Marktkonzentration aufweisen, mit Ausnahme Seltenen Erden von mindestens vier der fünf größten Exporteure weltweit bezieht, was unter den aktuellen Bedingungen eine vergleichsweise hohe Diversifizierung darstellt.<sup>68</sup> Trotzdem ist jedes Unternehmen angehalten zu überprüfen, ob seine Lieferanten hinreichend diversifiziert sind. Hierbei sind auch Kostenaspekte – Koordinierungsaufwand, höhere Preise bei

niedrigeren Abnahmemengen – zu berücksichtigen, die gegen die erwarteten Ertragseinbußen eines Angebotschocks abzuwägen sind.

Eine Erweiterung der Diversifizierungsmöglichkeiten würde auch eine Förderung und Aufbau der zugehörigen Weiterverarbeitung von Primärrohstoffen in Deutschland oder Europa darstellen. Zudem würde das Länderrisiko entfallen, welches einen Teil der Angebotsrisiken erklärt. Entsprechende Ansätze sind z. B. die Pläne für eine Lithiumförderung aus Tiefenwasser im Oberrheingraben<sup>69</sup>, die Pläne, Lithiumvorkommen im Erzgebirge abzubauen<sup>70</sup>, die Exploration von Kupfervorkommen in der Lausitz<sup>71</sup>, oder die Funde von Selten-Erd-Vorkommen in Schweden.<sup>72</sup> Allerdings sind der lange Zeithorizont, die Kapitalintensität und Wettbewerbsfähigkeit der Produktion, die Umweltbelastungen und die Akzeptanz vor Ort zu berücksichtigen. Eine explizit staatliche Aufgabe in diesem Bereich wäre die Schaffung günstiger Rahmenbedingungen. Bei der Bevorzugung als Ansatz zur Erweiterung der verfügbaren Vorräte müssen die technologische Machbarkeit und der weitere Lebenszyklus des jeweiligen Rohstoffs berücksichtigt werden.

#### **Günstige Rahmenbedingungen als staatliche Aufgabe**

Wie auch in anderen Bereichen des Wirtschaftens ist der Staat insbesondere gefordert, die Rahmenbedingungen günstig auszugestalten. Dies gilt zunächst für die Bedingungen im Inland. Bei der Sicherstellung der Rohstoffversorgung betrifft dies jedoch auch die internationalen Beziehungen mit den Herkunftsländern der Primärrohstoffe und weiter verarbeiteten Produkte. Bei der internationalen Zusammenarbeit zwischen Staaten gilt dabei für Maßnahmen der Außenhandelspolitik der Primat der EU. Bei den Rohstoffabkommen und -partnerschaften hat Deutschland schon Abkommen mit Kasachstan, der Mongolei und Peru geschlossen sowie Rohstoffkooperationen mit Australien, Chile, Ghana und Kanada vereinbart. Das gestiegene Bewusstsein für geoökonomische Risiken bei der Rohstoffversorgung findet seinen Ausdruck in der China-Strategie der Bundesregierung, die ebenfalls auf Rohstoffpartnerschaften eingeht und explizit auch auf Weiterverarbeitungskapazitäten im Förderland abstellt.

Sowohl die unternehmensspezifischen Maßnahmen als auch die staatliche Unterstützung setzen hinreichende Informationen über die globale Rohstoffsituation, die Importe und die Liefer- und Wertschöpfungsketten der Unternehmen voraus. Bei den Produktionsverflechtungen geht der Informationsbedarf über die unmittelbaren Zulieferer hinaus, da sich Schocks innerhalb der Wertschöpfungsketten ausbreiten können. Ebenso sind wirtschaftliche Verflechtungen mit dem Ausland über die gesamte Wertschöpfungskette relevant, wie die Analyse der gefährdeten Importe gezeigt hat. Darüber hinaus ist eine Bewertung der Risiken notwendig. Dies ist gerade im aktuellen Umfeld geopolitischer und -ökonomischer Veränderungen für die Bewertung von Ländern eine Herausforderung. Für kleine und mittlere Unternehmen fallen dabei die Fixkosten der Informationsbeschaffung und -bewertung besonders ins Gewicht, vor allem wenn sie über die direkten Zulieferer hinausgehen. Ein Bewusstsein für die Länderrisiken entlang der

Wertschöpfungskette zu stärken und Informationsangebote auszubauen, kann sich durchaus als nützlich erweisen und dabei helfen, die Risikoeinschätzung von Unternehmen und Gesellschaft anzugleichen.

#### **Ausblick**

In Deutschland sind Sorgen um die Rohstoffversorgung und ihre langfristige Sicherung ein altbekanntes Phänomen. Neue Dringlichkeit erhält die Rohstoffsicherheit jedoch durch die duale Transformation, deren zügiger Fortschritt die Versorgung mit mineralischen Rohstoffen besonders herausfordert. Hinzu kommen die geoökonomischen Veränderungen und die stärkere Betonung des Sicherheitsaspekts bei außenwirtschaftlichen Verflechtungen, wodurch die Länderrisiken bei der Rohstoffversorgung neu bewertet werden.

Die hier untersuchten mineralischen Rohstoffe Kupfer, Lithium und Seltene Erden und ihre Weiterverarbeitung entlang der gesamten Wertschöpfungskette sind für Bruttowertschöpfung und Beschäftigung im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands – wenn auch in unterschiedlichem Ausmaß – relevant. Dies zeigt sich insbesondere in der Branchenbetrachtung, wobei sich der gemessen an der Bruttowertschöpfung größte Wirtschaftszweig des Verarbeitenden Gewerbes, die Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen, als besonders abhängig von den drei betrachteten Rohstoffen erweist.

Die Risiken bei der Versorgung mit Rohstoffen und rohstoffhaltigen Produkte ergeben sich dabei insbesondere aus der Konzentration der Anbieter. Ansätze zur Diversifizierung der Handelspartner stehen daher auch zukünftig im Zentrum strategischer Maßnahmen für Resilienz der Rohstofflieferketten. Zugleich sind die Risikoprofile und risikomindernden Faktoren für eine Sicherstellung der Rohstoffversorgung für jeden der Rohstoffe unterschiedlich. Entsprechend wäre das Augenmerk auch eher auf einen ausgewogenen Maßnahmenkatalog als ein einzelnes Instrument zu richten. Dieser wäre so auszugestalten, dass er Unternehmen auf unterschiedlichen Stufen der Wertschöpfungskette für verschiedene Rohstoffe bei einem verantwortungsvollen Umgang mit Versorgungsrisiken hilft und zur Reduzierung dieser Risiken beiträgt. Ein Beispiel für ein übergreifendes Instrument ist dabei die Unterstützung des technischen Fortschritts, der im Bereich der Substitution oder Materialeffizienz wirksam werden kann. Günstige und stabile Rahmenbedingungen schließlich stellen die Weichen für private Investitionen in resiliente und zukunftsorientierte Rohstofflieferketten.

**Folgen Sie KfW Research auf Twitter/X:**

<https://twitter.com/KfW>

**Oder abonnieren Sie unseren kostenlosen E-Mail-Newsletter, und Sie verpassen keine Publikation:**

[https://www.kfw.de/%C3%9Cber-die-KfW/Service/KfW-Newsdienste/Newsletter-Research-\(D\)/index.jsp](https://www.kfw.de/%C3%9Cber-die-KfW/Service/KfW-Newsdienste/Newsletter-Research-(D)/index.jsp)

<sup>1</sup> Ullrich, K. (2023), Schocks, Abhängigkeiten und Trends – Überlegungen zu den internationalen Produktionsverflechtungen. Fokus Volkswirtschaft Nr. 428, KfW Research.

<sup>2</sup> OECD Working Party of the Trade Committee (2023), Raw materials critical for the green transition: Production, international trade and export restrictions, TAD/TC/WP(2022)12/FINAL.

- <sup>3</sup> Financial Times, China bans export of rare earth processing technologies, 21. Dez 2023, abgerufen über ft.com
- <sup>4</sup> Jägeler, F. -J. (1974), Dependence on foreign raw materials, *Intereconomics*, ISSN 0020-5346, Verlag Weltarchiv, Hamburg, Vol. 09, Iss. 4, pp. 124–126, <https://doi.org/10.1007/BF02927323>
- <sup>5</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2010), Rohstoffstrategie der Bundesregierung - Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nicht-energetischen mineralischen Rohstoffen.
- <sup>6</sup> Shiquan, D. und Xu Deyi (2022), The security of critical mineral supply chains, *Mineral Economics*, <https://doi.org/10.1007/s13563-022-00340-4>
- <sup>7</sup> EIA (2022), The Role of Critical World Energy Outlook Special Report Minerals in Clean Energy Transitions; Flach et al. (2022), How Dependent Is Germany on Raw Material Imports? An Analysis of Inputs to Produce Key Technologies; Shiwei Yu, Haoran Duan, Jinhua Cheng (2021), An evaluation of the supply risk for China's strategic metallic mineral resources, *Resources Policy* 70; Vbw, 2022, Rohstoffsituation der bayerischen Wirtschaft, Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V., online; DERA – Deutsche Rohstoffagentur in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2023): DERA-Rohstoffliste 2023. – DERA Rohstoffinformationen 56: 122 S., Berlin; Menkhoff, L. und M. Zeevaert (2022), Germany can increase its raw material import security of supply, *DIW Weekly Report* 49+50/2022. Ein früher Überblick findet sich bei Erdmann, L. und T. E. Graedel (2011), The Criticality of Non-Fuel Minerals: A Review of Major Approaches and Analyses, *Environ. Sci. Technol.* 2011, 45, 18, 7620–7630.
- <sup>8</sup> Europäische Kommission (2023), Study on the EU's list of Critical Raw Materials – Final Report.
- <sup>9</sup> Für die ökonomische Bedeutung inkl. ökonomischer Substitutionsmöglichkeiten werden folgende Werte ermittelt: Kupfer 4 Punkte, Schwere Seltene Erden 4,2 Punkte, Lithium 3,9 Punkte, Leichte Seltene Erden 5,9 Punkte. Die kritische Grenze ist bei 2,8 Punkten gesetzt. Europäische Kommission (2023), Study on the EU's list of Critical Raw Materials – Final Report.
- <sup>10</sup> IMF (2022), *World Economic Outlook: War Sets Back the Global Recovery*. Washington, DC, April, Chapter 4, Global Trade and Value Chains during the Pandemic.
- <sup>11</sup> OECD Working Party of the Trade Committee (2023), Raw materials critical for the green transition: Production, international trade and export restrictions, TAD/TC/WP(2022)12/FINAL.
- <sup>12</sup> EIA (2022), The Role of Critical World Energy Outlook Special Report Minerals in Clean Energy Transitions.
- <sup>13</sup> Fraunhofer Institut für Bauphysik (o.J.), Material- und Stoffstromanalysen - Versorgungsketten auf den Grund gehen, <https://www.ibp.fraunhofer.de/de/kompetenzen/ganzheitliche-bilanzierung/methoden-ganzheitliche-bilanzierung/material-stoffstromanalysen.html>, Zugriff: 30.08.2023.
- <sup>14</sup> In seltenen Fällen umfasst eine Produktklasse sowohl rohstoffhaltige als auch nicht rohstoffhaltige Produkte. Dann wird die Klasse dennoch als rohstoffrelevant eingestuft, was zu einer leichten Überschätzung der Effekte führen kann. Siehe Bähr, C. et al. (2024), Kritisch für die Wertschöpfung – Rohstoffabhängigkeit der deutschen Wirtschaft, Studie für die KfW Bankengruppe, erstellt von IW Consult und Fraunhofer Institut für System und Innovationsforschung. KfW Research.
- <sup>15</sup> Leruth, L. et al. (2022), Green Energy Depends on Critical Minerals. Who Controls the Supply Chains?, *PIIE Working Paper* Nr. 22-12.
- <sup>16</sup> Basierend auf der Vierteljährlichen Produktionserhebung im Verarbeitenden Gewerbe werden in der Studie unter Annahme, dass für die identifizierten Gütergruppen die Wertschöpfungs- und Beschäftigungsintensität der jeweils übergeordneten Branche gelten, Beschäftigung und Wertschöpfung ermittelt. Siehe Bähr, C. et al. (2024), Kritisch für die Wertschöpfung – Rohstoffabhängigkeit der deutschen Wirtschaft, Studie für die KfW Bankengruppe, erstellt von IW Consult und Fraunhofer Institut für System und Innovationsforschung. KfW Research.
- <sup>17</sup> Statistisches Bundesamt (destatis), VGR des Bundes – Bruttowertschöpfung (nominal/preisbereinigt): Deutschland, Jahre, Wirtschaftsbereiche, Zugriff: 11.08.2023; eigene Berechnungen.
- <sup>18</sup> IW Consult (2021), Bedeutung unternehmensnaher Dienstleistungen für den Industriestandort Deutschland/Europa, IC4-23305/003#054, Projekt 054/19.
- <sup>19</sup> Statistisches Bundesamt (destatis), VGR des Bundes - Bruttowertschöpfung (nominal/preisbereinigt): Deutschland, Jahre, Wirtschaftsbereiche, Zugriff: 11.08.2023; eigene Berechnungen.
- <sup>20</sup> Statistisches Bundesamt (destatis), VGR des Bundes - Verwendung des Bruttoinlandsprodukts, Zugriff: 11.08.2023; eigene Berechnungen.
- <sup>21</sup> Der Produktionswert ist der Gesamtwert der im Produktionsprozess erzeugten Waren und Dienstleistungen inkl. der Vorleistungen, siehe Glossar des Statistischen Bundesamtes (o.J.): [Bruttowertschöpfung: Produzierendes Gewerbe - Statistisches Bundesamt \(destatis.de\)](https://www.destatis.de/DE/Presseportal/Neuerscheinungen/Wirtschaft/Wirtschaftsbereiche/Produktion/Produktion.html)
- <sup>22</sup> Menkhoff, L. und M. Zeevaert (2022), Germany can increase its raw material import security of supply, *DIW Weekly Report* 49+50/2022.
- <sup>23</sup> Europäische Kommission (2023), Study on the EU's list of Critical Raw Materials – Final Report. Importabhängigkeit berechnet als Verhältnis von Nettoimporten zur Summe aus heimischer Produktion und Nettoimporten. Für raffiniertes Kupfer beträgt die Importabhängigkeit der EU 16 %. Siehe dazu RMIS – Raw Materials Information System (europa.eu)
- <sup>24</sup> Le Mouel, M. und N. Poitiers (2023), Why Europe's critical raw materials strategy has to be international, *Bruegel Analysis Global Economy and Trade*.
- <sup>25</sup> Im Jahr 2022 betrug der Anteil der Niederlande am Wert der Importe Deutschlands 8 % und lag damit zwischen China und den USA. Quelle: Statistisches Bundesamt (destatis), Aus- und Einfuhr (Außenhandel): Deutschland, Jahre, Länder, Stand: 11.08.2023; eigene Berechnungen.
- <sup>26</sup> Flach, L. et al. (2021), Internationale Wertschöpfungsketten – Reformbedarf und Möglichkeiten, ifo Studie im Auftrag der Konrad-Adenauer-Stiftung e.V.
- <sup>27</sup> Zenglein, M.J. (2020), Mapping and Recalibrating Europe's Economic Interdependence with China, *MERICs China Monitor*.
- <sup>28</sup> Sandkamp, A. et al. (2023), Leere Regale made in China: Wenn China beim Handel mauert, *Kiel Policy Brief* Nr. 164.
- <sup>29</sup> Arjona, R. et al. (2023), An enhanced methodology to monitor the EU's strategic dependencies and vulnerabilities, *Single Markets Economics Papers, Working Paper* 14.
- <sup>30</sup> Brüggemann, A. und H. Levinger (2022), Rohstoffbedarf und-sicherheit in Zeiten der grünen und digitalen Transformation, *Fokus Volkswirtschaft* Nr. 399, KfW Research.
- <sup>31</sup> International Energy Agency (2023), *Critical Minerals Market Review 2023*, Juli 2023. Daten abgerufen über: [Critical Minerals Data Explorer – Data Tools - IEA](https://www.iea.org/tools/critical-minerals-data-explorer)
- <sup>32</sup> BP Statistical Review of World Energy 2023.
- <sup>33</sup> DERA Rohstoff-Trends Q3 2023, abgerufen über: [rohstoff-trends\\_03-23.pdf \(deutsche-rohstoffagentur.de\)](https://www.dera.de/Dateien/rohstoff-trends_03-23.pdf)
- <sup>34</sup> Schmidt, M. (2023): Rohstoffrisikobewertung – Lithium, DERA Rohstoffinformationen 54: 81 S., Berlin.
- <sup>35</sup> Alves Dias, P., Bobba, S., Carrara, S. and Plazzotta, B., The role of rare earth elements in wind energy and electric mobility, EUR 30488 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-27016-4, doi:10.2760/303258, JRC122671.
- <sup>36</sup> Die Angebots- und Nachfrageentwicklung fällt je nach Selten-Erd-Element recht unterschiedlich aus. Da die Elemente gemeinsam abgebaut werden müssen, entsteht bisweilen eine Überproduktion an den Elementen Lanthan und Cer. Der prognostizierte Nachfragezuwachs erwächst vor allem aus dem erhöhten Bedarf an Dysprosium (Magnete) sowie der vielseitig einsetzbaren Elemente Neodym, Praseodym und Terbium.
- <sup>37</sup> U.S. Geological Survey (2022), Mineral commodity summaries 2022, 202 S., <https://doi.org/10.3133/mcs2022>.
- <sup>38</sup> Zieht man undokumentierte Produktion hinzu, ist der Anteil Chinas auch an der Bergbauproduktion höher – laut IEA (2023) ca. 63 % im Jahr 2019 und 68 % im Jahr 2022.

- <sup>39</sup> World Mining Data (2023), Federal Ministry Republic of Austria Finance, International Organizing Committee for the World Mining Congress.
- <sup>40</sup> Dörner, U. (2020), Rohstoffrisikobewertung – Kupfer, DERA Rohstoffinformationen 45: 58 S.; Berlin
- <sup>41</sup> Basierend auf HS-Code 2603: Kupfererze und ihre Konzentrate, ITC Trademap, eigene Berechnungen.
- <sup>42</sup> Auch Geothermie kommt als Möglichkeit zur Sole-Gewinnung in Betracht. Dabei wird die lithiumreiche Sole an die Oberfläche gepumpt. Diese Form wird in zahlreichen Pilotprojekten in den USA sowie in Europa stark vorangetrieben, eine Primärgewinnung in Europa existiert hingegen noch nicht. Siehe Bundesverband Geothermie: Lithium Extraktion
- <sup>43</sup> Lithium kann auch in Verbindung mit Ton in Sedimentablagerungen vorkommen (China, Russland, USA),
- <sup>44</sup> Schmidt, M. (2023): Rohstoffrisikobewertung – Lithium, DERA Rohstoffinformationen 54: 81 S., Berlin.
- <sup>45</sup> Für die Produktgruppen Lithiumhydroxid/oxid werden seit 2007 aufgrund eines Sperrvermerks keine Importzahlen angegeben. Betrachtet man die Exporte anderer Länder nach Deutschland, so waren 2021 die Niederlande, Belgien und USA die wichtigsten Zulieferer – die ersten beiden hauptsächlich als Transitland.
- <sup>46</sup> Ohne Skandium-Produktion. U.S. Geological Survey, 2023, Mineral commodity summaries 2023: U.S. Geological Survey, 210 p., <https://doi.org/10.3133/mcs2023>. DERA Infomaterial Seltene Erden (2022); DERA, Rohstoff Seltene Erden, Infomaterial, abgerufen über: [BGR – Deutsche Rohstoffagentur – Seltene Erden \(bund.de\)](https://www.bgr.bund.de/BGR-Deutsche-Rohstoffagentur-Seltene-Erden)
- <sup>47</sup> Matthes, J. (2023), Wie ist der starke Importanstieg aus China im Jahr 2022 zu erklären und wie haben sich die Importabhängigkeiten entwickelt?, Ein tiefer Blick in die Außenhandelsstatistik, IW-Report 34/2022.
- <sup>48</sup> Dörner, U. (2020), Rohstoffrisikobewertung – Kupfer, DERA Rohstoffinformationen 45: S. 58; Berlin.
- <sup>49</sup> Bloomberg, China's Battery Supply Chain Tops BNEF Ranking for Third Consecutive Time, with Canada a Close Second, 12. Nov 2022, abgerufen über: NEF's lithium-ion supply chain rankings.
- <sup>50</sup> Grundlage ist die Warenkategorie HS 8507.60. Siehe Schmidt, M. (2023): Rohstoffrisikobewertung – Lithium, DERA Rohstoffinformationen 54: 81 S., Berlin.
- <sup>51</sup> Financial Times, Peru unrest threatens copper supply, 8 Feb. 2023, abgerufen über: Peru unrest threatens copper supply | Financial Times (ft.com).
- <sup>52</sup> Bloomberg, Chile wants to boost local copper smelting capacity. 20. Juli 2023, abgerufen über: [Chile Wants to Boost Local Copper Smelting Capacity to Rely Less on Asian Plants - Bloomberg](https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-07-20-chile-wants-to-boost-local-copper-smelting-capacity-to-rely-less-on-asian-plants).
- <sup>53</sup> Schmidt, M. (2023), Rohstoffrisikobewertung – Lithium, DERA Rohstoffinformationen 54: 81 S., Berlin.
- <sup>54</sup> Der Versuch, im Rahmen des Programms „Invest Chile“ die Ansiedlung von Firmen in höheren Wertschöpfungsstufen zu fördern, führte zu keinen nennenswerten Investitionen. Siehe: Osbahr, I. et al. (2023): Kooperationspotenziale für deutsche Unternehmen im chilenischen Rohstoffsektor, DERA Rohstoffinformationen 55: 60 S., Berlin
- <sup>55</sup> Lubuzh, P. et al (2023), Water Supply for Mining Industry – The Chile Case; Arthur Little.
- <sup>56</sup> Osbahr, I. et al. (2023): Kooperationspotenziale für deutsche Unternehmen im chilenischen Rohstoffsektor, DERA Rohstoffinformationen 55: 60 S., Berlin. S. 28.
- <sup>57</sup> Gielen, D. and M. Lyons (2022), Critical materials for the energy transition: Lithium, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- <sup>58</sup> Dörner, U. (2020), Rohstoffrisikobewertung – Kupfer, DERA Rohstoffinformationen 45: 58 S.; Berlin.
- <sup>59</sup> Bedarfsdeckung wird in deutlich mehr als 10 Jahren erwartet. Bähr, C. et al. (2024), Kritisch für die Wertschöpfung – Rohstoffabhängigkeit der deutschen Wirtschaft, Studie für die KfW Bankengruppe, erstellt von IW Consult und Fraunhofer Institut für System und Innovationsforschung.
- <sup>60</sup> Azevedo, M. et al. (2022), Lithium mining: How new production technologies could fuel the global EV revolution, McKinsey&Company.
- <sup>61</sup> Gielen, D. und M. Lyons (2022), Critical materials for the energy transition: Lithium, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- <sup>62</sup> IEA (2022), The Role of Critical World Energy Outlook Special Report Minerals in Clean Energy Transitions
- <sup>63</sup> Mineral requirements for clean energy transitions – The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions – Analysis - IEA
- <sup>64</sup> Vbw, 2023, Rohstoffsituation der bayerischen Wirtschaft, Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V., online.
- <sup>65</sup> Mineral requirements for clean energy transitions – The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions – Analysis - IEA
- <sup>66</sup> Allerdings ist in China nun die Produktion von Elektroautos mit Natrium-Ionen-Batterie in Serie gegangen. Focus (2023), [Kann nicht brennen: Chinesen bringen neues E-Auto mit Natrium-Akku – FOCUS online](https://www.focus.de), 4.1.2024, abgerufen am 8.1.2024.
- <sup>67</sup> Vbw, 2022, Rohstoffsituation der bayerischen Wirtschaft, Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V., online
- <sup>68</sup> Flach et al. (2022), How Dependent Is Germany on Raw Material Imports? An Analysis of Inputs to Produce Key Technologies.
- <sup>69</sup> <https://v-er.eu/de/europa-im-fokus/> [23.06.2023]
- <sup>70</sup> <https://www.zinnwaldlithium.com/projects/zinnwald-lithium-project/>
- <sup>71</sup> <https://www.rbb24.de/studiocottbus/wirtschaft/2023/03/brandenburg-spremeberg-kupfer-abbau-start-raumordnungsverfahren-kupfererz.html>
- <sup>72</sup> <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/seltene-erden-schweden-china-energie-batterien-1.5730985>