

# Kritisch für die Wertschöpfung – Rohstoffabhängigkeit der deutschen Wirtschaft

Studie für die KfW Bankengruppe

01.03.2024



Studie

## Impressum

© 2024

### **Auftraggeber**

KfW Bankengruppe  
KfW Research  
Palmengartenstraße 5-9  
60325 Frankfurt am Main

### **Auftragnehmer**

IW Consult GmbH  
Konrad-Adenauer-Ufer 21  
50668 Köln  
Tel.: +49 221 49 81-758  
[www.iwconsult.de](http://www.iwconsult.de)

Fraunhofer Institut für System und Innovationsforschung  
Breslauer Straße 48  
76139 Karlsruhe  
Tel.: +49 721 6809-0  
[www.isi.fraunhofer.de](http://www.isi.fraunhofer.de)

### **Autoren**

IW Consult GmbH  
Cornelius Bähr  
Manuel Fritsch  
Dr. Hilmar Klink  
Fabian Meeßen  
Benita Zink

Fraunhofer Institut für System und Innovationsforschung  
Dr. Denis Stijepic  
Dr. Luis Tercero Espinoza

Bearbeitungszeitraum: 23.11.2022 bis 22.09.2023

Bildnachweise

Titelseite: Trialhuni, [www.shutterstock.com](http://www.shutterstock.com)

# Inhalt

<b>Executive Summary</b> .....	<b>8</b>
<b>Executive Summary (english)</b> .....	<b>14</b>
<b>1 Fragestellung und Vorgehen</b> .....	<b>20</b>
<b>2 Risiken bei der Versorgung mit ausgewählten Rohstoffen für Deutschland</b> .....	<b>22</b>
2.1 Überblick über den globalen Markt.....	23
2.1.1 Kupfer.....	26
2.1.2 Lithium .....	30
2.1.3 Seltene Erden.....	33
2.2 Deutschland: Lieferbeziehungen und Risiken.....	37
2.2.1 Kupfer.....	38
2.2.2 Lithium .....	41
2.2.3 Seltene Erden.....	42
2.3 Determinanten des Angebotsrisikos, der Kritikalität sowie Substituierbarkeit .....	44
2.4 Zusammenfassende Betrachtung der Marktsituation.....	46
2.4.1 Kupfer.....	46
2.4.2 Lithium .....	47
2.4.3 Seltene Erden.....	47
<b>3 Abhängigkeit von Produktionsbereichen</b> .....	<b>48</b>
3.1 Kupfer .....	51
3.1.1 Wirtschaftliche Bedeutung von Kupfer in Deutschland.....	51
3.1.2 Angebotschock: Auslöser, Wahrscheinlichkeit, Auswirkungen.....	56
3.2 Lithium .....	59
3.2.1 Wirtschaftliche Bedeutung von Lithium in Deutschland .....	59
3.2.2 Angebotschock: Auslöser, Wahrscheinlichkeit, Auswirkungen.....	64
3.3 Seltene Erden.....	68
3.3.1 Wirtschaftliche Bedeutung von Seltenen Erden in Deutschland.....	68
3.3.2 Angebotschock: Auslöser, Wahrscheinlichkeit, Auswirkungen.....	74
3.4 Abhängigkeiten und Risikofaktoren der Rohstoffe im Vergleich.....	78
<b>4 Ansätze zur Sicherung der Rohstoffversorgung</b> .....	<b>81</b>
4.1 Problemlage.....	81
4.1.1 Kupfer.....	81
4.1.2 Lithium .....	81

4.1.3	Seltene Erden .....	82
4.2	Maßnahmen.....	82
4.2.1	Primärrohstoffverbrauch vermindern .....	84
4.2.2	Importrisiken bei Rohstoffen und Vorprodukten.....	87
4.2.3	Rahmenbedingungen für die inländische Rohstoffgewinnung.....	91
<b>5</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>93</b>
5.1	Datengrundlagen .....	93
5.2	Methoden .....	94
5.3	Teilnehmer an Interviews und Workshops.....	97
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>98</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Globale Verteilung der identifizierten Kupferressourcen .....	26
Abbildung 2-2: Vereinfachte Darstellung der Kupfermetallwertschöpfungskette .....	27
Abbildung 2-3: Globale Verteilung der Kupferproduktion im Jahr 2020 .....	28
Abbildung 2-4: Globale Verteilung der Nachfrage nach (Raffinade-)Kupfer.....	29
Abbildung 2-5: Globale Verteilung der identifizierten Lithiumressourcen .....	30
Abbildung 2-6: Vereinfachte Darstellung der Lithiumwertschöpfungskette .....	31
Abbildung 2-7: Globale Verteilung der Lithiumproduktion (Bergbau).....	32
Abbildung 2-8: Globale Verteilung der Nachfrage nach Lithium .....	33
Abbildung 2-9: Globale Verteilung der identifizierten Selten-Erd-Ressourcen.....	34
Abbildung 2-10: Vereinfachte Darstellung der Selten-Erd-Wertschöpfungskette.....	34
Abbildung 2-11: Globale Verteilung der Selten-Erd-Produktion (Bergbau).....	35
Abbildung 2-12: Globale Verteilung der Nachfrage nach Seltenen Erden .....	36
Abbildung 2-13: Durchschnittliche jährliche Kupferimporte nach Deutschland .....	39
Abbildung 2-14: Durchschnittliche jährliche Lithiumcarbonatimporte nach Deutschland.....	41
Abbildung 2-15: Durchschnittliche jährliche Importe von Seltenen Erden nach Deutschland.....	43
Abbildung 3-1: Wirtschaftliche Kennzahlen der Wertschöpfungskette Kupfer 2022 .....	52
Abbildung 3-2: Abhängigkeit der Branchen von Kupfer im Jahr 2022 .....	53
Abbildung 3-3: Importe kupferhaltiger Produkte im Jahr 2022 .....	54
Abbildung 3-4: Gefährdete kupferhaltige Importe und Lieferländer 2022.....	55
Abbildung 3-5: Wirtschaftliche Kennzahlen der Wertschöpfungskette Lithium 2022 .....	59
Abbildung 3-6: Abhängigkeit der Branchen von Lithium im Jahr 2022.....	61
Abbildung 3-7: Importe lithiumhaltiger Produkte im Jahr 2022 .....	62
Abbildung 3-8: Gefährdete lithiumhaltige Importe und Lieferländer 2022.....	63
Abbildung 3-9: Wirtschaftliche Kennzahlen der Wertschöpfungskette Seltene Erden 2022 .....	70
Abbildung 3-10: Abhängigkeit der Branchen von Seltenen Erden im Jahr 2022 .....	71
Abbildung 3-11: Importe selten-erd-haltiger Produkte im Jahr 2022.....	73
Abbildung 3-12: Gefährdete selten-erd-haltige Importe und Lieferländer 2022 .....	74
Abbildung 4-1: Schematische Übersicht über Maßnahmen zur Sicherung der Rohstoffversorgung ...	84
Abbildung 5-1: Stoffstromanalyse.....	95

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Ausprägung risikobegrenzender Faktoren in Bezug auf die Rohstoffabhängigkeit in Deutschland.....	80
Tabelle 5-1: Teilnehmer an Interviews und Workshop .....	97



# Executive Summary

Die deutsche Volkswirtschaft ist stark über Import- und Exportbeziehungen mit der Weltwirtschaft verknüpft. Die deutsche Industrie importiert dabei vielfach Rohstoffe und Vorprodukte und exportiert stärker verarbeitete Produkte. Gerade im Bereich der Metall- und Elektroindustrie weist Deutschland in den vergangenen Jahren hohe Außenhandelsüberschüsse auf.<sup>1</sup>

Durch die Verflechtungen besteht allerdings auch eine hohe Abhängigkeit der deutschen Wirtschaft von Lieferungen aus dem Ausland. Die Corona-Krise machte deutlich, wie stark Unterbrechungen des und Engpässe im internationalen Handel den Konsum und die Produktion in Deutschland einschränken können. Der Halbleitermangel in der Automobilindustrie ist hier nur ein besonders prominentes Beispiel. Auch der Krieg in der Ukraine, mit der Befürchtung einer Gasmangellage im Winter 2022/23 und ausgeprägten Preisspitzen an Rohstoffmärkten, z.B. für Erdgas, Rohöl, Ölprodukte oder Nickel, schärfte die Wahrnehmung für die Abhängigkeit der deutschen Wirtschaft von internationalen Lieferbeziehungen und für die damit verbundenen Risiken. Neben der hohen Importabhängigkeit, die bei Rohstoffen und einigen anderen Vorleistungen besteht, kann risikosteigernd auch eine hohe Konzentration auf wenige Lieferländer hinzutreten.

Die duale Transformation der Wirtschaft durch Dekarbonisierung und Digitalisierung verändert nun die Struktur der Rohstoffnachfrage weg von fossilen Energieträgern hin zu mineralischen Rohstoffen, bei denen es teilweise global zu deutlichen Nachfragesteigerungen kommen wird. In der vorliegenden Studie wird die Abhängigkeit der deutschen Wertschöpfung von Rohstoffen anhand von drei Beispielen betrachtet. Kupfer, Lithium und die Rohstoffgruppe der Seltenen Erden spielen eine wichtige Rolle für das Gelingen der dualen Transformation. Kupfer ist wegen seiner elektrischen Leitfähigkeit ein zentraler Bestandteil von elektrischen Anwendungen aller Art. Lithium und die Seltenen Erden spielen durch ihre Verwendung in Batterien und Motoren eine große Rolle für die E-Mobilität, werden aber auch in vielen mobilen Digitalisierungsanwendungen, wie Smartphones oder Laptops, eingesetzt.

---

<sup>1</sup> Vgl. z.B. Bähr et al. (2022).



### Versorgungsrisiken mit Rohstoffen

Zur Beurteilung der Versorgungssituation mit den ausgewählten Rohstoffen wurden die Vorkommen und die Produktion auf globaler Ebene sowie die Importbeziehungen Deutschlands detailliert analysiert. Es ergibt sich daraus ein differenziertes Bild für die drei Rohstoffe.

#### Kupfer

- ▶ Die globalen identifizierten Kupfervorkommen befinden sich zu rund 60 Prozent in Nord- und Südamerika. Nur sechs Prozent entfallen auf Europa. Die Kupferproduktion findet beim Bergbau zu rund 40 Prozent in Chile und Peru statt. Jeweils rund acht Prozent entfallen auf China und die Demokratische Republik Kongo. Die Raffination von Kupfer ist mit einem Anteil von 40 Prozent stärker auf China konzentriert, Chile folgt mit einem Anteil von neun Prozent. Das Angebotsrisiko bei Kupfer wird in verschiedenen Studien (DERA 2021; vbw 2022; Europäische Kommission 2023b) als niedrig bis mäßig eingestuft. Eine höhere Kritikalität oder strategische Relevanz ergibt sich aus der Bedeutung für elektrische Anwendungen und Zukunftstechnologien sowie den geringen Substitutionsmöglichkeiten in diesen Anwendungen. Aus diesen Überlegungen heraus wird allgemein auch ein hohes Nachfragewachstum nach Kupfer prognostiziert, dessen wichtigste Treiber die Produktion von Elektroautos und der Ausbau der Stromnetze im Zusammenhang mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien sind.
- ▶ Deutschland bezieht Kupfererze und -konzentrate zu rund zwei Dritteln aus Peru, Chile und Brasilien. Raffiniertes Rohkupfer stammte im Zeitraum von 2016 bis 2020 zu 27 Prozent aus Russland und zu insgesamt 46 Prozent aus den EU-Ländern Polen, Finnland, Belgien und Schweden. Sowohl die Länderrisiken als auch die Länderkonzentrationen sind niedrig bis mäßig. Insgesamt ergibt sich daraus unter Einbeziehung der politischen und sozialen Risiken ein niedriges bis mäßiges Angebotsrisiko für Kupfererze und -konzentrate sowie Rohkupfer.

#### Lithium

- ▶ Die größten identifizierten Lithiumressourcen liegen mit knapp 60 Prozent in den drei lateinamerikanischen Ländern Bolivien, Argentinien und Chile. Dagegen war im Jahr 2020 Australien mit einem Anteil von 48 Prozent mit Abstand der größte Bergwerksproduzent, gefolgt von Chile (27 Prozent), China (15 Prozent) und Argentinien (7 Prozent). Dadurch wird zwar das gewichtete Länderrisiko der Bergwerksproduktion von der Deutschen Rohstoffagentur (DERA) (DERA 2021) als niedrig eingestuft, die Länderkonzentration ist aber hoch. In den Einstufungen von vbw (2022) und Europäischer Kommission (2023b) gilt Lithium als kritischer Rohstoff, insbesondere wegen der hohen wirtschaftlichen Bedeutung und der Bedeutung für Zukunftstechnologien. Lithium für die Batterieproduktion („battery grade“) wird von der Europäischen Union zudem als strategischer Rohstoff eingestuft.
- ▶ Deutschland bezieht Lithiumcarbonat zu fast drei Vierteln aus Chile und zu sechs Prozent aus Argentinien. Belgien firmiert zwar mit einem Anteil von zwölf Prozent als zweitgrößter Lieferant, bezieht aber selbst 94 Prozent des Lithiumcarbonats aus Chile. Dies stellt eine hohe Angebotskonzentration bei niedrigen Länderrisiken dar.

#### Seltene Erden

- ▶ Die identifizierten Selten-Erd-Ressourcen sind global relativ breit verteilt mit Anteilen von 35 Prozent in China, elf Prozent in Brasilien, jeweils zehn Prozent in Australien und Russland sowie neun Prozent in Grönland. Dagegen ist der Selten-Erd-Bergbau mit 57 Prozent in China, 16 Prozent in den USA, 13 Prozent in Myanmar sowie acht Prozent in Australien deutlich stärker konzentriert.

Entsprechend schätzt die DERA das Angebotsrisiko als hoch ein (DERA 2021). Vbw (2022) und Europäische Kommission (2023b) stufen die Seltenen Erden als kritische Rohstoffe ein. Neben den Angebotsrisiken spielen die wirtschaftliche Bedeutung sowie die Bedeutung für Zukunftstechnologien eine wichtige Rolle. Die Europäische Kommission stuft die Seltenen Erden zudem als strategische Rohstoffe ein.

- ▶ Die deutschen Importe von Seltenen Erden stammen zu 49 Prozent (frühe Gewinnungs- oder Verarbeitungsstufen) und 84 Prozent (weiterverarbeitete Zwischenprodukte) direkt aus China. Die Länderkonzentration dieser direkten Importe ist somit hoch. Indirekte Lieferbeziehungen können auf Basis der öffentlich verfügbaren Daten bei Seltenen Erden nicht nachvollzogen werden. Das Länderrisiko von China wird als mäßig eingestuft. Insgesamt ist das Risiko dieser Importe damit mäßig bis hoch einzustufen.

### Abhängigkeiten von Produktionsbereichen

Über bestehende Stoffstromanalysen lässt sich die Verwendung der ausgewählten Rohstoffe in Produkten nachvollziehen. Diese Produkte können wiederum einzelnen Wirtschaftsbereichen zugeordnet werden. So lässt sich der Umfang der Produktion in Deutschland abschätzen, der ohne die Verwendung der ausgewählten Rohstoffe in dieser Form nicht möglich wäre. Dieses Vorgehen bildet die Grundlage für eine Abschätzung, wie stark einzelne Wirtschaftsbereiche in Deutschland von den jeweiligen Rohstoffen abhängen. Diese quantitativen Analysen wurden durch qualitative Aussagen aus Interviews mit Experten aus Unternehmen, Wissenschaft und Verbänden sowie einem Workshop mit diesen Experten ergänzt, um Einschätzungen zu den Auswirkungen eines Angebotsschocks und Reaktionsmöglichkeiten der Unternehmen zu eruieren.

### Kupfer

- ▶ Für Kupfer zeigt sich, dass im Jahr 2022 rund 24 Prozent der Erwerbstätigen im Verarbeitenden Gewerbe (1,8 Millionen Personen) in der Produktion von kupferhaltigen Produkten beschäftigt sind. Sie erwirtschaften dort eine Bruttowertschöpfung von 216 Milliarden Euro. Dies entspricht rund 30 Prozent der Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes. Der Produktionswert beläuft sich auf rund 674 Milliarden Euro oder 29 Prozent des Produktionswerts des Verarbeitenden Gewerbes.
- ▶ Die Wirtschaftszweige, in deren Produktion kupferhaltige Produkte den höchsten Anteil an der Bruttowertschöpfung aufweisen, sind die Elektrischen Ausrüstungen (86 Prozent), der Sonstige Fahrzeugbau (83 Prozent) und der Kraftfahrzeugbau (78 Prozent).
- ▶ Im Jahr 2022 wurden in Deutschland kupferhaltige Produkte (inklusive Primärrohstoffe und Rohstoffe der frühen Verarbeitungsstufen) im Wert von rund 350 Milliarden Euro eingeführt. China mit einem Anteil von rund 21 Prozent und die USA mit einem Anteil von rund sechs Prozent sind die wichtigsten Bezugsländer kupferhaltiger Produkte. Gleichzeitig stammen über 30 Prozent der kupferhaltigen Importe aus Ländern der Europäischen Union.
- ▶ Bewertet man die Gefährdung der Importprodukte nach den Maßstäben einer hohen Angebotskonzentration und des Länderrisikos der Exportländer, werden rund 19 Prozent der kupferhaltigen Produkte als gefährdet eingestuft. Sie verteilen sich auf nur einige wenige Bezugsquellen, die ihrerseits im Durchschnitt ein mittleres Länderrisiko aufweisen.
- ▶ Der Anteil der gefährdeten kupferhaltigen Importe steigt entlang der Wertschöpfungskette. Bei Produkten der ersten Kupferverarbeitung beträgt der wertmäßige Anteil der gefährdeten Importe nur neun Prozent, bei Vorleistungsprodukten 14 Prozent und bei Konsum- und Investitionsgütern 24 Prozent.
- ▶ Rund 55 Prozent des gefährdeten kupferabhängigen Importwerts wird aus China bezogen, weitere neun Prozent aus Polen. Chinas Anteil an den gefährdeten Importen ist etwa doppelt so hoch

wie der Anteil des Landes an allen kupferhaltigen Importen. Für 86 Prozent des gefährdeten Importwerts ist China das wichtigste Bezugsland. Dazu zählen heterogene Güter wie Vorhängeschlösser, Datenmaschinen oder Staubsauger.

- ▶ Als mögliche Auslöser für einen Angebotschock beim Import von Kupfererzen und -konzentraten werden politische Unsicherheiten oder geografische Risiken wie Erdbeben oder Trockenheit in Südamerika genannt. Dazu kommen globale Lieferrisiken bei den Transporten auch aus anderen Ländern.
- ▶ Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass diese Auslöser tatsächlich die Kupferproduktion und -verfügbarkeit in Deutschland und Europa einschränken, wurde in Experteninterviews und einem Workshop als sehr gering eingestuft. Die Risiken für Lieferungen aus den nicht-europäischen Gebieten werden durch die Diversifizierung gemindert. Zudem wird der größere Teil der Kupferversorgung in Deutschland durch Sekundärkupfer und europäische Importe von Erzen und Konzentraten gedeckt. Das stärkt die Möglichkeit, dass marktliche Preis- und Mengenreaktionen eine plötzliche Angebotsknappheit beim Import von Kupfererzen und -konzentraten vorübergehend ausgleichen können, etwa indem das Angebot an Sekundärkupfer steigt oder die Nachfrage durch die Nutzung von Substituten sinkt.
- ▶ Mittelfristig wird eine Ausdünnung von Lieferungen von Kupfererzen und -konzentraten in Form einer sich über eine längere Zeitdauer ergebenden Unterdeckung der Nachfrage als mögliche Entwicklung angesehen. Es besteht eine Unsicherheit, ob die notwendigen Investitionen für eine adäquate Ausweitung des Angebots in Hinblick auf die steigende Nachfrage erfolgen werden. Stärkster Treiber der Nachfragesteigerung ist die ökologische Transformation durch Elektromobilität und Ladeinfrastruktur, Ausbau der Stromnetze sowie erneuerbare Energieerzeugung.

### Lithium

- ▶ Rund sechs Prozent der Erwerbstätigen im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland (rund 480.000 Personen) sind im Jahr 2022 in der Produktion von lithiumhaltigen Produkten tätig. Sie erwirtschaften eine Bruttowertschöpfung von 69 Milliarden Euro – rund zehn Prozent der Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes. Damit wird ein Produktionswert von rund 216 Milliarden Euro erreicht – neun Prozent des Produktionswerts des Verarbeitenden Gewerbes.
- ▶ Mit einem Anteil von rund 45 Prozent ist der Kraftfahrzeugbau mit Abstand die Branche, in der lithiumhaltige Produkte den höchsten Anteil an der Bruttowertschöpfung aufweisen.
- ▶ Im Jahr 2022 betrug der Gesamtwert der lithiumhaltigen Importgüter in Deutschland 119 Milliarden Euro. Rund 23 Prozent der lithiumhaltigen Importe stammen aus China. Es folgen Tschechien und die USA mit Anteilen von je rund acht Prozent. Weitere über 30 Prozent der Importe stammen aus anderen Ländern der europäischen Union.
- ▶ Rund 31 Prozent der lithiumhaltigen Importe werden nach Angebotskonzentration und Länderrisiken als gefährdet eingestuft. Differenziert man entlang der Wertschöpfungskette wird dabei weder der Bezug von Lithium selbst noch der Bezug von einem der ersten Weiterverarbeitungsprodukte als gefährdet eingestuft. Bei Vorleistungsprodukten liegt der gefährdete Anteil allerdings bei 62 Prozent. Bei den Konsum- und Investitionsgütern liegt der wertmäßige Anteil der gefährdeten Importe bei 23 Prozent.
- ▶ Auch bei Lithium ist der Anteil Chinas an den gefährdeten Importen hoch. Rund 58 Prozent der gefährdeten lithiumhaltigen Importe stammen aus China. Wichtige Produkte mit hoher Konzentration auf China sind Lithium-Ionen-Akkumulatoren und Mobiltelefone, die zu 49 Prozent bzw. 87 Prozent aus China stammen.
- ▶ Als Auslöser einer plötzlichen Angebotsverknappung bei Lithium auf den frühen Verarbeitungsstufen werden neben grundsätzlichen globalen Lieferengpässen wegen Pandemien und Naturkatastrophen die politischen Länderrisiken in Südamerika oder eine plötzliche rapide Nachfragesteigerung in China genannt. Sole und deren Weiterverarbeitungsprodukte stammen überwiegend aus Südamerika, somit gelten hier ähnliche Erwägungen wie bei Kupfer. Lithiumhaltige Erze aus

Australien werden zu großen Teilen in China weiterverarbeitet. Hier könnte es zu Exportbeschränkungen kommen. Das Risiko wurde in Interviews und im Workshop aber als gering angesehen.

- ▶ Anders als bei Kupfer gibt es bei Lithium derzeit keine inländischen Ersatzprodukte in Form von deutschem oder europäischem Bergbau oder Sekundärmaterial. Ein Lieferstopp würde sich direkt auf die Versorgung der Industrie auswirken. Es bieten sich keine Substitutionsmöglichkeiten.
- ▶ Eine mittelfristige Ausdünnung in Form einer sich über eine längere Zeitdauer ergebenden Unterdeckung der Nachfrage wird ebenfalls als eher unwahrscheinlich angesehen. Die Prognoseunsicherheit ist hier aber hoch, weil sich ein großer Teil der zukünftigen Nachfrage erst mit der Entwicklung der E-Mobilität sowie der globalen Verteilung der zugehörigen Produktionsstätten ergeben wird.
- ▶ Viele der lithiumhaltigen Produkte werden schon auf stärker weiterverarbeiteten Produktstufen eingeführt und könnten ebenfalls nur schwer ersetzt werden. Politisch motivierte Exportbeschränkungen sind möglich.

### Seltene Erden

- ▶ In der Produktion von selten-erd-haltigen Produkten sind im Jahr 2022 rund 1,3 Millionen Erwerbstätige (rund 17 Prozent der Erwerbstätigen im Verarbeitenden Gewerbe) beschäftigt. Die damit verbundene Bruttowertschöpfung beträgt 161 Milliarden Euro – rund 21 Prozent der Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes. Der Produktionswert beläuft sich auf rund 501 Milliarden Euro oder 22 Prozent des Produktionswerts des Verarbeitenden Gewerbes.
- ▶ Der Anteil der Bruttowertschöpfung durch Produkte, die Seltene Erden enthalten, ist im Sonstigen Fahrzeugbau (67 Prozent), im Kraftfahrzeugbau (65 Prozent) und in der Herstellung von elektronischen und optischen Erzeugnissen (55 Prozent) besonders hoch.
- ▶ Im Jahr 2022 betrug der Gesamtwert der selten-erd-haltigen Importgüter in Deutschland 248 Milliarden Euro. Mit einem Anteil von 20 Prozent ist China auch in dieser Produktkategorie der größte Lieferant, gefolgt von den USA (12 Prozent) und Tschechien (5 Prozent).
- ▶ Nach den Kriterien Angebotskonzentration und Länderrisiken gelten 19 Prozent der Selten-Erd-Importe als gefährdet, ausschließlich wegen der hohen Konzentration auf Länder mit mäßigem Länderrisiko. Es gelten alle Güterklassen von Selten-Erd-Metallen und ersten Weiterverarbeitungsprodukten als gefährdet. Bei Vorprodukten und Investitions- und Konsumgütern reduzieren sich die gefährdeten Anteile auf 21 Prozent beziehungsweise 17 Prozent.
- ▶ China ist mit einem Anteil von 58 Prozent der wichtigste Lieferant der gefährdeten selten-erd-haltigen Importe. Bei wertmäßig 89 Prozent der gefährdeten Importgüter ist China der wichtigste Lieferant der einzelnen Güter. Beispielsweise stammen 82 Prozent der Selten-Erd-Metalle, 55 Prozent der Glaswaren aus Glaskeramik und 84 Prozent der Dauermagnete aus China.
- ▶ Die Versorgung mit Seltenen Erden und nachgelagerten Produkten ist in besonderer Weise von Lieferungen aus China abhängig. Neben allgemeinen Transportrisiken sind daher vor allem politische Motive mögliche Auslöser von plötzlichen oder mittelfristigen Angebotsverknappungen. Die Wahrscheinlichkeit dafür lässt sich kaum quantifizieren, ist aber nicht unerheblich.
- ▶ Neben geopolitischen Risiken spielen strategische Überlegungen zur Industriepolitik in China eine wesentliche Rolle für mögliche Exportbeschränkungen. Für beide Aspekte lassen sich Beispiele finden, etwa die Verknappung von Seltenen Erden gegenüber Japan im Jahr 2010, generelle Exportrestriktionen bei Magnesium im Jahr 2021 oder die Exportbeschränkungen bei Gallium und Germanium im Sommer 2023.
- ▶ Mittelfristig entsteht ein zusätzliches Versorgungsrisiko aus der steigenden Nachfrage nach Seltenen Erden und nachgelagerten Produkten, die bislang weiter vom überwiegend chinesischen Angebot abhängt. Dem könnte nur durch eine globale Angebotserweiterung außerhalb Chinas entgegengetreten werden. Die Aussichten hierfür sind aber unsicher.

- ▶ Seltene Erden werden zudem fast ausschließlich in Form von weiterverarbeiteten Produkten nach Deutschland eingeführt, die häufig schlecht gelagert werden können, weil die benötigten Produktspezifika zu heterogen sind. Eine kurzfristige oder mittelfristige Angebotsverknappung kann hier nur schlecht ausgeglichen werden.

### Ansätze zur Sicherung der Rohstoffversorgung

Die Maßnahmen zur Sicherung der Rohstoffversorgung lassen sich in drei Bereiche gliedern. Dabei lassen sich Maßnahmen auf staatlicher und auf unternehmerischer Ebene unterscheiden.

- ▶ Die Verminderung des Primärrohstoffverbrauchs kann über den verstärkten Einsatz von Sekundärrohstoffen und die Erhöhung der Material- und Rohstoffeffizienz erfolgen.
- ▶ Zur Sicherung der Primärrohstoffversorgung oder beim Bezug von Vorprodukten können Unternehmen verschiedene Maßnahmen der Preis- und Mengenabsicherung wie das Hedging von Preisrisiken, langfristige Lieferverträge oder die Diversifizierung der Lieferanten vornehmen. Die Wirksamkeit solcher, letztlich vertraglicher Maßnahmen hängt aber von entsprechend stabilen ökonomischen und rechtlichen Rahmenbedingungen auch auf internationaler Ebene ab. Diese müssen somit gegebenenfalls durch internationale Zusammenarbeit gestützt werden. Staatlicherseits können die Unternehmen durch Hilfen bei der Risikoabsicherung unterstützt werden. Darüber hinaus kann der Staat die internationalen Rahmenbedingungen für die Rohstoffversorgung durch die Zusammenarbeit mit anderen Staaten, z.B. im Rahmen von Rohstoffpartnerschaften, verbessern.
- ▶ Die verstärkte Nutzung von inländischen Rohstoffquellen kann die Versorgungssicherheit bei Rohstoffen verbessern. Gerade bei den drei betrachteten Rohstoffen Kupfer, Lithium und Seltene Erden sind verstärkte Bemühungen um eine zusätzliche Gewinnung in Europa zu beobachten. Für eine nachhaltige Verwertung der Bergbauprodukte ist allerdings die Etablierung der nachgelagerten Weiterverarbeitungsschritte in Europa notwendig. Auch hier ist der Staat gefordert, die Rahmenbedingungen für die Unternehmen – etwa bei Planungs- und Genehmigungsverfahren oder der Investitionssicherheit – zu verbessern. Gesellschaftliche Zielkonflikte zwischen einer verstärkten Produktion von Rohstoffen und anderen Interessen sollten transparent gemacht und geklärt werden.

Maßnahmen zur Verbesserung der Versorgungssicherheit weisen teilweise lange Zeiträume auf, bis sie Wirkung zeigen können. Dies gilt für Investitionsvorhaben in neue Minenprojekte, den Aufbau von Weiterverarbeitungsstrukturen, die (technische) Substitution von Rohstoffen in Produkten oder den Aufbau von Kreislaufwirtschaftsstrukturen. Damit stehen sie kurzfristig nicht als Reaktionsoptionen zur Abfederung eines kurzfristigen Angebotsschocks zur Verfügung. Sie können aber Teil eines Maßnahmenbündels sein, mit dem sich die Widerstandsfähigkeit der Volkswirtschaft gegenüber Verwerfungen im internationalen Handel stärken lässt.

Die Untersuchung zeigt auch, dass die Konzentration der Analyse und der Maßnahmen allein auf den Bergbau häufig unzureichend ist, um alle Knappheiten und Risiken zu erkennen. Sie sollte durch Berücksichtigung der Weiterverarbeitung und Lieferkette bis zu den industriellen Abnehmern ergänzt werden. Dabei ist zu betonen, dass die Datenlage hinsichtlich der Rohstoffe und ihrer Verwendung auf den verschiedenen Wertschöpfungsstufen häufig intransparent ist. Dies liegt unter anderem daran, dass die Produkte oft sehr differenziert sind und in kleinen Mengen verwendet werden, sodass eine statistische Erfassung nur mit sehr hohem Aufwand möglich ist.

## Executive Summary (english)

The German and global economies are strongly interlinked through import and export relationships. German industry often imports raw materials and intermediate products and exports manufactured products. Particularly in the area of the metal and electrical industry, Germany has been showing high foreign trade surpluses in recent years.<sup>2</sup>

However, the intense international integration of the German economy exposes it to high dependence on supplies from abroad. The Corona crisis showed how severely disruptions and bottlenecks in international trade can limit consumption and production in Germany. The shortage of semiconductors in the automotive industry is but one particularly prominent example. The war in Ukraine, with concerns about a gas shortage in winter 2022/23 and significant price hikes on commodity markets, e.g. for natural gas, crude oil, oil products or nickel, also sharpened the perception of the German economy's dependence on international supply chains and their associated risks. The risks from a high dependency on imports of raw materials and some other inputs can be exacerbated by a high concentration on a few supplier countries.

Decarbonisation and digitalisation are bringing about a dual transformation of the economy and are changing the structure of the demand for raw materials, shifting it away from fossil fuels towards mineral raw materials, some of which are experiencing huge increases in global demand.

This study looks at the dependence of value creation in Germany on raw materials using three examples. Copper, lithium, and the raw material group of rare earths play an important role for a successful implementation of the dual transformation. Copper is a central component of electrical applications of all kinds because of its conductivity. Lithium and rare earths play a major role in e-mobility through their use in batteries and motors but are also key components of a number of mobile digitalisation appliances, such as smartphones or laptops.

---

<sup>2</sup> Cf. Bähr et al. (2022).

### Raw materials supply risks

In order to assess the supply conditions of the selected raw materials in Germany, an analysis of global deposits and production levels and of Germany's import structures was carried out. This gives a differentiated picture for the three raw materials.

#### Copper

- ▶ Around 60 percent of the globally identified copper deposits are located in North and South America. Europe accounts for only 6 percent. Around 40 percent of copper production in the mining sector can be found in Chile and Peru. China and the Congo each account for about 8 percent. The refining of copper is more concentrated in China with a share of 40 percent, Chile follows with a share of 9 percent. The supply risk for copper is classified as low to moderate in various studies (DERA 2021; vbw 2022; European Commission 2023b). A higher criticality or strategic relevance arises from the importance for electrical applications and future technologies and the limited possibilities for substitution in these applications. Based on these considerations, a high growth in demand is also generally forecast. The most important drivers are the production of electric cars and the expansion of the electricity grids in connection with the expansion of renewable energies.
- ▶ Germany sources about two-thirds of its copper ores and concentrates from Peru, Chile and Brazil. In the 2016-2020 period, 27 percent of refined raw copper came from Russia and a total of 46 percent from the EU countries Poland, Finland, Belgium and Sweden. Country risks and concentration are considered as low to modest. Taking into account the political and social risks, this results in a low to modest supply risk for copper ores and concentrates as well as raw copper.

#### Lithium

- ▶ The largest identified resources of lithium are located in the three Latin American countries of Bolivia, Argentina and Chile, with a common share of almost 60 percent. In contrast, Australia was by far the largest mine producer in 2020 with a share of 48 percent, followed by Chile (27 percent), China (15 percent) and Argentina (7 percent). As a result, the weighted country risk of mine production is classified as low by the German Mineral Resources Agency (DERA) (DERA 2021), but the country concentration is high. Vbw (2022) and the European Commission (2023b) classify lithium as a critical raw material, primarily owing to its high economic importance and significance for future technologies. Furthermore, lithium for battery production ("battery grade") is classified as a strategic raw material by the European Union.
- ▶ Germany obtains almost three quarters of its lithium carbonate imports from Chile and 6 percent from Argentina. Belgium is the second largest supplier with 12 percent, but itself obtains 94 percent of its lithium carbonate imports from Chile. This represents a high concentration combined with low country risks.

#### Rare Earths

- ▶ The identified resources of rare earth elements are relatively widely distributed worldwide, with shares of 35 percent in China, 11 percent in Brazil, 10 percent each in Australia and Russia, and 9 percent in Greenland. In contrast, the rare earth mining sector is much more concentrated, with 57 percent in China, 16 percent in the USA, 13 percent in Burma and 8 percent in Australia. Accordingly, DERA considers the supply risk as high (DERA 2021). Vbw (2022) and the European Commission (2023b) classify rare earth elements as critical raw materials. In addition to the supply risks, the economic significance and the importance for future technologies are decisive factors for this classification. Additionally, the European Commission considers rare earths elements to be strategic raw materials.

- ▶ 49 percent (early extraction or processing stages) and 84 percent (processed intermediates) of German imports of rare earths come from China. The country concentration of these direct imports is therefore high. However, indirect supplies of Rare Earths cannot be traced on the basis of the publicly available data. While the country risk of China is classified as moderate, the overall risk of imports of Rare Earths is moderate to high.

### Dependence of production sectors

Existing material flow analyses can be used to track the use of the selected raw materials within products. These products can in turn be assigned to specific economic sectors. In this way, it is possible to estimate the scope of production in Germany that would not be feasible in its present form without using the selected raw materials. This approach provides the basis for estimating the extent to which individual economic sectors in Germany depend on the respective raw materials. Supplementary to the quantitative analyses, the study was informed by qualitative statements from interviews with experts from companies, academia and associations as well as a workshop with these experts in order to determine the effects of a supply shock and possible responses by companies.

### Copper

- ▶ Around 24 percent of the workforce in the manufacturing sector (1.8 million people) are employed in the production of copper-dependent products in 2022. They generate a gross value added of 216 billion euros. This represents about 30 percent of the gross value added of the manufacturing sector. The production value was approximately 674 billion euros or 29 percent of the production value of the manufacturing industry.
- ▶ Electrical equipment (86 percent), other transport equipment (83 percent) and motor vehicles (78 percent) are the industries with the highest share of copper-dependent products in gross value added.
- ▶ Copper-dependent products worth around 350 billion euros were imported into Germany in 2022. China and the USA are the most important source countries for copper-relevant products, with a share of around 21 percent and 6 percent, respectively. Meanwhile, more than 30 percent of copper-relevant imports come from countries in the European Union.
- ▶ Around 19 percent of the copper-relevant products are classified as at risk if the risk of the imported products is assessed according to the standards of a high supply concentration and the country risk of the exporting countries. This would mean that, on average, they originate from high-risk countries, or the imports are distributed among only a few sources of supply, which in turn are to be classified as low-risk countries on average.
- ▶ The share of copper-relevant imports at risk increases along the value chain. For products of primary copper processing, the share of imports at risk in terms of value is only 9 percent, for intermediate products 14 percent and for consumer and investment goods 24 percent.
- ▶ Around 55 percent of the copper-relevant import value at risk is sourced from China, and another 9 percent from Poland. China's share of imports at risk is about twice as high as the country's share of all copper-relevant imports. For 86 percent of the import value at risk, China is the most important source country. This includes heterogeneous goods such as padlocks, data machines or hoovers.
- ▶ Political uncertainties or geographical risks such as earthquakes or droughts in South America were named as possible triggers for a supply shock for imports of copper ores and concentrates. In addition, there are global supply risks in transports from other countries as well.
- ▶ The likelihood of these triggers actually limiting copper production and its availability in Germany and Europe was assessed to be very low in expert interviews and a workshop. The risks of supplies



from non-European areas are mitigated by diversification. In addition, the greater part of the copper supply in Germany is covered by secondary copper and by imports of ores and concentrates from other European countries. This supports the possibility that market price and volume reactions can temporarily compensate for a sudden supply shortage in the import of copper ores and concentrates, for example by increasing the supply of secondary copper or decreasing demand through the use of substitutes.

- ▶ In the medium term, a thinning out of supplies of copper ores and concentrates is seen as a possible development. There is uncertainty as to whether the necessary investments for an appropriate expansion of supply will be realised in relation to the increasing demand. The strongest driver of the increase in demand is the ecological transformation through electric mobility and charging infrastructure, expansion of the electricity grids and renewable energy generation.

### Lithium

- ▶ About 6 percent of the workforce in the manufacturing sector in Germany (about 480,000 people) are involved in the production of lithium-dependent products in 2022. They generate a gross value added of 69 billion euros - about 10 percent of gross value added in manufacturing. This represents a production value of around 216 billion euros – 9 percent of the production value of the manufacturing sector.
- ▶ Automotive manufacturing, with a share of around 45 percent, is by far the sector in which lithium-dependent products account for the highest share of gross value added.
- ▶ The total value of lithium-dependent import goods in Germany was 119 billion euros in 2022. Around 23 percent of lithium-relevant imports come from China. This is followed by the Czech Republic and the USA, each with shares of around 8 percent. Another 30 percent of the imports originate from other countries in the European Union.
- ▶ Around 31 percent of lithium-dependent imports are classified as at risk according to supply concentration and country risks. Differentiating along the value chain, neither the purchase of lithium itself nor of one of the first downstream products is classified as at risk. For intermediate goods, however, the share at risk is 62 percent. For consumer and investment goods, the share of imports at risk in terms of their value is 23 percent.
- ▶ China's share of imports at risk is also high in the case of Lithium. Around 58 percent of lithium-related imports at risk originate from China. Important products with a high import concentration from China are lithium-ion batteries and mobile phones, 49 percent and 87 percent of which come from China, respectively.
- ▶ In addition to fundamental global supply bottlenecks due to pandemics and natural disasters, political country risks in South America or a sudden rapid demand increase in China are cited as triggers for a sudden supply shortage of lithium. Brine and its processed products come mainly from South America, so similar considerations apply here as for copper. Spodumene from Australia is largely processed in China. These could be subject to export restrictions. However, the risk was considered low in interviews and in the workshop.
- ▶ Unlike copper, there are currently no domestic substitutes for lithium in the form of German or European mine production or secondary material. A delivery stop would have a direct impact on the supply of industries. There are no substitution possibilities.
- ▶ A medium-term thinning out was also considered rather unlikely. The forecast uncertainty is high here, however, because a large part of the future demand will only arise with the development of e-mobility and the global distribution of the associated production facilities.
- ▶ Many lithium-containing products are imported on more processed product lines and cannot easily be substituted. A similar risk applies here as for the raw materials. Politically motivated export restrictions are a relevant possibility.

## Rare Earths

- ▶ The production of rare-earth-dependent products employs about 1.3 million people (about 17 percent of the workforce in the manufacturing sector) in Germany in 2022. The associated gross value added amounts to 161 billion euros – about 21 percent of the gross value added of the manufacturing industry. The production value amounted to about 501 billion euros or 22 percent of the production value of the manufacturing industry.
- ▶ The share of gross value added from products containing rare earth elements is particularly high in manufacture of other transport equipment (67 percent), manufacture of motor vehicles, trailers and semi-trailers (65 percent) and manufacture of computer, electronic and optical products (55 percent).
- ▶ In 2022, the total value of rare earth-dependent import goods in Germany was 248 billion euros. With a share of 20 percent, China is the largest supplier in this product category as well, followed by the USA (12 percent) and the Czech Republic (5 percent).
- ▶ According to the criteria of supply concentration and country risk, 19 percent of rare earth imports are considered "at risk", exclusively because of the high concentration in countries with moderate country risk. All commodity classes of rare earth metals and first processing products are considered to be at risk. For intermediate products and investment and consumer goods, the shares at risk are reduced to 21 percent and 17 percent, respectively.
- ▶ China is the most important supplier of at-risk rare earth-relevant imports with a share of 58 percent. In terms of value, China is the most important supplier, accounting for 89 percent of the endangered import goods. For example, 82 percent of rare earth metals, 55 percent of glass ceramics glassware and 84 percent of permanent magnets come from China.
- ▶ In the medium term, an additional supply risk results from the rising demand for rare earths and downstream products, which so far continues to depend on the predominantly Chinese supply. This could only be addressed by a global expansion of supply outside China. However, the prospects for this are uncertain.
- ▶ Moreover, rare earths are almost exclusively imported to Germany in the form of processed products, which are often difficult to warehouse because the required product specifications are too heterogeneous. A short-term or medium-term supply shortage can only be compensated for with difficulties.

## Approaches to securing raw material supply

Approaches to secure the supply of raw materials can be classified into three areas. A distinction can be made between governmental and corporate actions.

- ▶ Consumption of primary raw material can be reduced by increasing the use of secondary raw materials and enhancing material and raw material efficiency.
- ▶ In order to secure their supply of primary raw materials or intermediate products, companies can take various actions to manage prices and quantities, such as hedging price risks, long-term supply contracts or supplier diversification. The effectiveness of such measures, which are ultimately contractual, depends, however, on an appropriately stable economic and legal framework, including at the international level. These must therefore also be supported by international cooperation where necessary.  
The government can support companies by helping them to hedge their risks. In addition, the government can improve on the international framework conditions for the supply of raw materials by cooperating with other countries, e.g. within the context of raw material partnerships.
- ▶ An increased use of domestic raw material sources has the potential to improve the security of supply of raw materials. Particularly in the case of the three raw materials under consideration,

copper, lithium and rare earths, increased efforts for additional extraction in Europe can be observed. For a sustainable use of the mining products, however, the establishment of the downstream processing steps in Europe is required. Here, too, the government is called upon to improve the general conditions for companies - for example, in planning and licensing procedures or investment security. Societal trade-offs between the increased use of raw materials and other interests should be made transparent and resolved.

Actions to improve on the security of supply often take a long time before they can take effect. This applies to investment projects in new mining projects, the development of processing facilities, the (technical) substitution of raw materials in manufactured products or the development of circular economy systems. This means that they are not available as short-term reaction options to mitigate a short-term supply shock. They can, however, be part of a package of options to strengthen the economy's resilience to distortions in international trade.

The study also shows that focusing analysis and action on mining alone is frequently not sufficient to identify all shortages and risks. It should be supplemented by consideration of further downstream processing and the supply chain up to industrial users of raw materials. It must be emphasised that the data available on raw materials and their use at the various steps of the value chain is not always transparent. This is also due to the fact that the various products are often very differentiated and are used in small quantities, making statistical recording possible only at great expense.

# 1 Fragestellung und Vorgehen

Wirtschaft und Gesellschaft sehen sich in Deutschland und global den Herausforderungen von Dekarbonisierung und Digitalisierung gegenüber. Beide Trends verändern die Struktur der Rohstoffnachfrage weg von fossilen Energieträgern hin zu mineralischen Rohstoffen. Dies führt bei einigen Rohstoffen zu einer deutlichen Ausweitung der Nachfrage, die nur durch eine deutliche Erhöhung der Rohstoffförderung und -verarbeitung zu befriedigen sein wird. Deutschland und Europa verfügen bei vielen Rohstoffen nur über geringe eigene Vorkommen und noch seltener werden diese Vorkommen derzeit genutzt. Auch die erste Weiterverarbeitung der Rohstoffe teilweise bis hin zu Bauteilen wie Magneten findet in Deutschland und Europa nur in geringem Maße statt. Daraus entstehen Risiken für die Versorgung mit diesen Gütern, falls Importe beispielsweise wegen Transportproblemen, mangelnder Produktion im Ausland oder politischen Handelsbeschränkungen ausfallen.

Das Ziel der vorliegenden Studie ist, die Risiken der Rohstoffversorgung in Deutschland zu untersuchen und Aussagen über die Auswirkung einer möglichen Realisierung dieser Risiken auf die Wertschöpfung in Deutschland abzuleiten. Weil es den Umfang der Studie weit überschreiten würde, alle mineralischen Rohstoffe zu betrachten, wurden drei Rohstoffe ausgewählt: Kupfer, Lithium und die Rohstoffgruppe der Seltenen Erden<sup>3</sup>. Diese Rohstoffe weisen eine hohe Relevanz für die duale Transformation der Wirtschaft in Richtung Dekarbonisierung und Digitalisierung auf. Kupfer wird wegen seiner besonderen Leitfähigkeit in vielen elektronischen Anwendungen von Stromtrassen über E-Autos und Generatoren bis hin zu Geräten der Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) eingesetzt. Lithium ist ein zentraler Bestandteil von Lithium-Ionen-Batterien und damit nach heutigem Stand der Technik essenziell für die Entwicklung der E-Mobilität. Lithium-Ionen-Batterien kommen aber auch in Mobiltelefonen und Laptops zum Einsatz. Die Leistungsfähigkeit und Temperaturbeständigkeit von Permanentmagneten kann durch den Einsatz bestimmter Seltener Erden deutlich verbessert werden. Sie werden daher zum Beispiel in Elektromotoren in Autos oder Generatoren in Windkraftanlagen eingesetzt.

Gleichzeitig können verschiedene grundsätzliche Probleme der Rohstoffversorgung an den unterschiedlichen Risikoprofilen der ausgewählten Rohstoffe verdeutlicht werden. Zu den Problemen und Risiken der Rohstoffversorgung zählt insbesondere die Konzentration der Rohstoffvorkommen und der Rohstoffförderung auf wenige Länder, die häufig erhöhte politische Risiken aufweisen oder die durch

---

<sup>3</sup> Um den Lesefluss zu verbessern, wird die Rohstoffgruppe der Seltenen Erden im Rest der Studie als ein Rohstoff angesprochen.

eine strategische Angebotspolitik politische oder ökonomische Vorteile erlangen wollen. Die Nachfrage nach Rohstoffen, die in relativ neuen Technologien eingesetzt werden, steigt besonders schnell. Dies gilt für die Elektromobilität, Erzeugungsanlagen für erneuerbare Energie oder für IKT-Produkte. Daraus entsteht das Risiko eines zusätzlichen Angebots-Nachfrage-Mismatches. Diese Probleme schlagen sich bei vielen Rohstoffen in erhöhten Preisrisiken in Form von steigenden oder besonders volatilen Preisen nieder.

Die Studie gliedert sich wie folgt:

- ▶ In Kapitel 2 werden die globalen Vorkommen und die Risiken der Versorgung mit den ausgewählten Rohstoffen in Deutschland anhand einer umfassenden Analyse der vorliegenden Daten zur Rohstoffförderung, der Weiterverarbeitung und des internationalen Handels dargestellt. Dabei fließen auch Indikatoren zu den politischen, sozialen und ökologischen Risiken in den Rohstoffförderländern in die Analyse ein.
- ▶ In Kapitel 3 wird die Abhängigkeit der Produktion in Deutschland von der Versorgung mit den drei ausgewählten Rohstoffen Kupfer, Lithium und Seltene Erden untersucht. Auch die damit verbundenen Risiken, wie etwa Lieferbeschränkungen, werden analysiert. Dies erfolgt in mehreren Arbeitsschritten:
  - ▷ Zunächst wird die Verwendung der Rohstoffe in der Produktion und Wertschöpfungskette auf Basis bestehender Stoffstromanalysen verortet und damit ein gefährdetes Potenzial für Produktion, Wertschöpfung und Beschäftigung abgeleitet. Es werden dabei auch die Importstrukturen von weiterverarbeiteten Gütern analysiert, in denen die ausgewählten Rohstoffe enthalten sind.
  - ▷ Für die drei Rohstoffe werden dann anhand der Erkenntnisse aus Kapitel 2 sowie Einschätzungen von Experten in Interviews und einem Workshop die Bedingungen und möglichen Auslöser für Angebotsschocks im Sinne einer plötzlichen oder allmählichen Verknappung der Rohstoffverfügbarkeit in Deutschland abgeleitet.
  - ▷ Alle vorherigen Schritte werden dann zusammengefasst, um die möglichen Auswirkungen eines Angebotsschocks auf die Wertschöpfung in Deutschland abzuschätzen.
- ▶ In Kapitel 4 werden Maßnahmen diskutiert, die Unternehmen und Staat ergreifen können, um die Versorgungssicherheit mit Rohstoffen in Deutschland zu erhöhen. Die Maßnahmen werden nach drei Strategieoptionen gegliedert: Reduktion der Primärrohstoffnachfrage und stärkere Nutzung von Sekundärrohstoffen, Sicherung der Rohstoffimporte sowie Förderung der inländischen Rohstoffförderung.

## 2 Risiken bei der Versorgung mit ausgewählten Rohstoffen für Deutschland

Kapitel 2 gibt einen Überblick über die Versorgungssituation und die Versorgungsrisiken für Deutschland bei den betrachteten drei Rohstoffen (Kupfer, Lithium und Seltene Erden).<sup>4</sup> Die Schwerpunkte sind wie folgt gesetzt:

*Erstens* werden die bergbau- bzw. rohstoffnahen Wertschöpfungsstufen betrachtet, denn besonders diese Primärrohstoffversorgung ist vom Standpunkt eines Industrielandes auch in der langen Frist stark durch exogene Faktoren, insbesondere die natürlichen Gegebenheiten, die nicht durch Investitionen in Kapital, Wissen und Technologie veränderbar sind, bestimmt. Diese bildet insofern den äußersten Rahmen, innerhalb dessen das Rohstoffversorgungsrisiko abgesteckt werden kann.

*Zweitens* basiert die Analyse auf Rohstoffinhalten (z.B. Kupferinhalten) der produzierten und gehandelten Güter, um so den Fokus auf Rohstoffströme zu legen.

*Drittens* liegt der Fokus soweit möglich auf aggregierten Länderdaten und -indikatoren, die von staatlichen oder internationalen Organisationen zur Verfügung gestellt werden. Dies liegt auch in der begrenzten Datenverfügbarkeit und der Nachvollziehbarkeit/Objektivität der Resultate begründet.

*Viertens* erfolgt die Analyse vom Standpunkt Deutschlands aus.

Da in der Langfristbetrachtung der globale Markt für die Rohstoffversorgung eines Landes relevant ist, werden für die drei Rohstoffe zunächst in Kapitel 2.1 die globalen Märkte sowie deren natürliche und technische Grundlagen kurz beschrieben. Damit wird auch bei diesem Aspekt zunächst der äußere

---

<sup>4</sup> „Seltene Erden“ wird hier der sprachlichen Einfachheit wegen als „ein Rohstoff“ bezeichnet. Tatsächlich umfasst der Begriff der „Seltene Erden“ eine Gruppe von Rohstoffen/Elementen. Im Folgenden werden zu den Seltene Erden Lanthan, Cer, Praseodym, Neodym, Promethium, Samarium, Europium, Yttrium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium, Lutetium und Scandium gezählt.

Rahmen, innerhalb dessen die Rohstoffversorgung in Deutschland erfolgt, abgesteckt. Zu diesem gehören Produktionsrouten, natürliche Vorkommen, wichtigste Erzeuger, Angebotsrisiko und wichtigste Nachfrageländer. Anschließend wird in Kapitel 2.2 die tatsächliche Ausprägung der deutschen Lieferbeziehungen innerhalb dieses Rahmens beschrieben. Dazu werden die Herkunft der deutschen Importe sowie die dazugehörigen Risikokennzahlen, insbesondere Zuliefererkonzentration sowie politische, soziale und umweltbezogene Indikatoren, diskutiert. Schließlich werden in Kapitel 2.3 die Determinanten des Angebotsrisikos und der Kritikalität kurz erläutert.

### 2.1 Überblick über den globalen Markt

Der globale Markt stellt den äußeren Rahmen dar, innerhalb dessen die Rohstoffversorgung in Deutschland erfolgt. In diesem Kapitel wird auf die natürlichen und technischen Grundlagen (natürliche Vorkommen, Produktionsrouten) des globalen Marktes eingegangen. Anschließend wird der Markt selbst (wichtigste Erzeuger, Angebotsrisiko und wichtigste Nachfrageländer) kurz beschrieben. Daten für den im Folgenden dargestellten Rohstoffverbrauch als Indikator für die Nachfrage liegen aus unterschiedlichen Quellen für das Jahr 2019 vor. Als Referenzjahr für die ausgewiesenen Statistiken zur Rohstoffproduktion wurde daher das Jahr 2020 festgelegt, auch wenn mit dem U.S. Geological Survey (2023) Informationen für die Produktion im Jahr 2021 (und Schätzungen für das Jahr 2022) vorliegen. Diese zeichnen für die Länderzusammensetzung der globalen Produktion ein sehr ähnliches Bild.

### Methodische Vorgehensweise in Kapitel 2.1

Kapitel 2.1 basiert auf der Analyse von Markt(rahmen)daten. Unter diesen erfordern die natürlichen Vorkommen, das Angebotsrisiko und die Kritikalitätszahlen eine genauere Einordnung.

#### Natürliche Vorkommen:

Die Zahlen über die natürlichen Vorkommen geben einen wichtigen Einblick in den *derzeitigen* Kenntnisstand hinsichtlich der Ressourcenbestände. Sie sind jedoch in ihrer Aussagefähigkeit begrenzt. Die heutige oder zukünftige Verfügbarkeit eines Rohstoffs lässt sich nicht direkt aus den Ressourcenzahlen ablesen, und auch der Vergleich mit den (jährlichen) Förderungszahlen zeigt nicht, wie lange die Ressourcen ausreichen werden. Viele Aspekte, die je nach Definition des Ressourcenbegriffs nicht oder nur z.T. berücksichtigt werden, müssen bei der Bestimmung der Verfügbarkeit in Betracht gezogen werden (vgl. U.S. Geological Survey 2023), u.a.:

- ▶ wirtschaftliche Aspekte (Aufwand für den Abbau, Nachfrage, Rohstoffpreise...)
- ▶ technologische Entwicklungen (auf allen Wertschöpfungsstufen: von der Exploration bis zur Endanwendung)
- ▶ geologische Aspekte (tatsächliche Verfügbarkeit und Entdeckung neuer Ressourcen)
- ▶ politische Aspekte (Zugänglichkeit der Rohstoffe bzw. die geographische Manifestation politischer Einflussphären).

Diese Faktoren beeinflussen sich gegenseitig und bestimmen, in welchem Ausmaß die heute bekannten Vorkommen tatsächlich nutzbar sein werden, und in welchem Ausmaß noch nicht bekannte Ressourcen entdeckt und nutzbar werden. So können z.B. politische Entwicklungen (die z.B. zu Versorgungsunterbrechungen führen können) zu wirtschaftlichen Entwicklungen (z.B. steigenden Rohstoffpreisen) und diese wiederum zu vermehrten Explorationsanstrengungen und der Entdeckung neuer Ressourcen oder zur Ausbeutung von Lagerstätten, die in der Vergangenheit als unrentabel gegolten haben, führen.



### Methodische Vorgehensweise in Kapitel 2.1 (Fortsetzung)

#### Angebotsrisiko und Kritikalität:

Zur Einschätzung des Angebotsrisikos und der Kritikalität von Rohstoffen werden in der Literatur Indexzahlen auf Basis von Produktionszahlen und zusätzlichen Indikatoren (u.a. der Risikoereinschätzung je Produktionsland) berechnet. Einen Literaturüberblick über Kritikalitätsstudien bieten Schrijvers et al. (2020). In Kapitel 2.1 werden drei Ansätze zur Einschätzung des Angebotsrisikos oder der Kritikalität genutzt:

- ▶ Gemäß dem Ansatz der DERA (siehe z.B. DERA 2021) werden zur Bewertung des Rohstoffangebotsrisikos zwei Indikatoren herangezogen: die Länderkonzentration des Angebots (gemessen an dem Herfindahl-Hirschman-Index) und das Länderrisiko (gemessen mittels Worldwide Governance Indicators). Es werden Schwellenwerte definiert, sodass die Angebotskonzentration und das Länderrisiko jeweils als „gering“, „mäßig“ oder „hoch“ eingestuft werden können. Das Angebotsrisiko gilt dann als hoch, wenn einer der beiden Indikatoren einen Wert ausgibt, der als „hoch“ eingestuft wird, während der andere Indikator einen Wert ergibt, der mindestens als „mäßig“ eingestuft wird. Für eine genauere Beschreibung dieses Ansatzes siehe Kapitel 5.
- ▶ Der Ansatz von IWC zur Rohstoffrisikobewertung berücksichtigt neben den Aspekten, die dem DERA-Ansatz zugrunde liegen, weitere Aspekte, z.B. Unternehmenskonzentration, Substitutionsmöglichkeiten, Bedeutung für Zukunftstechnologien und politische Risiken (vgl. vbw 2022).
- ▶ Der Ansatz der Europäischen Kommission zur Kritikalitätsbewertung berücksichtigt neben den Aspekten, die dem DERA-Ansatz zugrunde liegen, weitere Aspekte, darunter Handelsbarrieren und insbesondere die wirtschaftliche Bedeutung des Rohstoffs. Somit wird ein Rohstoff mit einem hohen Angebotsrisiko erst dann als kritisch eingestuft, wenn er auch eine wirtschaftlich hohe Bedeutung aufweist, die sich durch geringe Substituierbarkeit und einen wichtigen Beitrag zur Wertschöpfung ergibt (vgl. Europäische Kommission 2023b). Die Ausgabe der Kritikalitätsliste der Europäischen Kommission (2023b) enthält neben diesen kritischen Rohstoffen auch „strategische Rohstoffe“, die zwar nicht notwendigerweise beide Kritikalitätskriterien (hohes Angebotsrisiko und hohe wirtschaftliche Relevanz) erfüllen, jedoch in relevanten Mengen für strategische und stark wachsende Technologien gebraucht werden. Insbesondere werden gemäß der Europäischen Kommission (2023a), Annex 1, die Rohstoffe als strategische Rohstoffe bezeichnet, die in relevanten Mengen für strategische und stark wachsende Technologien gebraucht werden, wobei Möglichkeiten zur Angebotserweiterung berücksichtigt werden.

Insgesamt erfasst der Kritikalitätsbegriff hier nicht nur das mit dem Rohstoff verbundene Angebotsrisiko, sondern auch die wirtschaftliche Bedeutung des Rohstoffs.

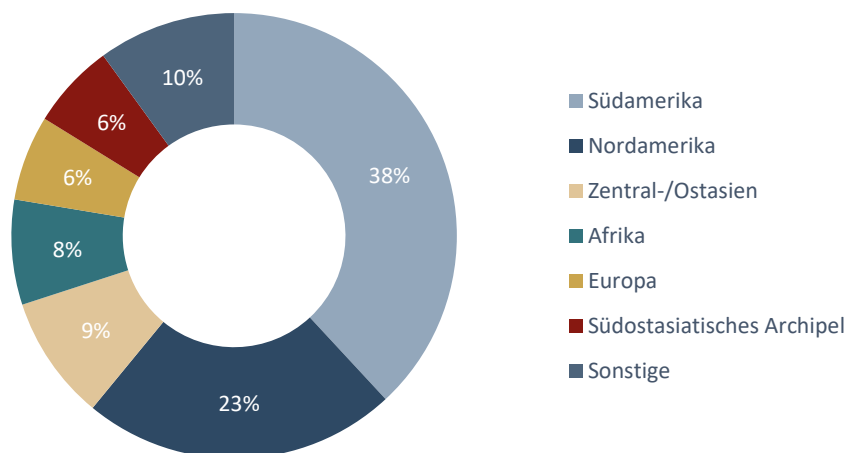
## 2.1.1 Kupfer

### Vorkommen

Abbildung 2-1 gibt einen Überblick über die weltweite Verteilung der bekannten *natürlichen Kupfer-vorkommen*, die sich auf ca. 2,1 Milliarden Tonnen Kupferinhalt belaufen (Hammarstrom et al. 2021). Insgesamt ist ein großer Teil dieser Ressourcen (ca. 60 Prozent) auf dem amerikanischen Kontinent vorzufinden. Der Rest der Ressourcen ist relativ gleichmäßig auf die anderen Regionen verteilt. Europa weist einen Anteil von 6 Prozent an den bekannten natürlichen Kupfervorkommen auf.

### Abbildung 2-1: Globale Verteilung der identifizierten Kupferressourcen

Gewichtsprozent



Quelle: Hammarstrom et al. (2021).

### Prozessrouten

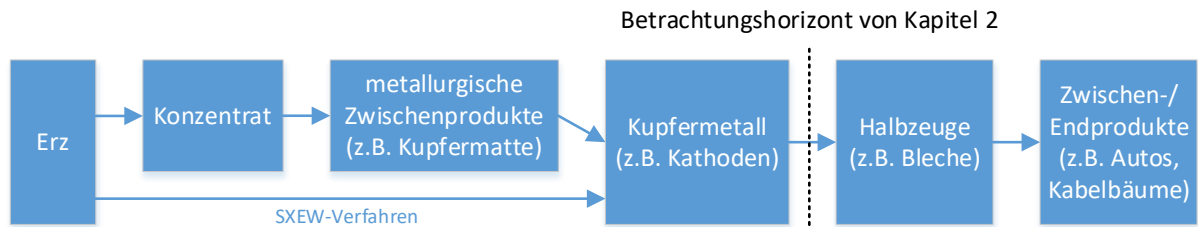
Die *Kupfergewinnung und -verarbeitung* bis zum Endprodukt umfasst viele Prozessschritte und Produkte<sup>5</sup> (vgl. Abbildung 2-2). Im Folgenden wird diese stark vereinfacht und ohne Anspruch auf Vollständigkeit dargestellt (vgl. z.B. Soulier et al. 2018, Dorner 2020).

Kupfer kann aus verschiedenen Lagerstätten bzw. Erzen gewonnen werden (Bergbau). Der Großteil des Kupfers wird aus sulfidischem Erz gewonnen, das entlang der pyrometallurgischen Prozessroute verarbeitet wird. Sehr vereinfacht ausgedrückt, wird auf dieser Route zunächst Konzentrat aus Erz (durch Zerkleinerung und Flotation) hergestellt. Anschließend werden auf der pyrometallurgischen Prozessstufe, die u.a. das Schmelzen und verschiedene Formen der Raffination (u.a. Elektrolyse) beinhaltet, verschiedene metallurgische Zwischenprodukte (Kupfermatte, Blister-, Anodenkupfer) hergestellt. Aus diesen wird wiederum „Kupfermetall“ (raffiniertes Rohkupfer in verschiedenen Formen, z.B. Kathoden) erzeugt. Ein deutlich kleinerer Teil des weltweit gewonnenen Kupfers (ca. 20 Prozent) wird

<sup>5</sup> Siehe z.B. die entsprechenden Kapitel in Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry (2003).

aus oxydischem Erz entlang der hydrometallurgischen Prozessroute („SX/EW“), die u.a. Laugung und Elektrolyse umfasst, gewonnen. Insgesamt werden bei der Kupferproduktion neben reinem Kupfer auch Kupferlegierungen erzeugt; die bekanntesten sind Bronze und Messing.

### Abbildung 2-2: Vereinfachte Darstellung der Kupfermetallwertschöpfungskette



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Soulier et al. (2018) und Dorner (2020).

Aus den metallurgischen Zwischenprodukten werden verschiedene Formen von Halbzeug (z.B. Bleche und Profile) und daraus verschiedene Zwischen- und Endprodukte (z.B. Kabelbäume für Fahrzeuge, Spulen) hergestellt. Am Ende der Produktlebenszeit wird Kupfer (Altschrott) z.T. recycelt. Auch die in den Produktionsprozessen anfallenden Abfälle (Neuschrott) werden der Produktion z.T. wieder zugeführt.<sup>6</sup> Die Produkte der verschiedenen Wertschöpfungsstufen (Konzentrat, metallurgische Zwischenprodukte, Halbzeug, Zwischen-, Endprodukte, Schrotte) werden national und international gehandelt und in entsprechenden Statistiken erfasst.

#### Produktion

Die Länderverteilung der weltweiten Produktion von Kupfer auf den Produktionsstufen Bergbau und Raffination ist in Abbildung 2-3 dargestellt. Im Jahr 2020 belief sich der weltweite Bergbauoutput auf ca. 20 Millionen Tonnen Kupferinhalt; die weltweite Raffinadeproduktion betrug 25 Millionen Tonnen Kupferinhalt (U.S. Geological Survey 2022). Die Länderverteilung des Kupferbergbauoutputs ähnelt der Länderverteilung der Kupferressourcen: der Großteil der Produktion ist in Südamerika, insbesondere in Chile (28 Prozent der weltweiten Produktion) und Peru (10 Prozent der weltweiten Produktion), angesiedelt. Der Rest der weltweiten Erzförderung ist recht gleichmäßig auf viele Länder verteilt: China, Demokratische Republik Kongo, USA und Australien haben Anteile von jeweils 8 Prozent, 8 Prozent, 6 Prozent und 4 Prozent an der weltweiten Produktion; bei sechs weiteren Ländern (Sambia, Russland, Mexiko, Kanada, Kasachstan und Indonesien) übersteigen die Produktionsanteile jeweils 2 Prozent. Das EU-Land mit dem größten Bergbauoutput ist Polen mit einem Anteil von rund 2 Prozent am weltweiten Bergbauoutput.

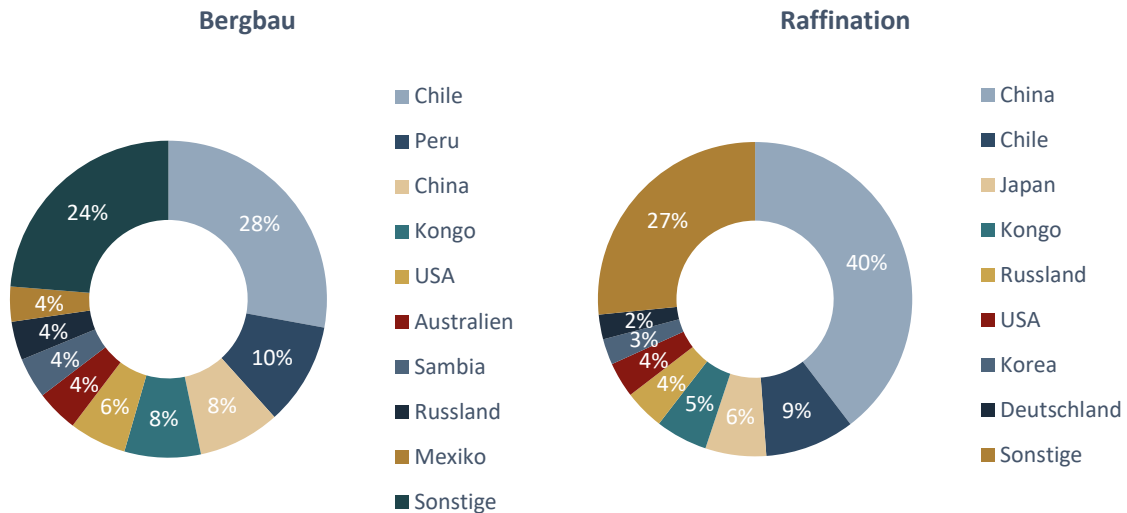
China ist mit einem Produktionsanteil von 40 Prozent der weltweit wichtigste Produzent von raffiniertem Kupfer. Der Rest der Raffinadekupferproduktion ist relativ gleichmäßig über viele Länder der Welt verteilt: Chile, Japan, die Demokratische Republik Kongo und Russland haben Produktionsanteile von jeweils 9 Prozent, 6 Prozent, 5 Prozent und 4 Prozent; sechs weitere Länder (USA, Korea, Deutschland, Polen, Kasachstan und Mexiko) haben Produktionsanteile, die um 2 Prozent oder höher liegen.

<sup>6</sup> Insgesamt haben Schrotte einen großen Anteil an der in Deutschland eingesetzten Kupfermenge, und Deutschland gehört mit ca. 550 kt Importmenge gleich nach China zu den weltgrößten Kupferschrottimporteuren im Jahr 2020 (HS-Kategorie „Copper; waste and scrap“) (WITS 2023).

Deutschland ist unter den EU-Raffinadekupferproduzenten der größte Produzent mit einem Anteil von 2,5 Prozent an der weltweiten Produktion auf dieser Wertschöpfungsstufe.

**Abbildung 2-3: Globale Verteilung der Kupferproduktion im Jahr 2020**

Bergbau und Raffination; Gewichtsprozent



Quelle: U.S. Geological Survey (2022).

**Angebotsrisiko und Kritikalität**

Für Kupfer ergeben sich folgende Einschätzungen des Angebotsrisikos und der Kritikalität:

- ▶ Die letzte verfügbare Ausgabe der DERA Rohstoffliste (DERA 2021), in der der DERA-Ansatz zur Rohstoffangebotsrisikobewertung Anwendung findet, basiert auf Zahlen für das Jahr 2018 und gibt bei Kupfer für Bergwerksprodukte ein niedriges Angebotsrisiko aus. Insbesondere wird die Länderkonzentration des Bergwerksproduktangebots als niedrig eingestuft, was sich mit der in Abbildung 2-3 dargestellten heterogenen Verteilung der Produktion deckt. Das (gewichtete) Länderrisiko der Länder, die Bergwerksprodukte anbieten, wird als mäßig eingestuft. Bei den Raffinadekupferprodukten gibt DERA (2021) hingegen ein mäßiges Angebotsrisiko aus, da hier nicht nur das Länderrisiko, sondern auch die Länderkonzentration als mäßig eingestuft wird.
- ▶ Der IWC-Rohstoff-Risiko-Index gibt für die Bergwerksproduktion von Kupfer ein hohes Risiko für das Jahr 2022 aus. Diese Einstufung wird durch die Zahlen zu der statischen Reichweite (Vergleich von Förderung und Ressourcen), den Substitutionsmöglichkeiten, der politischen Relevanz und der Bedeutung als Zukunftstechnologie getragen (vgl. vbw 2022).
- ▶ Die Europäische Kommission (2023b) stuft im Jahr 2023 Kupfer als einen strategischen Rohstoff ein. Diese Einstufung ist nicht auf die Höhe des Angebotsrisikos, das bei Kupfer relativ gering ist, zurückzuführen, sondern auf die große Bedeutung Kupfers im Bereich elektrischer Anwendungen (Europäische Kommission 2023b).

Neben der Betrachtung der länderbezogenen Marktstruktur kann die Kupferangebotsseite auch auf Firmenebene (hier basierend auf S&P-Daten) analysiert werden. Dabei zeigt sich, dass Codelco (mit Hauptsitz in Chile), Freeport-McMoRan Inc. (Hauptsitz in den USA), BHP Group Limited (Hauptsitz in Australien) und Glencore (Hauptsitz in der Schweiz) die größten Firmen im Kupferbergbau im Jahr 2021

waren, und dass der Anteil der größten zehn Unternehmen an der globalen Bergwerksproduktion von Kupfer im Jahr 2021 47,5 Prozent betrug. Größte Raffinerien im Jahr 2018 waren Guixi (Jiangxi Copper Corporation), Jinchuan (Jinchuan Non Ferrous Co.), Daye/Hubei (Daye Non-Ferrous Metals Co.) (Dorner 2020).

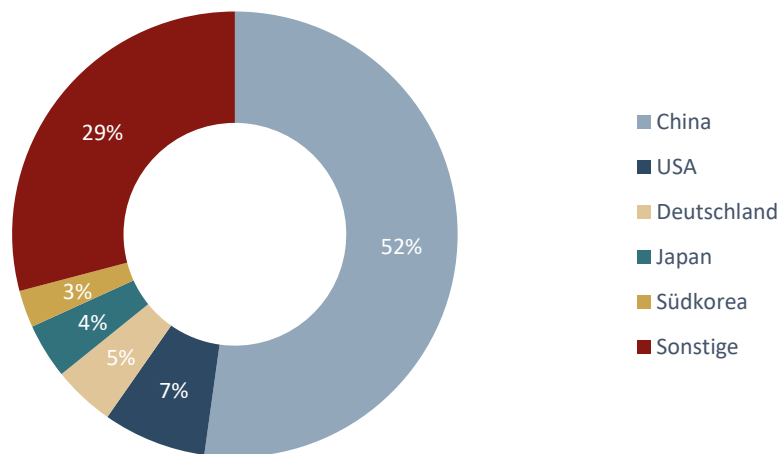
### Nachfrage

Dem vergleichsweise breit aufgestellten Angebot steht eine relativ konzentrierte Nachfrage gegenüber. Wie Abbildung 2-4 zeigt, ist China der weltweit größte Kupfernachfrager – etwa die Hälfte der weltweiten Raffinadekupfernachfrage kommt aus China. Deutschland steht gleich nach den USA an dritter Stelle der weltweit größten Raffinadekupfernachfrager.

---

### Abbildung 2-4: Globale Verteilung der Nachfrage nach (Raffinade-)Kupfer

Jahr: 2019; Gewichtsprozent



Quelle: DERA (o. J.).

---

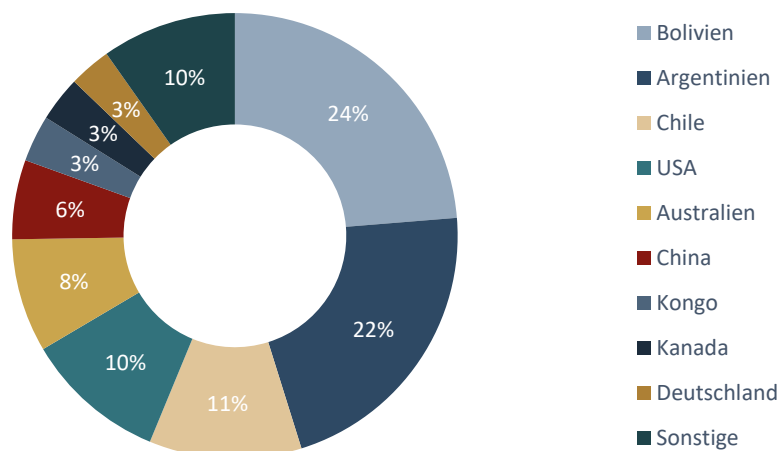
## 2.1.2 Lithium

### Vorkommen

Abbildung 2-5 gibt einen Überblick über die weltweite Verteilung der bekannten *natürlichen Lithiumvorkommen*, die sich auf ca. 90 Millionen Tonnen Lithiuminhalt belaufen (U.S. Geological Survey 2022). Insgesamt ist ein Großteil dieser Ressourcen (ca. 70 Prozent) auf dem amerikanischen Kontinent vorzufinden (v.a. in Südamerika). 3 Prozent der weltweit bekannten Lithiumressourcen befinden sich in Deutschland.

### Abbildung 2-5: Globale Verteilung der identifizierten Lithiumressourcen

Gewichtsprozent



Quelle: U.S. Geological Survey (2022).

### Prozessrouten

Die *Gewinnung und -verarbeitung* bei Lithium umfasst eine Reihe von Prozessschritten, alternative Produktionsrouten<sup>7</sup> und Produkte<sup>8</sup>, die im Folgenden (vgl. Abbildung 2-6) stark vereinfacht und ohne Anspruch auf Vollständigkeit dargestellt werden (vgl. z.B. Schmidt 2017, Rames et al. 2019, Europäische Kommission 2020a).

Für die Produktion von Lithium gibt es derzeit zwei *Hauptprozessrouten*, die zu qualitativ gleichwertigen Produkten führen können (Schmidt 2017, Schmidt et al. 2023, Europäische Kommission 2020a):

- ▶ Zum einen wird Lithium aus lithiumhaltiger Sole (in Südamerika) gewonnen. Hierzu wird die Sole zunächst nach vorbereitenden Schritten (z.B. Behandlung mit Löschkalk) durch Sonneneinstrah-

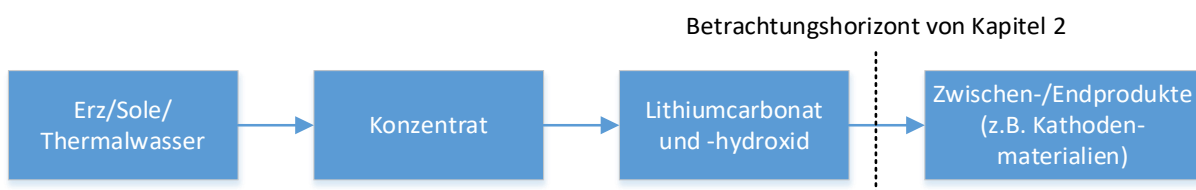
<sup>7</sup> Im Detail variieren die Prozesse/Prozessrouten je nach chemischer Zusammensetzung der Ausgangsstoffe (z.T. auch bei gleichem Ursprung des Ausgangsstoffs), Unternehmen, Verwendungszweck... (siehe z.B. Schmidt 2017, Schmidt et al. 2023).

<sup>8</sup> Siehe z.B. die entsprechenden Kapitel in Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry (2003).

lung in Evaporationsbecken zu Konzentrat verarbeitet. Dabei werden verschiedene Salze vom lithiumhaltigen Konzentrat abgetrennt. Anschließend wird aus dem Konzentrat durch Behandlung mit Chemikalien (z.B. Natriumkarbonat, Kalk) und in weiteren Prozessschritten (darunter Filtration, Zentrifuge, Waschen, Trocknen, Mahlen) *Lithiumcarbonat* extrahiert.

- ▶ Zum anderen wird Lithium aus lithiumhaltigen Erzen (v.a. Pegmatit) gewonnen. Hierbei wird das Erz zunächst in einer Reihe von Prozessschritten (z.B. Sortieren, Zerkleinern, Mahlen, Sieben, Flotation) zu Konzentraten verschiedener Grade verarbeitet.<sup>9</sup> Anschließend werden die Konzentrate in einer Reihe weiterer Prozessschritte – hier existieren verschiedene Prozessrouten, die u.a. Mahlen, Erhitzen, Zugabe von Schwefelsäure, Wasser, Kalziumkarbonat und Filtration beinhalten – hauptsächlich zu *Lithiumcarbonat* und *Lithiumhydroxid* weiterverarbeitet.

### Abbildung 2-6: Vereinfachte Darstellung der Lithiumwertschöpfungskette



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Schmidt (2017), Rames et al. (2019) sowie Europäische Kommission (2020a).

Die auf den beiden Prozessrouten gewonnenen Chemikalien (hauptsächlich Lithiumcarbonat und Lithiumhydroxid) werden zu anderen Zwischen- und Endprodukten weiterverarbeitet, z.B. zu anderen Lithiumchemikalien (Lithiumchlorid, -sulfat, ...), Lithiummetall oder Batteriematerialien (z.B. Kathodenmaterialien, wie Lithiumkobaltoxid und Lithiummanganoxid). Recycling (am Produktlebensende) spielt für die Lithiumversorgung noch keine große Rolle. Es existieren jedoch z.B. Batterierecycling(pilot)anlagen im industriellen Maßstab, und es wird erwartet, dass in einigen Jahren signifikante, für Recycling bestimmte Rücklaufmengen an Traktionsbatterien generiert werden (siehe z.B. Bittner et al. 2021). Die in den Produktionsprozessen (z.B. in der Batterieproduktion) anfallenden Abfälle werden der Produktion z.T. wieder zugeführt. Die Produkte der verschiedenen Wertschöpfungsstufen (Konzentrat, Lithiumcarbonat, Lithiumhydroxid, daraus verarbeitete Zwischenprodukte und Endprodukte) werden national und international gehandelt und in entsprechenden Statistiken z.T. erfasst.

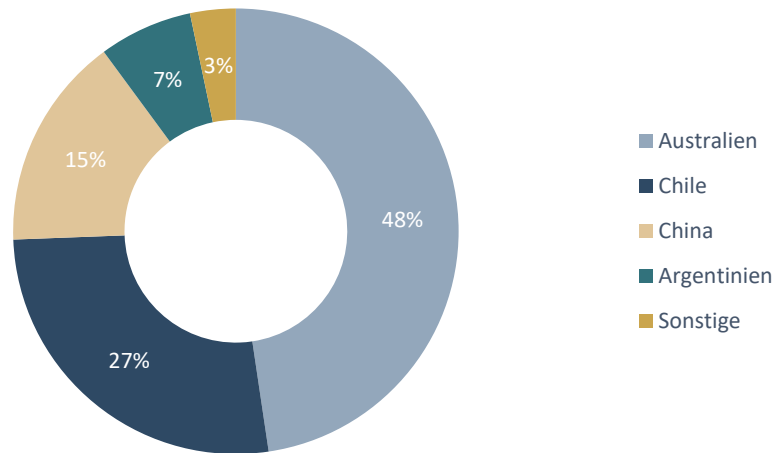
#### Produktion

Wie bei Kupfer wird hier die globale Marktsituation nur im Hinblick auf die rohstoff-/bergbaunahe Wertschöpfungsstufe diskutiert, wobei die Produktionsstatistik bei Lithium nicht zwischen Bergbau und Raffination unterscheidet, sodass hier lediglich der Bergbauoutput dargestellt wird (der auch die Lithiumproduktion aus Sole umfasst). In Abbildung 2-7 ist die Länderverteilung der weltweiten Lithiumproduktion dargestellt. Der weltweite Bergbauoutput belief sich auf ca. 86 Kilotonnen Lithiuminhalt im Jahr 2020 (WMD 2022). Ungefähr die Hälfte des weltweit produzierten Lithiums wurde in Australien (aus Erz) gewonnen. Die restliche Produktion verteilt sich zu einem Großteil auf Südamerika und China.

<sup>9</sup> Die verschiedenen Grade sind für verschiedene Verwendungen bestimmt. z.B. „Chemical Grade“ für Batterien und „Technical Grade“ für Glas (Schmidt 2017; Schmidt et al. 2023).

**Abbildung 2-7: Globale Verteilung der Lithiumproduktion (Bergbau)**

Jahr: 2020; Gewichtsprozent



Quelle: WMD (2022).

**Angebotsrisiko und Kritikalität**

Für Lithium ergeben sich folgende Einschätzungen des Angebotsrisikos und der Kritikalität:

- ▶ DERA (2021) gibt für Lithiumbergwerksprodukte basierend auf den Zahlen für das Jahr 2018 ein mittleres Angebotsrisiko an. Zwar ist das gewichtete Länderrisiko der Lithiumbergwerksproduktion (gemessen an den Worldwide Governance Indicators) niedrig, doch ist die Länderkonzentration der weltweiten Lithiumbergwerksproduktion hoch (vgl. Abbildung 2-7).
- ▶ Der IWC-Rohstoff-Risiko-Index gibt für die Bergwerksproduktion von Lithium ein hohes Risiko für das Jahr 2022 aus. Diese Einstufung wird durch fast alle Unterkomponenten des Indexes getragen – nur die Indexkomponenten, die die Substitutionsmöglichkeiten und das Länderrisiko erfassen sind nicht im roten Bereich (vgl. vbw 2022).
- ▶ Die Europäische Kommission (2023b) stuft Lithium im Jahr 2023 aufgrund des hohen Angebotsrisikos und der hohen wirtschaftlichen Bedeutung als kritisch ein. In der Kritikalitätsbewertung der Europäischen Kommission aus dem Jahr 2017 war es noch als unkritisch bewertet worden. „Battery-Grade-Lithium“ gilt als strategischer Rohstoff (Europäische Kommission 2023a, Annex 1).

Die Analyse der Angebotsseite basierend auf S&P-Daten zeigt, dass auch auf Unternehmensebene eine hohe Marktkonzentration vorherrscht: Der Anteil der zehn größten Unternehmen an der weltweiten Bergwerksproduktion von Lithium im Jahr 2021 betrug 89 Prozent. Gemäß S&P-Daten gehören im Jahr 2021 Sociedad Química y Minera de Chile S.A. (Hauptsitz in Chile), Albemarle Corporation (Hauptsitz in den USA) sowie Pilbara Minerals Limited, Allkem Limited und Mineral Resources Limited (jeweils mit Hauptsitz in Australien) zu den größten Firmen im Lithiumbergbau.

**Nachfrage**

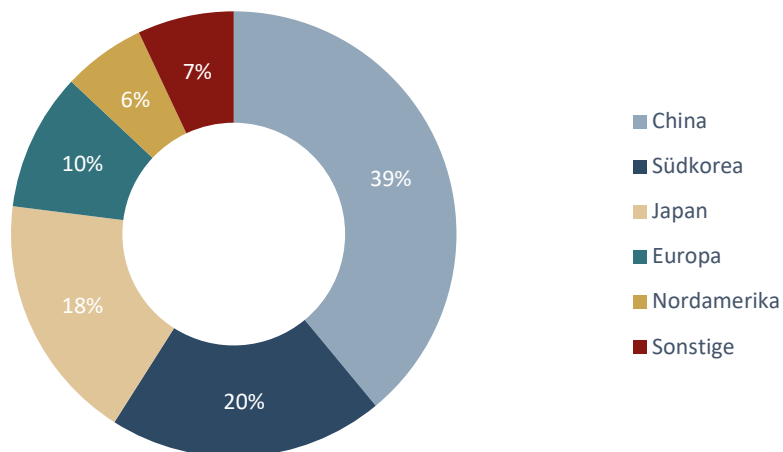
Die weltweite Lithiumnachfrage belief sich im Jahr 2019 auf ca. 58 Kilotonnen Lithiuminhalt. Der Großteil der weltweiten Lithiumnachfrage (mehr als 75 Prozent) kam im Jahr 2019 aus Asien, insbesondere



China, Südkorea und Japan. Im Vergleich dazu hatten Europa (10 Prozent) und die USA (6 Prozent) relativ kleine Nachfrageanteile (siehe Abbildung 2-8).

### Abbildung 2-8: Globale Verteilung der Nachfrage nach Lithium

Jahr: 2019; Gewichtsprozent



Quelle: Haldevang (2020).

### 2.1.3 Seltene Erden

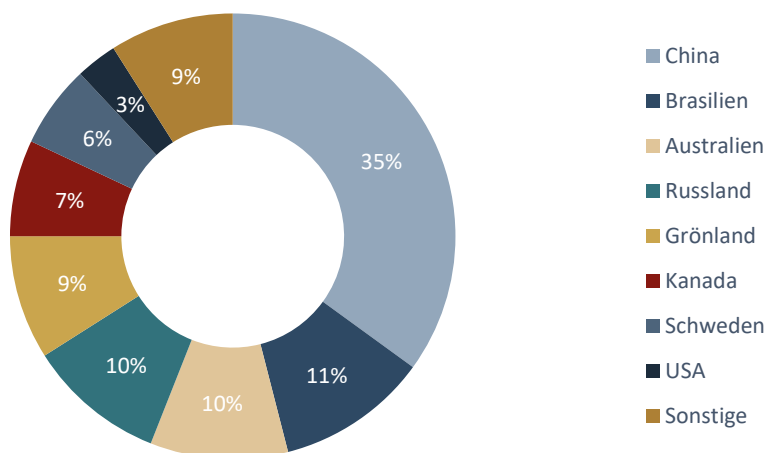
Für den Begriff „Seltene Erden“ und dessen Untergruppen existieren in der Literatur verschiedene Definitionen. Hier und in Kapitel 2 insgesamt wird – Bünzli und McGill (2000) folgend – unter dem Begriff „Seltene Erden“ die Gruppe der folgenden 17 Elemente verstanden: Lanthan, Cer, Praseodym, Neodym, Promethium, Samarium, Europium, Yttrium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium, Lutetium und Scandium. Die Datenlage ist bei den Seltenen Erden – so wie bei vielen anderen Technologierohstoffen – sehr problematisch, sodass von dieser Definition z.T. abgewichen werden muss, um möglichst alle Dimensionen des Marktes zu beschreiben. Auch unterscheiden sich die zu der Gruppe der Seltenen Erden gehörenden Elemente voneinander im Hinblick auf die Marktsituation und die Anwendungsmöglichkeiten. Hier werden im Sinne einer komprimierten Diskussion der Rohstoffsituation in Kapitel 2 nicht einzelne Elemente der Selten-Erd-Gruppe diskutiert, sondern die Gruppe als Ganzes. Dazu wird die in der Literatur übliche Aggregation der Selten-Erd-Elemente über die Umrechnung der Mengen in Einheiten „Selten-Erd-Oxid“ (SEO) vorgenommen.

#### Vorkommen

Abbildung 2-9 gibt einen Überblick über die weltweite Verteilung der bekannten *natürlichen Selten-Erd-Vorkommen*, die sich auf etwa 480 Millionen Tonnen Selten-Erd-Oxid belaufen (Zhou et al. 2017). Insgesamt ist ein Großteil dieser Ressourcen (etwa 35 Prozent) in China vorzufinden. Daneben haben Brasilien, Australien, Russland und Grönland einen Anteil an den weltweiten Ressourcen von jeweils rund 10 Prozent.

**Abbildung 2-9: Globale Verteilung der identifizierten Selten-Erd-Ressourcen**

Gewichtsprozent

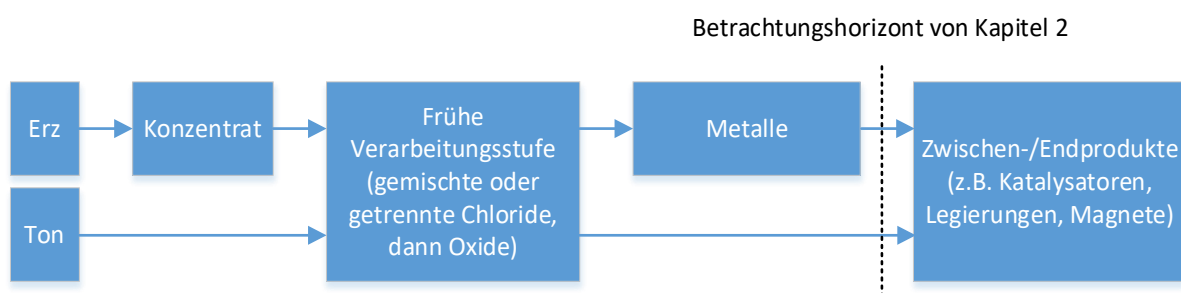


Quelle: Zhou et al. (2017).

*Prozessrouten*

Die *Gewinnung und -verarbeitung* bei Seltenen Erden umfasst viele Prozessschritte und alternative Produktionsrouten, die sich je nach Unternehmen, Mine und Quelle voneinander unterscheiden (siehe z.B. Bünzli und McGill 2000) und im Folgenden (vgl. Abbildung 2-10) stark vereinfacht und ohne Anspruch auf Vollständigkeit dargestellt werden (vgl. z.B. British Geological Survey 2011, Bünzli und McGill 2000, Erdmann 2021).

**Abbildung 2-10: Vereinfachte Darstellung der Selten-Erd-Wertschöpfungskette**



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf British Geological Survey (2011), Bünzli und McGill (2000) sowie Erdmann (2021).

Seltene Erden werden aus verschiedenen Erzen (Bastnäsit, Monazit, Xenotim) gewonnen, für die verschiedene Verarbeitungsrouten genutzt werden. Der Großteil der Seltenen Erden wird als Beiprodukt gewonnen. Insbesondere sind Seltene Erden nicht nur Beiprodukte der Gewinnung anderer Elemente bzw. derer Erze (z.B. der Gewinnung von Eisenerz), sondern auch untereinander als Beiprodukte zu verstehen. Zu den ersten Verarbeitungsstufen der Seltenen Erden gehören Konzentration (z.B. Zermahlen, Mahlen, verschiedene Formen der Separation, Flotation), „Digestion“ (Erhitzung, Behandlung mit Säuren / Laugen, Laugung), Trennung der Seltenen Erden (voneinander), z.T. weitere Behandlung (wie

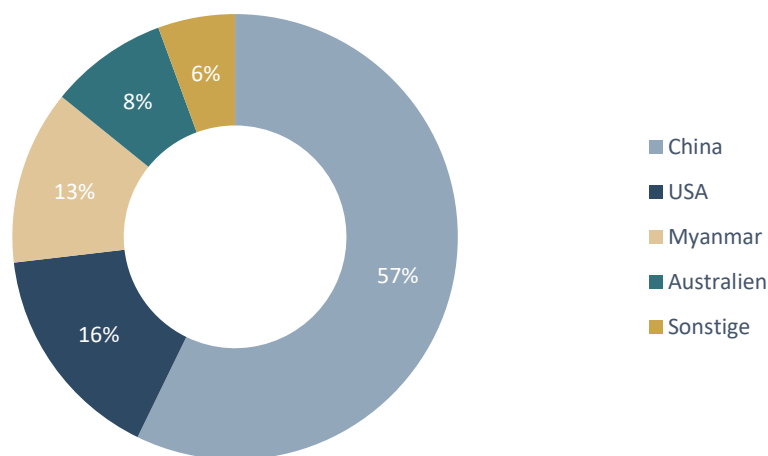
Konversion, Laugung), weitere Verfeinerung („Purification“) und weitere Produktionsschritte (z.B. Elektrolyse zur Metallherstellung). Unter diesen Verarbeitungsschritten ist besonders die Trennung aufwändig und herausfordernd aufgrund der chemischen Ähnlichkeit der Seltenen Erden untereinander. Wie bei Kupfer und Lithium wird der in den frühen Verarbeitungsphasen gewonnene Rohstoff zu anderen Zwischen- und Endprodukten weiterverarbeitet und die/das in der Verarbeitung gewonnene(n) Chemikalien/Metall, sowie die daraus fabrizierten Zwischen- und Endprodukte international gehandelt, wobei die Statistiken zur Erfassung dieses Handels z.T. sehr grob sind. Recycling der Seltenen Erden spielt keine signifikante Rolle (vom Standpunkt der Rohstoffversorgung aus gesehen).

### Produktion

Wie bei Lithium wird hier die globale Marktsituation nur im Hinblick auf die Stufe des Bergbaus diskutiert. In Abbildung 2-11 ist die Länderverteilung der weltweiten Selten-Erd-Produktion, die sich im Jahr 2020 auf etwa 245 Kilotonnen Selten-Erd-Oxid belief, dargestellt (U.S. Geological Survey 2022). Diese Daten sind jedoch unter zwei Vorbehalten zu betrachten (U.S. Geological Survey 2022): Zum einen wird hier der Großteil der Scandium-Produktion nicht eingerechnet; zum anderen repräsentiert der Anteil Chinas lediglich die Produktionsquote bzw. die dokumentierte Produktion in China. Neben China haben lediglich USA, Myanmar und Australien signifikante, jedoch im Verhältnis zu China kleine Selten-Erd-Produktionsmengen.

### Abbildung 2-11: Globale Verteilung der Selten-Erd-Produktion (Bergbau)

Jahr: 2020; Gewichtsprozent



Quelle: U.S. Geological Survey (2022).

### Angebotsrisiko und Kritikalität

Für die Seltenen Erden ergeben sich folgende Einschätzungen des Angebotsrisikos und der Kritikalität:

- ▶ DERA (2021) gibt für die Bergwerksproduktion von Seltenen Erden basierend auf den Zahlen für das Jahr 2018 ein hohes Angebotsrisiko an. Diese Einordnung ist v.a. auf die hohe Länderkonzentration der weltweiten Selten-Erd-Produktion (vgl. Abbildung 2-11), aber auch auf das mäßig hohe gewichtete Länderrisiko (gemessen an den Worldwide Governance Indicators) zurückzuführen.

- ▶ Der IWC-Rohstoff-Risiko-Index gibt für die Bergwerksproduktion von Seltenen Erden ein hohes Risiko für das Jahr 2022 aus. Diese Einstufung wird durch die hohe Länderkonzentration des Angebots, die hohe politische Relevanz und die Bedeutung der Seltenen Erden als Zukunftstechnologie getragen (vgl. vbw 2022).
- ▶ Die Europäische Kommission stuft die Seltenen Erden seit der ersten EU-Kritikalitätsstudie aufgrund des hohen Angebotsrisikos und der hohen wirtschaftlichen Bedeutung als kritisch ein (Europäische Kommission 2010, 2023b). Die Seltenen Erden sind auch als strategische Rohstoffe klassifiziert (Europäische Kommission 2023a, Annex 1).

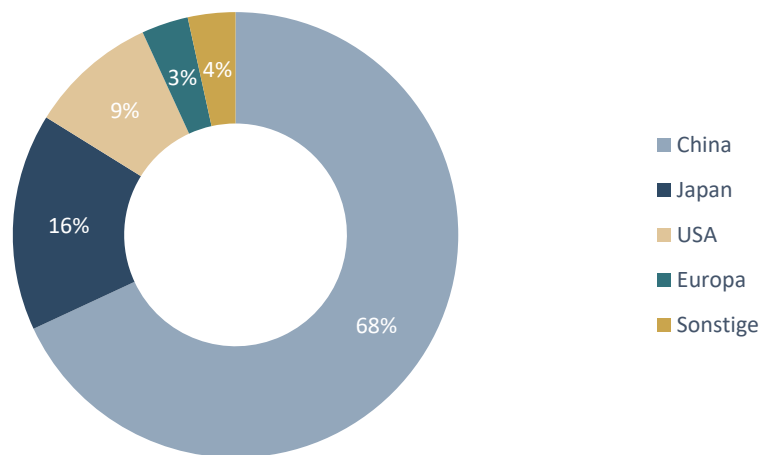
Aufgrund eines kürzlich stattgefundenen Mergers aus China Minmetals Rare Earth, Chinalco Rare Earth & Metals und China Southern Rare Earth Group ist davon auszugehen, dass China Northern Rare Earth Group und China Rare Earth Group derzeit die größten Firmen in der Selten-Erd-Produktion sind (vgl. Daly 2021).

### Nachfrage

Die weltweite Selten-Erd-Nachfrage belief sich im Jahr 2019 auf rund 155 Kilotonnen Selten-Erd-Oxid (U.S. Geological Survey 2020). Der Großteil der weltweiten Selten-Erd-Nachfrage (84 Prozent) kam im Jahr 2019 aus Asien, und v.a. aus China (68 Prozent). Im Vergleich dazu hat Europa mit 3 Prozent einen relativ kleinen Anteil an der weltweiten Selten-Erd-Nachfrage (siehe Abbildung 2-12).

### Abbildung 2-12: Globale Verteilung der Nachfrage nach Seltenen Erden

Jahr: 2019; Gewichtsprozent



Quelle: Europäische Kommission (2020a), U.S. Geological Survey (2020), Simmons (2016), eigene Berechnungen.

## 2.2 Deutschland: Lieferbeziehungen und Risiken

Nach der in Kapitel 2.1 vorgenommenen Analyse des globalen Marktes, auf dem Deutschland als ein Akteur auftritt, folgt in diesem Kapitel (Kapitel 0) eine Betrachtung der konkreten Zuliefererstruktur (bzw. der Rohstoffimporte) Deutschlands und der damit verbundenen Versorgungsrisiken für Deutschland. Insbesondere werden hier die Herkunft der Rohstoffimporte, die Konzentration der Zuliefererstruktur und die damit verbundenen politischen, sozialen und umweltbezogenen Risiken vom Standpunkt Deutschlands aus diskutiert. Zur Abbildung der internationalen Handelsströme werden die Daten aus der UN-Comtrade-Datenbank auf Basis des Harmonisierten Systems zur Codierung von Waren (HS) verwendet. Ausgewiesen werden die Importdaten für den Durchschnitt der Jahre 2016 bis 2020, analog zu den Informationen aus den Produktionsstatistiken für das Jahr 2020. Die Daten für die Jahre 2018 bis 2022 zeichnen für die Länderzusammensetzung der Importe ein sehr ähnliches Bild.

### Methodische Vorgehensweise in Kapitel 2.2

Zur Bewertung der Importstruktur Deutschlands werden in Kapitel 2.2 drei Indizes herangezogen: Der Herfindahl-Hirschman-Index, der aggregierter Wert der Worldwide Governance Indicators sowie der Environmental Performance Index.

- ▶ Der Herfindahl-Hirschman-Index (HHI) ist ein in der Marktanalyse weit verbreitetes Konzentrationsmaß, das auch im Kontext der Rohstoffmarktanalyse zur Bemessung der Länderangebotskonzentration verwendet wird. Für die Indexwerte werden DERA (2021) folgend Schwellenwerte eingeführt, sodass die Länderkonzentration des Angebots als „gering“ (HHI-Wert unter 1.500), „mäßig“ (HHI-Wert zwischen 1.500 und 2.500) oder „hoch“ (HHI-Wert über 2.500) eingestuft werden kann (siehe Kapitel 5).
- ▶ Das mit der Importstruktur verbundene soziale und politische Risiko wird mittels der Worldwide Governance Indicators (WGI) erfasst. Auch hier werden DERA (2021) folgend Schwellenwerte definiert, sodass sich das Risiko als „gering“ (WGI-Wert über 0,5), „mäßig“ (WGI-Wert zwischen -0,5 und 0,5) oder „hoch“ (WGI-Wert unter -0,5) einstufen lässt (siehe Kapitel 5).
- ▶ Zur Erfassung der mit der Importstruktur verbundenen Umweltrisiken wird der Environmental Performance Index herangezogen. Zur Einordnung der Indexwerte wird der Quantilsrang angegeben, der das mit der Importstruktur verbundene Umweltrisiko in das Umweltrisikoranking aller Länder der Welt einordnet (siehe Kapitel 5).

### 2.2.1 Kupfer

Auch in diesem Kapitel werden nur die ersten Wertschöpfungskettenglieder, insbesondere der Bergbau und die ersten Rohstoffverarbeitungsstufen (Raffination) analysiert. Dies bedeutet im Fall von Kupfer, dass die zuvor in Kapitel 2.1.1 diskutierten ersten drei Wertschöpfungsstufenprodukte betrachtet werden:

- ▶ 1. Wertschöpfungsstufe: Erze/Konzentrate
- ▶ 2. Wertschöpfungsstufe: metallurgische Zwischenprodukte
- ▶ 3. Wertschöpfungsstufe: raffiniertes Rohkupfer (exklusive Legierungen).

In Abbildung 2-13 sind für die Jahre 2016-2020 die durchschnittlichen jährlichen Importe Deutschlands von Produkten der ersten Wertschöpfungsstufe (Erze/Konzentrate) und der dritten Wertschöpfungsstufe (raffiniertes Rohkupfer exklusive Legierungen) dargestellt. Die zweite Wertschöpfungsstufe (metallurgische Zwischenprodukte) wurde hier nicht dargestellt, da sie mengenmäßig vernachlässigbar ist. Für den Betrachtungszeitraum lässt sich die Versorgungssituation auf den drei Wertschöpfungsstufen wie folgt zusammenfassen:

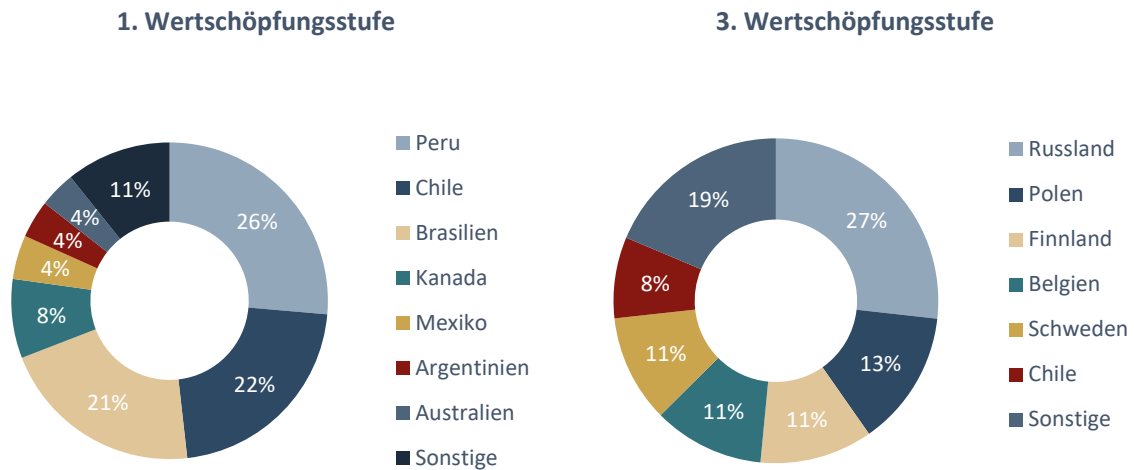
- ▶ Die durchschnittlichen jährlichen Importe von Produkten der ersten Wertschöpfungsstufe nach Deutschland betragen 345 Kilotonnen Kupferinhalt. Insgesamt gehörten zu den Ländern, die an Deutschland Kupfererz/-konzentrat liefern, die weltweit größten Produzenten auf dieser Wertschöpfungsstufe (Chile und Peru) sowie eine Reihe weiterer Länder, die in der Periode 2016-2020 signifikanten Bergbauoutput hatten: Brasilien, Kanada, Mexiko, Australien, Argentinien (vgl. z.B. WMD 2022). Deutschland hatte im Betrachtungszeitraum keinen (signifikanten) eigenen Output an Bergbauprodukten (siehe z.B. WMD 2022 oder DESTATIS o. J.).
- ▶ Auf der zweiten Wertschöpfungsstufe (metallurgische Zwischenprodukte) betragen die durchschnittlichen jährlichen Importe Deutschlands ca. 75 Kilotonnen Kupferinhalt. Diese wurden zu 58 Prozent aus Bulgarien importiert (eigene Berechnungen basierend auf UN-Comtrade-Daten).
- ▶ Die durchschnittlichen jährlichen Importe von Produkten der dritten Wertschöpfungsstufe nach Deutschland beliefen sich auf 644 Kilotonnen Kupferinhalt (eigene Berechnung basierend auf UN-Comtrade-Daten). Der Großteil der nach Deutschland importierten Produkte der dritten Wertschöpfungsstufe kam aus Russland, Polen, Finnland, Belgien, Schweden und Chile. Diese Länder haben eigene „Smelter“/Raffinerien und bis auf Belgien auch eigenen Kupferbergbau (siehe z.B. ICSG 2022, U.S. Geological Survey 2023, WMD 2022).

Im Rahmen der Studie wurden auch die Zulieferer der Länder, die an Deutschland Produkte der 3. Wertschöpfungsstufe liefern, nachverfolgt; betrachtet wurden zum einen Zulieferungen von Produkten der 1. bis 3. Wertschöpfungsstufe und zum anderen Zulieferungen von Produkten der 1. bis 2. Wertschöpfungsstufe. Aus dieser Nachverfolgung ergibt sich, dass neben den in Abbildung 2-13 aufgezählten Ländern auch Kasachstan und Bulgarien signifikante Rollen in der deutschen Zuliefererkette spielen.

### Abbildung 2-13: Durchschnittliche jährliche Kupferimporte nach Deutschland

2016-2020, 1. und 3. Wertschöpfungsstufe; Gewichtsprozent;

1. Wertschöpfungsstufe: Kupfererz/-konzentrat. 3. Wertschöpfungsstufe: raffiniertes Rohkupfer (exklusive Legierungen)



Datenquelle: UN Comtrade.

Während die (globale) Angebotskonzentration, der Deutschland als Akteur auf dem globalen Markt gegenübersteht, in Kapitel 2.1.1 diskutiert wurde, wird hier die *Konzentration der deutschen Kupferimportstruktur* im Zeitraum 2016-2020 betrachtet. Wie aus der vorigen Diskussion (vgl. Abbildung 2-13) ersichtlich,

- ▶ stammen 69 Prozent der deutschen Kupferimporte auf der 1. Wertschöpfungsstufe (Kupfererz/-konzentrat) aus Peru, Chile und Brasilien zu jeweils ähnlichen Anteilen,
- ▶ kommen 58 Prozent der nach Deutschland importierten metallurgischen Zwischenprodukte (2. Wertschöpfungsstufe) aus Bulgarien,
- ▶ sind die deutschen Importe auf der 3. Wertschöpfungsstufe (Rohkupfer) deutlich diversifizierter als auf den anderen zwei Stufen: der größte Zulieferer (Russland) hat einen Importanteil von 27 Prozent.

Insgesamt unterscheidet sich die Länderkonzentration der deutschen Kupferimporte in der Periode 2016-2020 je nach Verarbeitungsstufe. Dieser Eindruck lässt sich mit Hilfe des Herfindahl-Hirschman-Index formalisieren. Für die drei Wertschöpfungsstufen ergeben sich folgende Herfindahl-Hirschman-Indexwerte der deutschen Importe in der Periode 2016-2020 (eigene Berechnungen auf Basis der UN-Comtrade-Daten):

- ▶ 1. Wertschöpfungsstufe (Kupfererz/-konzentrat): 1.743 (mäßige Konzentration)
- ▶ 2. Wertschöpfungsstufe (metallurgische Zwischenprodukte): 3.766 (hohe Konzentration)
- ▶ 3. Wertschöpfungsstufe (Rohkupfer exklusive Legierungen): 1.372 (niedrige Konzentration)

Werden politische und soziale Risiken bzw. die Qualität der „Governance“/Institutionen anhand der Worldwide-Governance-Indikator-Werte gemessen, so zeigen sich für die im Zeitraum 2016-2020

größten Kupferzulieferländer Deutschlands je Wertschöpfungsstufe folgende Auffälligkeiten (auf Basis der Daten aus UN Comtrade und Weltbank 2023):

- ▶ Peru und Brasilien, die zusammen 47 Prozent der deutschen Importe von Kupfererz/-konzentrat (1. Wertschöpfungsstufe) abdecken, weisen jeweils ein mäßiges Länderrisiko auf (WGI-Werte in Höhe von -0,1 und -0,2).
- ▶ Bulgarien, das 58 Prozent der deutschen Importe von metallurgischen Zwischenprodukten (2. Wertschöpfungsstufe) abdeckt, weist ebenfalls ein mäßiges Länderrisiko auf (WGI-Wert in Höhe von 0,2).
- ▶ Bei den Ländern, aus denen der Großteil der deutschen Importe von raffiniertem Rohkupfer (3. Wertschöpfungsstufe) kommt, ist mit Ausnahme Russlands (WGI-Wert: -0,65) kein hohes Länderrisiko zu beobachten.

Der mit den Importmengen gewichtete Durchschnitt der WGI-Werte der Länder, die in der Periode 2016-2020 an Deutschland Kupfer geliefert haben, beläuft sich auf 0,36 bei Zulieferern der Produkte der 1. Wertschöpfungsstufe, 0,29 bei Zulieferern der Produkte der 2. Wertschöpfungsstufe und 0,64 bei Zulieferern der Produkte der 3. Wertschöpfungsstufe. Insgesamt kann das Risiko gemessen an den WGI-Werten je nach Wertschöpfungsstufe als niedrig und mäßig, nicht aber hoch eingestuft werden.

Im Zeitraum 2016-2020 weisen die Länder, die zu den wichtigsten Kupferzulieferern Deutschlands gehören, die folgenden Environmental-Performance-Index-Werte (EPI-Werte) auf, wobei höhere Werte und ein höherer Quantilsrang eine bessere Performance nahelegen:

- ▶ Peru, Chile und Brasilien, aus denen 69 Prozent der deutschen Importe von Kupferprodukten der 1. Wertschöpfungsstufe (Kupfererz/-konzentrat) kommen, weisen EPI-Werte zwischen 40 (Quantilsrang: 45 Prozent) und 47 (Quantilsrang: 65 Prozent) auf.
- ▶ Der für Deutschland mengenmäßig wichtigste Zulieferer von metallurgischen Zwischenprodukten (2. Stufe der Kupferwertschöpfungskette), Bulgarien, hat einen EPI-Wert von 52 (Quantilsrang: 77 Prozent).
- ▶ Unter den Ländern, die zu den für Deutschland mengenmäßig wichtigsten Zulieferern von raffiniertem Rohkupfer (3. Wertschöpfungsstufe) zählen (vgl. Abbildung 2-13), sind zum Teil sehr hohe EPI-Werte (im obersten Perzentil) zu beobachten. Eine Ausnahme ist jedoch Russland mit einem EPI-Wert von 37,5, was einem Quantilsrang von 38 Prozent entspricht.

Für den Zeitraum 2016-2020 ergeben sich je Wertschöpfungsstufe die folgenden, mit den Importmengen gewichteten durchschnittlichen EPI-Werte (eigene Berechnungen auf Basis von Daten aus UN Comtrade und EPI 2023):

- ▶ 45 (Quantilsrang: 59 Prozent) für die Ländergruppe, die Produkte der 1. Wertschöpfungsstufe (Kupfererz/-konzentrat) an Deutschland liefert
- ▶ 51 (Quantilsrang: 76 Prozent) für die Ländergruppe, die Produkte der 2. Wertschöpfungsstufe (metallurgische Zwischenprodukte) an Deutschland liefert
- ▶ 54 (Quantilsrang: 81 Prozent) für die Ländergruppe, die Produkte der 3. Wertschöpfungsstufe (raffiniertes Rohkupfer) an Deutschland liefert.

Insgesamt gehören die Zulieferer Deutschlands im weltweiten EPI-Ranking durchschnittlich zumindest zu den oberen 50 Prozent gemessen am Quantilsrang (bei der 3. Wertschöpfungsstufe zum obersten Quintil).

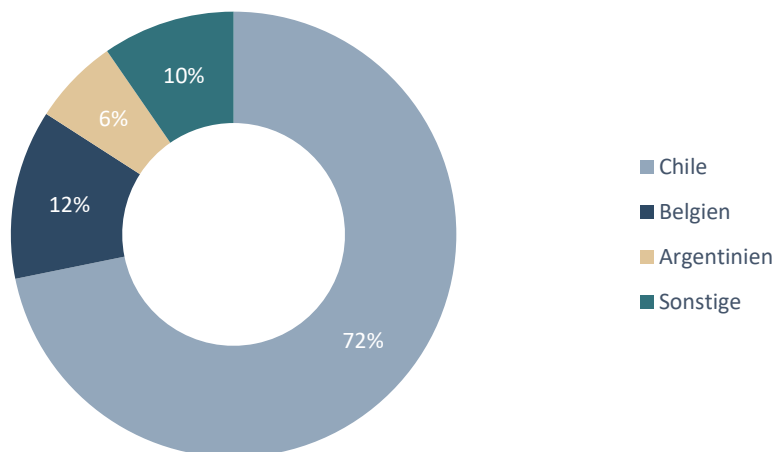


## 2.2.2 Lithium

Wie in Kapitel 0 erläutert, gehören Lithiumerz, -konzentrat, lithiumhaltige Sole, Lithiumhydroxid und Lithiumcarbonat zu den wichtigsten Zwischenprodukten auf den ersten (rohstoffnahen) Stufen der Lithiumwertschöpfungskette. Da es jedoch keine (ausreichend genauen) Klassifikationen und keine vollständigen Daten in der Handelsstatistik für den globalen Handel mit lithiumhaltigen Zwischenprodukten gibt, können hier nur Lithiumcarbonatimporte analysiert werden.<sup>10</sup>

In Abbildung 2-14 sind für die Periode 2016-2020 die durchschnittlichen jährlichen Importe Deutschlands von Lithiumcarbonat dargestellt. In dem Betrachtungszeitraum betragen die durchschnittlichen jährlichen Importe von Lithiumcarbonat nach Deutschland 2,2 Kilotonnen Lithiuminhalt (eigene Berechnung basierend auf UN-Comtrade-Daten). Chile, das zu den weltweit wichtigsten Lithiumproduzenten gehört, ist für Deutschland bei weitem der mengenmäßig wichtigste Lithiumcarbonatlieferant. Belgien, der zweitwichtigste Lithiumcarbonatlieferant für Deutschland, hat genauso wie Deutschland keine eigene Lithiumförderung (siehe z.B. WMD 2022). Eine Analyse der Lithiumcarbonatimporte Belgiens basierend auf UN-Comtrade-Daten zeigt, dass diese zu 94 Prozent direkt aus Chile bezogen werden.

**Abbildung 2-14: Durchschnittliche jährliche Lithiumcarbonatimporte nach Deutschland 2016-2020; Gewichtsprozent**



Datenquelle: UN Comtrade.

Die Auswertung zeigt, dass die deutsche Lithiumcarbonatimportstruktur stark (auf Chile) konzentriert ist. Aus den in Abbildung 2-14 dargestellten Daten lässt sich ein Herfindahl-Hirschman-Index-Wert in Höhe von 5.361 errechnen, der auf eine hohe *Konzentration* hinweist (eigene Berechnungen).

Zur Einordnung der mit der deutschen Lithiumcarbonatimportstruktur verbundenen *politischen und sozialen Risiken* werden die Worldwide-Governance-Indikatoren (WGI) verwendet (vgl. Kapitel 2.2.1).

<sup>10</sup> Schmidt et al. (2023) schätzen, dass im Jahr 2021 der Großteil der deutschen Lithiumoxid- und Lithiumhydroxidimporte (HS-Kategorie 282520) aus den Niederlanden erfolgte.

Chile, Deutschlands Hauptzulieferer von Lithiumcarbonat in der Periode 2016-2020, hat einen (mittleren) WGI-Wert von 0,96 (eigene Berechnungen basierend auf Weltbank 2023). Der mit den Importen gewichtete Durchschnitt der WGI-Werte aller deutschen Lithiumcarbonatzulieferländer beträgt für die Periode 2016-2020 0,92 (eigene Berechnungen basierend auf Daten aus UN Comtrade und Weltbank 2023). Insgesamt ist das Risiko gemessen an den WGI-Werten niedrig.

Wird der Environmental Performance Index (EPI) zur Erfassung der *Umweltrisiken* herangezogen, dann hat Chile, der deutsche Hauptzulieferer von Lithiumcarbonat, einen EPI-Wert von 46,7 und dementsprechend einen Quantilsrang von 64 Prozent (EPI 2023). Der mit Importen gewichtete Durchschnitt der EPI-Werte aller Länder, die an Deutschland Lithiumcarbonat liefern, beträgt für die Periode 2016-2020 48,7, was einem Quantilsrang von 70 Prozent entspricht (eigene Berechnungen basierend auf Daten aus UN Comtrade und EPI 2023). Im EPI-Ländervergleich gehören also die Lithiumcarbonatzulieferer Deutschlands im Durchschnitt zu den obersten 30 Prozent (gemessen am Quantilsrang).

### 2.2.3 Seltene Erden

In der hier verwendeten Statistik für internationalen Handel (UN Comtrade) sind Daten zu den folgenden Kategorien verfügbar, die den ersten (rohstoff-/bergbaunahen) Wertschöpfungsstufen entsprechen (siehe Europäische Kommission 2020a):

- ▶ Selten-Erd-Chemikalien mit relativ niedriger Selten-Erd-Oxid-Konzentration<sup>11</sup> – diese Kategorie entspricht den frühen Phasen der Gewinnung/Verarbeitung von Seltenen Erden
- ▶ Selten-Erd-Metalle (auch untereinander gemischt oder miteinander legiert) – diese Kategorie entspricht noch weiter verarbeiteten/raffinierten Zwischenprodukten.

In Abbildung 2-15 sind für den Zeitraum 2016-2020 die durchschnittlichen jährlichen Importe von Seltenen Erden nach Deutschland auf den zwei, hier betrachteten Verarbeitungsstufen dargestellt (Chemikalien und Metalle). Im Betrachtungszeitraum betragen die durchschnittlichen jährlichen Importe von Selten-Erd-Chemikalien (frühe Verarbeitungsstufe) 5,4 Kilotonnen Selten-Erd-Oxid (eigene Berechnung basierend auf UN-Comtrade-Daten). Fast die Hälfte davon kam direkt aus China. Die deutsche, für den Absatz bestimmte Produktion von Selten-Erd-Chemikalien (0,064 Kilotonnen Selten-Erd-Oxid im Jahr 2020) ist vernachlässigbar (DESTATIS o. J.).

Bei den Selten-Erd-Metallen (weiterverarbeitete Zwischenprodukte) betragen die durchschnittlichen jährlichen Importe nach Deutschland 0,34 Kilotonnen Selten-Erd-Oxid (eigene Berechnung basierend auf UN-Comtrade-Daten). Ein Großteil davon (84 Prozent) kam direkt aus China.

Die Herkunft der aus Österreich nach Deutschland importierten Selten-Erd-Chemikalien und -Metalle bleibt unklar, da es in der UN-Comtrade-Datenbank und der Eurostat-Comext-Datenbank aus kommerziellen/ militärischen Gründen keine Angaben zu den Ländern gibt, die an Österreich Selten-Erd-Chemikalien liefern. Unabhängig davon zeigen die Daten die große Bedeutung Chinas für die Versorgung Deutschlands mit Seltenen Erden auf. Ähnliche Ergebnisse im Hinblick auf die Rolle Chinas ergeben sich auf EU-Ebene (SCREEN 2023).

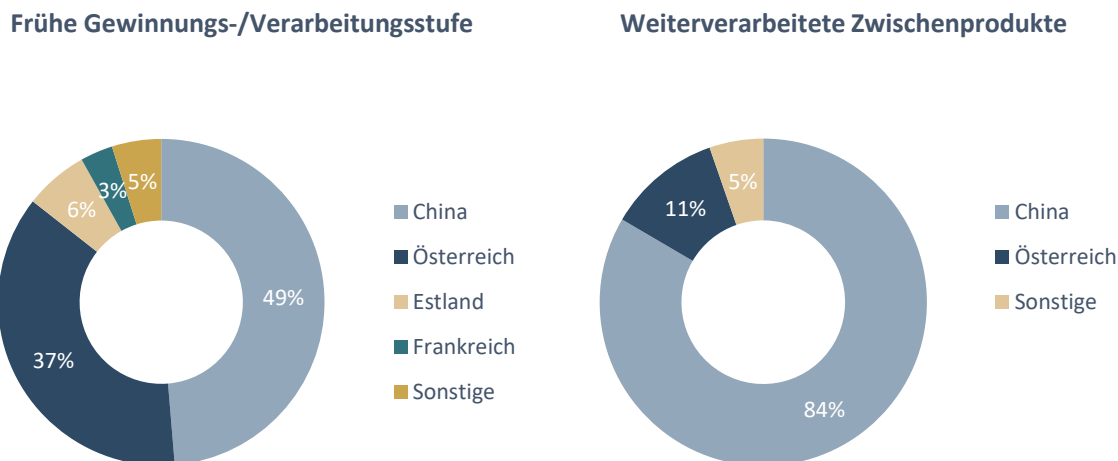
---

<sup>11</sup> Zur Verwendung des Begriffs Selten-Erd-Oxid siehe Kapitel 2.1.3.

**Abbildung 2-15: Durchschnittliche jährliche Importe von Seltenen Erden nach Deutschland**

2016-2020, frühe Gewinnungs-/Verarbeitungsstufe und weiterverarbeitete/raffinierte Zwischenprodukte; Gewichtsprozent;

Frühe Gewinnungs-/Verarbeitungsstufe: Selten-Erd-Chemikalien mit relativ niedriger Selten-Erd-Oxid-Konzentration. Weiterverarbeitete/raffinierte Zwischenprodukte: Selten-Erd-Metalle (auch untereinander gemischt oder miteinander legiert).



Datenquelle: UN Comtrade.

Diese Diskussion zeigt bereits, dass die deutsche Selten-Erd-Importstruktur stark auf China (und Österreich)<sup>12</sup> konzentriert ist. Aus den in Abbildung 2-15 dargestellten Daten lässt sich ein Herfindahl-Hirschman-Index-Wert in Höhe von 3.786 beziehungsweise 7.093 für deutsche Selten-Erd-Chemikalien-Importe bzw. Selten-Erd-Metall-Importe errechnen. Dies weist auf eine hohe *Konzentration* hin (eigene Berechnungen).

Zur Einordnung der mit der deutschen Selten-Erd-Importstruktur verbundenen *politischen und sozialen Risiken* werden im Folgenden die Worldwide-Governance-Indikatoren (WGI) verwendet (vgl. Kapitel 2.2.1 und 0). China, der deutsche Hauptzulieferer von Seltenen Erden gemäß Abbildung 2-15, hat einen WGI-Wert von -0,34 (eigene Berechnungen basierend auf Weltbank 2023). Der mit den Importen gewichtete Durchschnitt der WGI-Werte aller deutschen Selten-Erd-Chemikalien-Zulieferländer beträgt für die Jahre 2016-2020 0,52, was einem geringen Risiko entspricht. Hier schlägt der hohe WGI-Wert Österreichs als zweitgrößtem Zulieferer zu Buche. Der entsprechende Wert für die Selten-Erd-Metall-Zuliefererländer beläuft sich auf -0,067 (eigene Berechnungen basierend auf Daten aus UN Comtrade und Weltbank 2023). Insgesamt wird das Risiko gemessen an den WGI-Werten somit als mäßig bzw. sogar gering eingestuft. Durch die Rolle der europäischen Zulieferer wird jedoch das tatsächliche Governance-Risiko nicht ausreichend widerspiegelt. Insgesamt wird das Risiko gemessen an den WGI-Werten somit als mäßig bzw. sogar gering eingestuft. Durch die Rolle der europäischen Zulieferer wird jedoch das tatsächliche Governance-Risiko nicht ausreichend widerspiegelt.

<sup>12</sup> Wobei die Quelle der Seltenen Erden, die von Österreich nach Deutschland importiert werden, hier unbekannt ist.

China, der deutsche Hauptzulieferer von Selten-Erd-Chemikalien und -Metall, hat einen EPI-Wert von 28,4, was einem Quantilsrang von 11 Prozent entspricht. Der mit Importmengen gewichtete Durchschnitt der EPI-Werte aller Länder, die an Deutschland Selten-Erd-Chemikalien liefern, beträgt für die Periode 2016-2020 46,9 (Quantilsrang: 65 Prozent); der entsprechende Wert für die Länder, die an Deutschland Selten-Erd-Metall liefern, beträgt 34,4 (Quantilsrang: 26 Prozent) (eigene Berechnungen basierend auf Daten aus UN Comtrade und EPI 2023).

## 2.3 Determinanten des Angebotsrisikos, der Kritikalität sowie Substituierbarkeit

Die Literatur zum Rohstoffangebotsrisiko bzw. zur Rohstoffkritikalität geht davon aus, dass bestimmte Faktoren den Grad des Risikos bzw. der Kritikalität bestimmen. Zu diesen Faktoren zählen:<sup>13</sup>

- ▶ Qualität der Institutionen bzw. der Governance. Die Worldwide-Governance-Indikatoren, die zur Erfassung der Governance-Qualität genutzt werden, enthalten Kategorien (z.B. politische Stabilität), die direkt mit dem Ausfallrisiko verbunden sind (vgl. Weltbank 2023).
- ▶ Existenz von Handelsbarrieren (Zöllen, Quoten), früheren Engpässen oder Preissprüngen (siehe z.B. vbw 2022 und Europäische Kommission 2023b). Hier wird erfasst, ob der Markt schon früher einem hohen Risiko unterlag.
- ▶ Angebotskonzentration und Importabhängigkeit (siehe z.B. DERA 2021 und Europäische Kommission 2023b). Diese Kategorie erfasst im Wesentlichen die Frage, inwiefern das Risiko diversifiziert wird.
- ▶ Substituierbarkeit in allen Formen und auf allen Ebenen der Wertschöpfungskette (siehe z.B. vbw 2022 sowie Europäische Kommission 2023b). Dies ist auch ein Faktor, der zur Diversifizierung des Risikos beiträgt.
- ▶ Recyclingmöglichkeiten (als inländischer Importersatz zur Angebotsdiversifizierung) (siehe z.B. Europäische Kommission 2023b).
- ▶ Politische Relevanz des Rohstoffs bzw. Gefahr strategischer Rohstoffpolitik (siehe z.B. vbw 2022).
- ▶ Verbrauchs- bzw. Nachfragewachstum im Vergleich zu den verfügbaren Ressourcen, Anzahl der Explorations-, Bergbau- und Raffinationsprojekte und deren Umsetzungsdauer (siehe z.B. die Referenzen in Kapitel 2.3 sowie vbw 2022). Diese Indikatoren beziehen sich auf mögliche angebotsseitige Friktionen und die Wahrscheinlichkeit von Angebotsverknappungen.
- ▶ Risiko geökonomischer Fragmentierung, wenn strategische Überlegungen wie Sicherheit und Autonomie die Wirtschaftspolitik von Staaten bestimmen. Angebotsrisiken durch wirtschaftspolitische Entscheidungen zeigen sich etwa am Beispiel des in Indonesien zwischen 2009 und 2019 schrittweise umgesetzten Ausfuhrverbots von Nickelerz mit dem Ziel, inländische Verarbeitungskapazitäten aufzubauen. Diese Angebotsverknappung hatte erhebliche Verschiebungen in den Lieferketten zur Folge, die u.a. China als größten Importeur und die EU betrafen (siehe z.B. Szurlies et al. 2021).<sup>14</sup>
- ▶ Rohstofftyp nach Verwendungszweck (siehe z.B. vbw 2022 und SCREEN 2023). Dies ist entscheidend für die Frage, wie sich die zukünftige Nachfragedynamik entwickeln wird (z.B. Rohstoff für

<sup>13</sup> Für einen detaillierten Literaturüberblick zu Kritikalitätsstudien siehe Schrijvers et al. 2020.

<sup>14</sup> Die Entwicklung Indonesiens vom Rohstoffexporteur zum Raffinadeproduzent bei Nickel wurde u.a. durch chinesische Investitionen und das indonesische Verbot des Exports unverarbeiteter Nickelerze ermöglicht. Die Europäische Kommission ging gegen die Exportverbote mit einer Beantragung von Konsultationen und der Einsetzung eines Panels bei der Welthandelsorganisation vor.

Zukunftstechnologie, Rohstoff für Infrastruktur (zukünftiges Wachstum von Entwicklungsländern)).

- ▶ Marktgröße. Auf kleinen Rohstoffmärkten ergeben sich oft starke Preisausschläge bei Nachfrageschocks aufgrund des rigiden Angebots – siehe z.B. die Marktentwicklung von Rhenium ab ca. 2006 (vgl. SCREEN 2023).
- ▶ Wirtschaftliche Bedeutung der Endprodukte. Dies ist ein zentraler Aspekt des Kritikalitätsbegriffs, der über das Angebotsrisiko hinausgeht (Europäische Kommission 2023b). Die Idee dahinter ist, dass Versorgungsausfälle nur dann von wirtschaftlicher Bedeutung sind, wenn durch den Ausfall signifikante wirtschaftliche Effekte entstehen.

Substituierbarkeit ist zentraler Aspekt des Kritikalitätsbegriffs (siehe z.B. Europäische Kommission 2023b), denn sie bestimmt u.a. inwiefern Versorgungsausfälle durch Ausweichmöglichkeiten abgedämpft werden können. Technologische Substituierbarkeit (zur Minimierung der Kritikalität) betrifft alle Stufen der Wertschöpfungskette, wie im Folgenden am Beispiel „Kupfer“ erläutert: Die Substitution von Endprodukten hat Auswirkungen auf die Nachfrage nach Rohstoffen. Als Beispiele können hier die Verwendung des Fahrrads statt des Kraftfahrzeuges oder die Nutzung von Videokonferenzen anstelle von Autofahrten zum Konferenzort (alternative Technologie) genannt werden. Beide führen zu Kupfereinsparungen (*ceteris paribus*). Ähnliches gilt für die Substitution von Zwischenprodukten; so führt z.B. eine Änderung des Beleuchtungssystems auf dem Fahrrad (Wechsel von Dynamo zu batteriebetriebener Beleuchtung) oder eine Änderung des Antriebs eines Kraftfahrzeugs (Wechsel von Elektro zu Verbrenner) zu Änderung des Kupferbedarfs (in beiden Fällen wäre dies eine Kupfereinsparung). Dieses Prinzip kann weiter fortgesetzt werden für alle Vorprodukte entlang der Wertschöpfungskette (Substitution der Vorprodukte von Vorprodukten etc.). Am Anfang der Wertschöpfungskette steht die Änderung bzw. Substitution der Rohstoffproduktionsprozesse bzw. verwendeten Erze (wenn z.B. eine Produktionsroute riskanter ist). Auch die hier betrachteten Rohstoffe lassen sich entlang verschiedener Produktionsrouten herstellen (siehe Kapitel 2.1). Ein Beispiel für die Substitution der Rohstoffquelle und der damit verbundenen Rohstoffverarbeitungsprozesse ist die Substitution von süd-amerikanischem Lithium aus Sole durch australisches Lithium aus Erz, die in der Vergangenheit (beschleunigt ab ca. 2015) auf dem Weltmarkt stattgefunden hat (siehe Hettesheimer et al. 2021 und Schmidt et al. 2023).

Bei allen Substitutionsüberlegungen (in der Kritikalitätsanalyse) ist Wirtschaftlichkeit ein zentraler Faktor. Diese wird normalerweise in der Diskussion der Substitution (auf Produktgruppenebene) mitberücksichtigt. Dabei besteht oftmals ein Trade-off zwischen dem Preis des Substituts und der

- ▶ Performanz des Substituts in dem Produkt (Um wieviel wird das End- oder Zwischenprodukt durch das Substitut qualitativ schlechter in seiner Zweckerfüllung?)
- ▶ Performanz des Substituts in der Produktgruppe bzw. Anwendungsbreite des Substituts (In welchen Anwendungsgebieten und in welchem Ausmaß kann das Substitut in einer Produktgruppe das kritische Material ersetzen?)
- ▶ (längerfristigen) Verfügbarkeit des Substituts – diese wird unter anderem durch geologische Faktoren, Förderungs-, Raffinations- und Verarbeitungsinfrastruktur, konkurrierende Anwendungsgebiete und (geo-)politische Faktoren bestimmt.<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> Vgl. Europäische Kommission (2023b).

Bei den Substitutionsüberlegungen stehen die technologische Verfügbarkeit und Performanz (technologische Substituierbarkeit) und deren wirtschaftliche Umsetzbarkeit (wirtschaftliche Substituierbarkeit) in einem engen Verhältnis. Bestehen Möglichkeiten für eine technische Substitution werden Wirtschaftlichkeitsüberlegungen darüber entscheiden, ob diese zur Anwendung kommen. So könnte beispielsweise Kupfer durch Silber als Leiter ersetzt werden, was aufgrund des hohen Silberpreises jedoch nur in wenigen Fällen geschieht. In diesem Beispiel mangelt es an wirtschaftlicher Substituierbarkeit. Des Weiteren werden neue Batterietechnologien entwickelt und damit zukünftige technische Substitutionsmöglichkeiten auch unter der Erwartung geschaffen, dass sich ihr Einsatz aus Wirtschaftlichkeitsüberlegungen lohnen wird. Dies gilt z.B. für die Entwicklung von kobaltarmen Batteriechemien.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Literatur von einem breiten Portfolio von Kritikalitätsdeterminanten ausgeht, die die historischen und gegenwärtigen Charakteristiken des Marktes erfassen und auch eine Prognosefähigkeit hinsichtlich zukünftiger Entwicklungen haben (so z.B. die World Wide Governance Indicators). Während hier die in den gängigen Studien (DERA 2021, vbw 2022 und Europäische Kommission 2023b) verwendeten Kritikalitätsfaktoren diskutiert wurden, könnten zahlreiche weitere Aspekte mitberücksichtigt werden, z.B. der Umwelteinfluss (siehe Schrijvers et al. 2020 für einen Überblick), wobei immer diskutierbar ist, inwiefern die Hinzunahme weiterer Faktoren dem Kritikalitätsbegriff gut Rechnung trägt. Substituierbarkeit gehört in der Literatur zu den Hauptdeterminanten der Kritikalität, bezieht sich auf alle Stufen der Wertschöpfungskette (vom Bergbau bis zum Endprodukt) und wird durch ein enges Zusammenspiel zwischen technischen und wirtschaftlichen Aspekten bestimmt.

## 2.4 Zusammenfassende Betrachtung der Marktsituation

Im Folgenden findet sich eine kurze Zusammenfassung der Rohstoffmarktsituation bei den hier betrachteten Rohstoffen (siehe Kapitel 2.1 bis 2.3 für Referenzen).

### 2.4.1 Kupfer

Die weltweit identifizierten Kupferressourcen finden sich größtenteils auf dem amerikanischen Kontinent, und ein Großteil der geförderten Kupfermenge kommt aus Südamerika (v.a. aus Chile und Peru). Insgesamt ist das (globale) Angebotsrisiko bei Kupfer auf den rohstoff-/bergbaunahen Verarbeitungsstufen nicht hoch, doch wird Kupfer in der Literatur aufgrund der hohen strategischen Bedeutung bzw. der geringen Substitutionsmöglichkeiten im Bereich der elektrischen Anwendungen, der statischen Reichweite, der politischen Relevanz und der Bedeutung für Zukunftstechnologien als ein kritischer bzw. strategischer Rohstoff betrachtet. Auf der Rohstoffnachfrageseite ist bei Kupfer China dominant (China ist auch der größte Raffinadekupferproduzent).

Die deutschen Kupfererz-/Konzentratimporte stammen größtenteils aus Südamerika, und die deutsche Importstruktur ist im Hinblick auf raffiniertes Kupfer relativ diversifiziert. Insgesamt ist das politische, soziale und umweltbezogene Importrisiko (gemessen an den Worldwide-Governance-Indikator- und Environmental-Performance-Index-Werten) bei deutschen Importen von rohstoff-/bergbaunahen Produkten nicht hoch.

### 2.4.2 Lithium

Wie bei Kupfer ist auch bei Lithium der Großteil der weltweit identifizierten Ressourcen auf dem amerikanischen Kontinent vorzufinden. Die größten Fördermengen werden für Australien, Chile und China verzeichnet. Obwohl das Länderrisiko nicht hoch ist, wird Lithium aufgrund der hohen Angebotskonzentration und der hohen wirtschaftlichen Bedeutung in der Literatur als kritisch eingestuft. China und allgemein Asien sind die größten Lithiumnachfrager.

Aufgrund von Datenbeschränkungen ist kein vollständiges Bild der deutschen Lithiumimportstruktur auf der rohstoff-/bergbaunahen Wertschöpfungsstufe möglich. Verfügbare Daten deuten (bei Lithiumcarbonat) auf Chile als den wichtigen Lithiumzulieferer sowie eine hohe Länderkonzentration des Imports hin. Das politische, soziale und umweltbezogene Importrisiko (gemessen an den Worldwide-Governance-Indicators- und Environmental-Performance-Index-Werten) ist bei der Betrachtung dieser Daten eher niedrig.

### 2.4.3 Seltene Erden

Der Großteil der weltweiten Selten-Erd-Vorkommen, -Produktion und -Nachfrage ist in China zu verorten, und es besteht eine hohe Angebotskonzentration sowie ein hohes Angebotsrisiko, weswegen Seltene Erden in der Literatur als kritisch eingestuft werden. Insgesamt ist die Datensituation bei den Seltenen Erden als schwierig anzusehen.

Ein ähnliches Bild ergibt sich bei der Betrachtung der deutschen Selten-Erd-Importstruktur auf den rohstoff-/bergbaunahen Verarbeitungsstufen: China ist für Deutschland der wichtigste Selten-Erd-Zulieferer; es besteht eine hohe Länderkonzentration des Imports. Die Datenlage lässt eine vollständige Bewertung des Importrisikos nicht zu; das auf Basis der verfügbaren Daten ermittelte politische, soziale und umweltbezogene Importrisiko (gemessen an den Worldwide-Governance-Indikator- und Environmental-Performance-Index-Werten) ist nicht hoch.

# 3 Abhängigkeit von Produktionsbereichen

Die direkten Rohstoffimporte nach Deutschland und die damit verbundenen Versorgungsrisiken stellen eine Perspektive auf die Abhängigkeit der Wertschöpfung in Deutschland von diesen Rohstoffen dar. In einem weiteren Schritt der Analyse soll diese Perspektive erweitert werden. Dazu wird die Abhängigkeit der Wertschöpfung differenzierter betrachtet.

Der Ansatz beruht auf zwei Überlegungen. Einerseits sind in Deutschland (und weltweit) nicht alle Wirtschaftszweige gleichmäßig von der Versorgung mit Rohstoffen abhängig. In manchen Branchen spielen sie eine große Rolle, in anderen werden sie nicht benötigt. Daher werden die einzelnen Produktionsbereiche in einer produktorientierten Herangehensweise auf die Abhängigkeit von den betrachteten Rohstoffen untersucht. So wird herausgearbeitet, in welchen Produkten und Wirtschaftszweigen die Rohstoffe eingesetzt werden. Diese Produkte und Wirtschaftszweige sind besonders auf die Rohstoffversorgung angewiesen.

Allerdings werden nicht nur Rohstoffe, sondern auch rohstoffhaltige Produkte importiert. Auch hier kann es zu Engpässen beim Angebot kommen, insbesondere bei hoher Angebotskonzentration. In einer international arbeitsteiligen Organisation der Wertschöpfung sind diese Produkte oft für die Weiterverarbeitung in Deutschland bestimmt. So können Versorgungsengpässe auch hier zu Problemen für die Produktion in einzelnen besonders betroffenen Wirtschaftszweigen führen.

Um dieser sehr komplexen Fragestellung gerecht zu werden, wird in diesem Kapitel deshalb eine umfassende Analyse durchgeführt, bei der verschiedene methodische Ansätze und Perspektiven verwendet werden, um die vielschichtigen Abhängigkeiten zu erfassen und zu identifizieren.

- ▶ Zunächst werden statistische Methoden verwendet, um die Abhängigkeit der Produktionsbereiche vom Einsatz der ausgewählten Rohstoffe quantitativ zu erfassen (methodisches Vorgehen siehe Kasten unten). Damit wird der Status quo hinsichtlich der Bedeutung der Rohstoffe für die Produktion in Deutschland analysiert, um die Abhängigkeit und Verwundbarkeit der deutschen Wirtschaft in Bezug auf bestimmte Rohstoffe zu bewerten (siehe Kapitel 3.1.1.1, 3.2.1.1 und 3.3.1.1).
- ▶ Danach wird die Importabhängigkeit genauer untersucht, um potenzielle Risikofaktoren und Gefährdungen von rohstoffhaltigen, weiterverarbeiteten Produkten zu identifizieren (siehe Kapitel 3.1.1.2, 3.2.1.2 und 3.3.1.2).



- ▶ Diese quantitativen Analysen werden ergänzt durch qualitative Aussagen aus Interviews mit Experten aus Unternehmen, Wissenschaft und Verbänden sowie einem Workshop mit diesen Experten (Teilnehmer vgl. Tabelle 5-1 im Anhang). Darin wurden zum einen die quantitativen Analysen aus den Kapiteln 2 und 3 validiert. Zum anderen wurden Einschätzungen zu den Auswirkungen eines Angebotschocks und Reaktionsmöglichkeiten der Unternehmen eruiert. Ergebnisse aus den Gesprächen und dem Workshop gehen vor allem in die Ausführungen in den Kapiteln 3.1.2, 3.2.2 sowie 3.3.2 ein.

### Methodisches Vorgehen in Kapitel 3

#### Quantifizierung der betroffenen Produktionsbereiche:

Mithilfe von bereits durchgeführten und in der Literatur beschriebenen Stoffstromanalysen können auf kleinteiliger Ebene Produktklassen des Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken (GP) identifiziert werden, in denen ein bestimmter Rohstoff enthalten ist. Die Analyse erfasst dabei die Produkte entlang der gesamten nachgelagerten Wertschöpfungskette eines Rohstoffs, einschließlich des Rohstoffs selbst, erster Verarbeitungsschritte und fertiger Konsumgüter. Die Gesamtheit der auf diese Weise identifizierten Produkte wird in dieser Studie daher auch als die Wertschöpfungskette des Rohstoffs bezeichnet. Auch Produkte, die nur geringe Mengen eines bestimmten Rohstoffs enthalten, werden als rohstoffhaltig klassifiziert, da der Rohstoff auch in diesen Produkten eine bedeutende Rolle spielen kann. In den seltenen Fällen, in denen eine Produktklasse sowohl rohstoffhaltige als auch nicht rohstoffhaltige Produkte umfasst, wird die Klasse dennoch als rohstoffhaltig eingestuft, was zu einer leichten Überschätzung der Effekte führen kann.

Den mithilfe der Stoffstromanalyse identifizierten Produkten entlang der Wertschöpfungskette eines Rohstoffs können wirtschaftliche Kennzahlen zugeordnet werden. Als Ausgangspunkt dienen hierbei Produktionswerte der Vierteljährlichen Produktionserhebung im Verarbeitenden Gewerbe, die auf die aktuellen Zahlen der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung angepasst werden. Für die Ermittlung der güterspezifischen Wertschöpfungs- und Erwerbstätigenzahlen wird die Wertschöpfungs- und Beschäftigungsintensität der jeweils übergeordneten Branche angenommen. Somit kann der gesamte Umfang der wirtschaftlichen Aktivität quantifiziert werden, die in Deutschland potenziell abhängig vom betrachteten Rohstoff ist.

#### Importabhängigkeiten bei rohstoffhaltigen Gütern:

Für die Analyse von Importabhängigkeiten der deutschen Wirtschaft werden Handelsdaten der UN-Comtrade genutzt. Anders als im Kapitel 2 liegt hierbei der Fokus ausdrücklich auch auf den nachgelagerten Wertschöpfungsstufen und es werden die wertmäßigen und nicht die gewichtsmäßigen Importwerte des Jahres 2022 verwendet. Um in der Comtrade die rohstoffhaltigen Güter abbilden zu können, wird erneut die Liste der identifizierten Produkte entlang der Wertschöpfungskette eines Rohstoffs verwendet, die jedoch zunächst in die HS-Klassifikation („Harmonized System“) überführt werden muss. Daraufhin kann der Umfang der rohstoffhaltigen Importe aus dem Ausland untersucht werden.

Ein Vergleich der Importzahlen mit dem Umfang der im Inland hergestellten rohstoffhaltigen Produkte muss mit gewisser Vorsicht behandelt werden, da es zwischen den Güterklassen der GP- und der HS-Klassifikation keine bijektive Zuordnung gibt. Da die HS-Klassifikation etwas weniger tief gegliedert ist als die GP-Klassifikation, wird es hier tendenziell häufiger vorkommen, dass eine als rohstoffhaltig klassifizierte Güterklasse auch Güter enthält, die diesen Rohstoff nicht enthalten. Die Importzahlen werden im Vergleich zur Inlandsproduktion also tendenziell stärker überschätzt.

Trotzdem werden die Daten herangezogen, um eine Vorstellung über die Importabhängigkeit der Wertschöpfungskette des jeweiligen Rohstoffs in Deutschland zu erhalten.

Ein besonderer Fokus der Untersuchung liegt auf der Identifizierung gefährdeter Importe. Hierfür werden, in Anlehnung an die Vorgehensweise der DERA (vgl. Al-Barazi et al. 2021), zwei Indikatoren herangezogen. Zum einen wird der Herfindahl-Hirschman-Index (HHI) verwendet, der die Konzentration der Importe eines Produkts auf bestimmte Bezugsländer misst. Um zusätzlich die Stabilität der Herkunftsländer der Importe zu bewerten, wird für jedes importierte Produkt ein gewichtetes Länderrisiko (GLR) ermittelt. Dieser Indikator basiert auf landesspezifischen Bewertungen der Regierungsführung, die von der Weltbank im Rahmen der Worldwide Governance Indicators (WGI) erfasst werden. Zur Bewertung des durchschnittlichen Risikos in den Herkunftsländern eines bestimmten Importguts wird ein gewichteter Durchschnitt der WGI-Werte basierend auf den Importwerten berechnet. Sowohl für den HHI als auch das GLR werden Schwellenwerte definiert, ab denen das Risiko der Importe eines Produkts als „gering“, „mäßig“ und „hoch“ eingestuft wird. Die Importe eines Produkts gelten dann als „gefährdet“, wenn entweder beide Indikatoren ein hohes Risiko angeben, oder aber einer der beiden Indikatoren ein hohes Risiko signalisiert, während der andere Indikator ein mäßiges Risiko angibt.

Bei der Interpretation der Handelsdaten existieren jedoch auch Einschränkungen:

- ▶ Die Tatsache, dass die Importe eines bestimmten Produkts auf einige wenige Bezugsländer konzentriert sind, bedeutet nicht zwangsläufig, dass der Bezug des Produkts gefährdet ist. Es besteht nämlich die Möglichkeit, dass es noch weitere potenzielle Lieferländer gibt, mit denen momentan keine Handelsbeziehungen bestehen. Eine solche Konzentration kann auch lediglich ein Ergebnis stabiler und gut etablierter Handelsbeziehungen sein.
- ▶ Selbst wenn ein Produkt tatsächlich nur aus wenigen Ländern bezogen werden kann, ist das gewichtete Länderrisiko auf Basis der Worldwide Governance Indicators nur eine Möglichkeit von vielen, das tatsächliche Risiko eines Lieferengpasses aus den betroffenen Ländern einzuschätzen. Beispielsweise könnte eine Zunahme protektionistischer Tendenzen die Lieferbeziehungen zu den USA gefährden, auch wenn das Länderrisiko der Vereinigten Staaten ein geringes Risiko aufzeigt.
- ▶ Die verschiedenen, als „gefährdet“ eingestuften Produkte innerhalb der Wertschöpfungskette eines Rohstoffs sind nicht gleichermaßen wichtig für die Wirtschaft in Deutschland. Bei Kupfer beispielsweise sind einige gefährdete Importgüter wichtige Vorprodukte für die weitere Produktion im Land (beispielsweise Leiterplatten und Halbleiterbauelemente), andere Güter (wie beispielsweise Waschmaschinen) sind „einfache“ Konsumgüter.

Für eine genauere Beschreibung des methodischen Vorgehens siehe Kapitel 5.

## 3.1 Kupfer

### 3.1.1 Wirtschaftliche Bedeutung von Kupfer in Deutschland

#### 3.1.1.1 Quantifizierung der betroffenen Produktionsbereiche

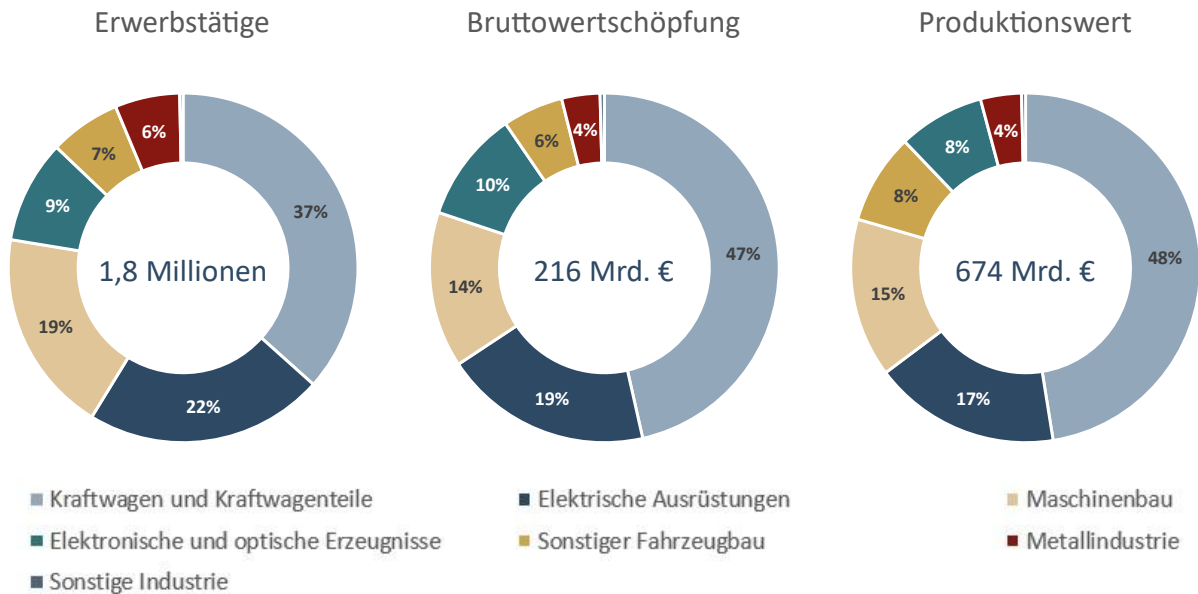
Um Aussagen über die Abhängigkeit der deutschen Wirtschaft von Kupfer treffen zu können, wird zunächst untersucht, in welchen Wirtschaftsbereichen dieser Rohstoff aktuell benötigt wird. Für die Identifizierung der Güter entlang der Wertschöpfungskette Kupfer werden die Informationen aus Soulier et al. (2017) und Passarini et al. (2018) verwendet. In den von den Autoren durchgeführten Stoffstromanalysen wurden Güter identifiziert, in denen Kupfer enthalten ist. Um diesen identifizierten Gütern aktuelle wirtschaftliche Kennzahlen zuordnen zu können, werden die in den Veröffentlichungen verwendeten Klassifizierungen in einem ersten Schritt mithilfe von Korrespondenztabelle und händischer Recherche in das Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken (GP) überführt. Auf diese Weise können 797 Güter der GP-Klassifizierung auf 9-Steller Ebene identifiziert werden, die Kupfer enthalten und daher der Wertschöpfungskette Kupfer zugeordnet werden. Diese Güter werden im Folgenden auch als „kupferhaltig“ bezeichnet.

Mithilfe der beschriebenen Vorgehensweise (siehe Kasten) wird der wirtschaftliche Umfang der identifizierten Güter und damit der kupferabhängigen Wirtschaft quantifiziert. Da in einzelnen, besonders heterogenen Güterklassen auch Produkte enthalten sein können, die kein Kupfer enthalten, sind die ermittelten Zahlen als Obergrenze der kupferabhängigen Wirtschaft zu interpretieren. Insgesamt sind in Deutschland im Jahr 2022 etwa 1,8 Millionen Erwerbstätige mit der Herstellung von Produkten beschäftigt, in denen Kupfer enthalten ist. Diese Produkte haben insgesamt einen Wert in Höhe von 674 Milliarden Euro und bei der Herstellung wird Wertschöpfung in Höhe von 216 Milliarden Euro generiert (siehe Abbildung 3-1). Das entspricht 24 Prozent der Beschäftigten des Verarbeitenden Gewerbes und 30 Prozent der Wertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes.

Kupfer ist aufgrund seiner herausragenden Eigenschaften ein vielseitig eingesetztes Metall in der Industrie. Werden die einzelnen identifizierten Produkte den Wirtschaftszweigen zugeordnet, in denen sie hergestellt werden, wird ersichtlich, dass ein Großteil der kupferhaltigen Produkte dem Automobilsektor zuzuordnen ist. 47 Prozent der Wertschöpfung in der Wertschöpfungskette Kupfer entstehen bei der Herstellung von Produkten in dieser Branche. 6 Prozent der 216 Milliarden Euro werden in der Branche des Sonstigen Fahrzeugbaus generiert. Auch in vielen Produkten des Maschinenbaus wird Kupfer verbaut. In den drei Branchen findet Kupfer zahlreiche Anwendungen aufgrund seiner Festigkeit, Haltbarkeit und guten elektrischen Leitfähigkeit. Diese letzte Eigenschaft macht den Rohstoff auch ideal für Anwendungen in der Elektrotechnik und Elektronik. Rund 19 Prozent der kupferabhängigen Wertschöpfung entstehen bei der Herstellung von Elektrischen Ausrüstungen, weitere 10 Prozent werden in der Produktion elektronischer und optischer Erzeugnisse generiert. Zudem besitzt Kupfer eine ausgezeichnete Wärmeleitfähigkeit, weshalb es in der Kühltechnik und bei der Wärmeübertragung verwendet wird.

**Abbildung 3-1: Wirtschaftliche Kennzahlen der Wertschöpfungskette Kupfer 2022**

Erwerbstätige, Bruttowertschöpfung und Produktionswert nach Branchen, Anteile der Branchen in Prozent



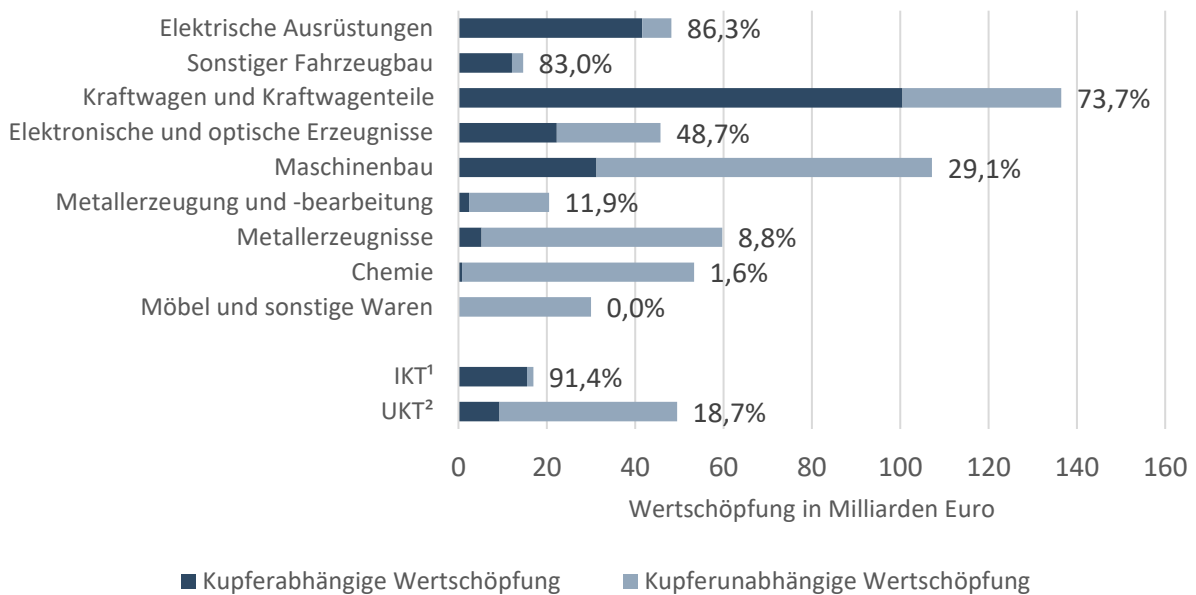
Metallindustrie: WZ 24 und 25; Sonstige Industrie: WZ 20, WZ 31-32; andere Industrien (WZ 10-19 & 21-23) nicht betroffen  
 Quelle: Statistisches Bundesamt (2023a, 2023b), eigene Darstellung

Neben der Zuordnung der identifizierten Produkte zu ihren jeweils übergeordneten Wirtschaftszweigen können auch branchenübergreifende Produktionsbereiche betrachtet werden. Hierbei sind insbesondere die zukunftsrelevanten Produktionsbereiche der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) und der Umwelt- und Klimatechnik (UKT) von Interesse (Definition siehe methodischer Anhang). Der IKT, die ein Teilbereich der Branche „elektronische und optische Erzeugnisse“ ist, können kupferhaltige Produkte mit einer Wertschöpfung in Höhe von 16 Milliarden Euro zugeordnet werden, das sind 7 Prozent der insgesamt ermittelten 216 Milliarden Euro der Wertschöpfungskette Kupfer. In der UKT werden kupferhaltige Produkte mit einer Wertschöpfung in Höhe von 9,3 Milliarden Euro identifiziert, was einem Anteil am Gesamtvolumen von 4,3 Prozent entspricht.

Eine alternative Methode zur Analyse des Kupfereinsatzes in der deutschen Wirtschaft besteht darin, die identifizierten Produkte basierend auf ihrer Verwendung zu betrachten. Unterschieden werden können hierbei Produkte der ersten Rohstoffverarbeitung, Vorleistungsgüter sowie Konsum- und Investitionsgüter. In der Wertschöpfungskette Kupfer können 1,6 Milliarden Euro Wertschöpfung den in Kapitel 2 bereits ausführlicher analysierten ersten Verarbeitungsschritten des Rohstoffs zugeordnet werden – hierunter fällt etwa die Produktion von Kupferanoden oder Kupferdrähten. Die Produktion von weiterverarbeiteten Zwischenprodukten (etwa Halbleiterbauelementen) generiert in Deutschland eine Wertschöpfung in Höhe von 102 Milliarden. Mit der Produktion von Konsum- und Investitionsgütern werden 112 Milliarden Euro erwirtschaftet. Dass der Anteil der ersten Kupferbearbeitung so gering ausfällt, liegt zum einen daran, dass die ersten Verarbeitungsschritte generell eine geringere Komplexität aufweisen und daher weniger wertschöpfungsintensiv sind. Zum anderen konzentriert sich die Industrie in Deutschland tendenziell auf die komplexeren Weiterverarbeitungsschritte am Ende der Wertschöpfungskette.

**Abbildung 3-2: Abhängigkeit der Branchen von Kupfer im Jahr 2022**

Kupferabhängige und -unabhängige Wertschöpfung in den Branchen in Milliarden Euro, Abhängigkeit in Prozent



<sup>1</sup> Informations- und Kommunikationstechnik, <sup>2</sup> Umwelt- und Klimatechnik

Quelle: Statistisches Bundesamt (2023a, 2023b), eigene Darstellung

Der berechnete Umfang der Wertschöpfungskette Kupfer ermöglicht es, Rückschlüsse auf die Bedeutung des Rohstoffs für die deutsche Wirtschaft zu ziehen. Der Wirtschaftszweig der Elektrischen Ausrüstungen weist den höchsten Anteil kupferabhängiger Wertschöpfung auf – in der Branche wird 86,3 Prozent der Wertschöpfung bei der Herstellung von Gütern generiert, die direkt oder indirekt Kupfer benötigen. Auch die Wertschöpfung im Sonstigen Fahrzeugbau (83,0 Prozent), in der Automobilindustrie (73,7 Prozent) und in der Herstellung elektronischer und optischer Erzeugnisse (48,7 Prozent) beruht zu einem beträchtlichen Teil auf dem Einsatz des Rohstoffs. Die hohe Abhängigkeit bei den komplexeren Produkten am Ende der Wertschöpfungskette (Elektrische Haushaltsprodukte, Fahrzeuge etc.) ist auf die weit verbreitete Verwendung von elektrischen Bauteilen in vielen Anwendungen zurückzuführen, die Kupfer enthalten. Bei den beiden branchenübergreifenden Produktionsbereichen wird insbesondere in Produkten der Informations- und Kommunikationstechnik entweder direkt oder indirekt Kupfer benötigt. Die Bedeutung des Rohstoffs für die Umwelt- und Klimatechnik ist deutlich geringer ausgeprägt.

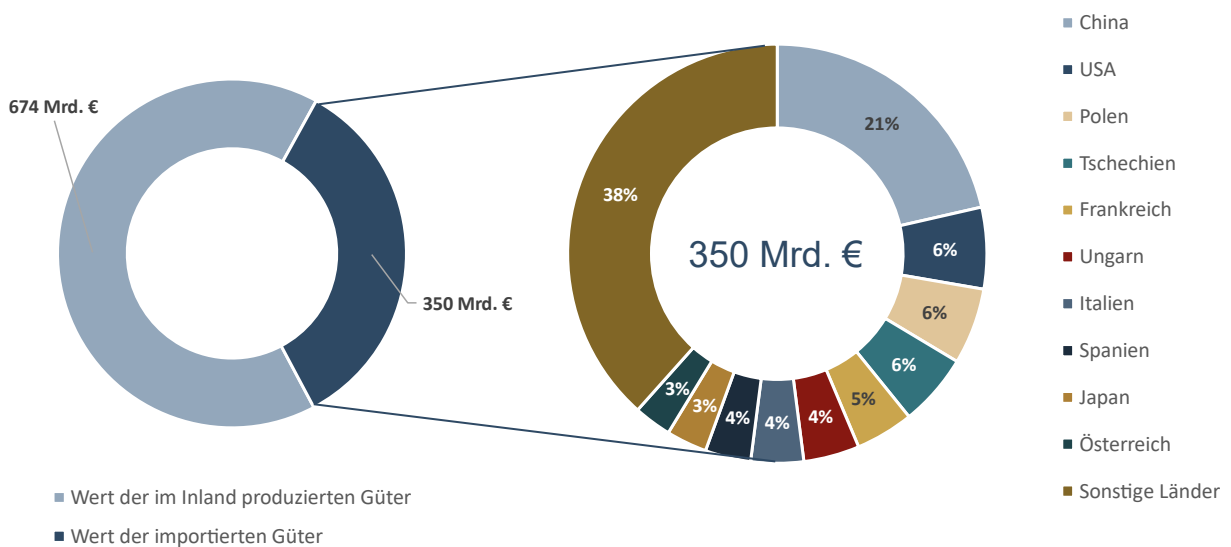
3.1.1.2 Importabhängigkeiten bei kupferhaltigen Produkten

Die Überführung der im letzten Abschnitt identifizieren Güter in die HS-Klassifikation führt zu einer Liste von insgesamt 553 kupferhaltigen Güterklassen auf HS 6-Steller Ebene. Der Wert der deutschen Importe dieser kupferhaltigen Produkte beläuft sich im Jahr 2022 auf 350 Milliarden Euro. In Abbildung 3-3 ist dieser Wert der kupferhaltigen Importe im Vergleich zum Wert der im Inland produzierten Güter (674 Milliarden Euro) dargestellt. Wie bereits erläutert, muss ein solcher Vergleich mit gewisser Vorsicht behandelt werden, da die Importzahlen tendenziell stärker überschätzt werden als die Inlandsproduktion.

Dass der Wert der im Inland hergestellten Produkte höher liegt als der Wert der importierten Güter spiegelt unter anderem wider, dass nicht nur fertige Investitions- und Konsumgüter importiert werden, sondern auch viele Vorleistungsprodukte aus dem Ausland bezogen werden, die in Deutschland noch weiterverarbeitet werden und somit an Wert gewinnen. Das wichtigste Bezugsland kupferhaltiger Produkte ist China. Etwa 21 Prozent aller kupferhaltiger Produkte werden aus dem Land bezogen. An zweiter Stelle stehen mit 6 Prozent der Importe die USA. Auch zu den verschiedenen Ländern der Europäischen Union bestehen enge Handelsbeziehungen. 38 Prozent der Importe kommen aus verschiedenen Ländern, die alle nur einen Anteil kleiner 3 Prozent an den deutschen Importen haben. Daran ist zu erkennen, dass die Importe kupferhaltiger Güter trotz der hohen Bezüge aus China recht diversifiziert sind.

**Abbildung 3-3: Importe kupferhaltiger Produkte im Jahr 2022**

Wert der importierten Produkte im Vergleich mit der Inlandsproduktion und nach Herkunftsland



Quelle: Statistisches Bundesamt (2023a, 2023b), eigene Darstellung

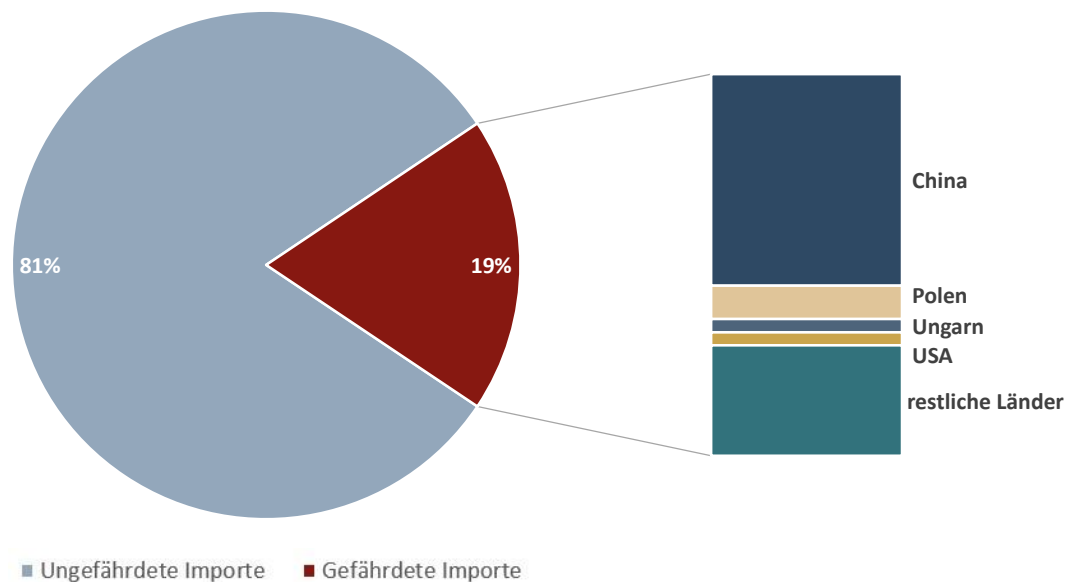
Um die Gefährdung der kupferhaltigen Importe einzuschätzen, werden wie bereits erläutert der Herfindahl-Hirschman-Index und das gewichtete Länderrisiko (GLR) verwendet (siehe methodischer Kasten). Indem der Importwert der gefährdeten Güterklassen ermittelt wird, kann der Anteil des gefährdeten Importwerts berechnet werden. Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Abbildung 3-4 dargestellt. Rund 19 Prozent des Werts der kupferhaltigen Importe sind nach der festgelegten Definition als gefährdet zu betrachten. Die Einstufung der kupferhaltigen Importe als gefährdet ergibt sich daraus, dass diese nur aus wenigen Ländern bezogen werden, die im Durchschnitt ein mittleres Länderrisiko aufweisen. Keines der kupferhaltigen Importprodukte wird aus Ländern bezogen, für die sich im Durchschnitt ein hohes gewichtetes Länderrisiko ergibt.

Betrachtet man den Anteil der gefährdeten Importe getrennt nach den drei Verarbeitungsstufen, ist zu erkennen, dass dieser mit zunehmender Verarbeitungsstufe zunimmt. In der Gruppe der ersten Kupferverarbeitung beträgt der wertmäßige Anteil der gefährdeten Importe noch 9 Prozent. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit den Analysen aus Kapitel 2, in denen zusammengefasst keine erhöhte Gefährdung bei der Rohstoffversorgung mit Kupfer erkannt wurde. Bei den Vorleistungsprodukten beläuft sich der Anteil auf 14 Prozent, während er bei den Konsum- und Investitionsgütern bei 24 Prozent liegt. Dies spiegelt wider, dass der Herstellung von Vorleistungs- und Endkonsumgütern in

vielen Fällen komplexe Herstellungsprozesse zugrunde liegen, auf die sich nur einige Länder spezialisieren. Im Gegensatz dazu sind die ersten Schritte der Kupferverarbeitung weniger komplex und können in vielen Ländern ohne spezifisches Fachwissen durchgeführt werden.

### Abbildung 3-4: Gefährdete kupferhaltige Importe und Lieferländer 2022

Lieferländer des gefährdeten Importwerts



Quelle: Statistisches Bundesamt (2023a, 2023b), UN Comtrade (2023), eigene Berechnungen

Um die Abhängigkeit des identifizierten gefährdeten Importwerts besser zu verstehen, sind auf der rechten Seite von Abbildung 3-4 die bedeutendsten Lieferländer der gefährdeten Importe aufgeführt. Rund 55 Prozent des gefährdeten Importwerts wird aus China bezogen. Dieser Anteil liegt damit mehr als doppelt so hoch wie der Anteil, den China am Importwert der gefährdeten und ungefährdeten kupferhaltigen Güter insgesamt hat. Weitere 9 Prozent stammen aus Polen (vor allem Waschmaschinen und Waschvollautomaten werden aus dem Land bezogen).<sup>16</sup> Auch aus Ungarn und den USA wird ein Teil der als gefährdet eingestuft Güterklassen importiert, die beiden Länder machen je 3 Prozent des gefährdeten Importwerts aus. Diese Zahlen geben die Herkunft der gefährdeten Güterimporte als Aggregat an. Es ist daher aufschlussreich, auch die Importabhängigkeiten einzelner Güterklassen zu betrachten. Dabei fällt auf, dass für 83 Prozent der gefährdeten Güter China das wichtigste Bezugsland ist. Gemessen am Wert dieser Güter ist China für 86 Prozent des gefährdeten Importwert das wichtigste Bezugsland. Hierunter fallen Güter wie Vorhängeschlösser (die zu 61 Prozent aus China stammen), Datenmaschinen (zu 86 Prozent aus China) oder Staubsauger (zu 68 Prozent aus China).

Die Untersuchungen verdeutlichen, dass neben den Risiken in der Kupferversorgung an sich auch die Importabhängigkeit von weiterverarbeiteten Produkten zu beachten ist. Die Daten zeigen, dass die

<sup>16</sup> Für alle gefährdeten Importe gilt, dass sie jeweils besonders konzentriert aus einigen wenigen Ländern bezogen werden und dass diese Bezugsländer im Durchschnitt ein mäßiges Risiko aufweisen. Wie hier im Fall Polen kann es vorkommen, dass ein Teil der gefährdeten Importgüter auch aus Ländern mit einer guten Regierungsführung importiert wird, wenn die restlichen Bezugsländer des jeweiligen Guts ein hohes Länderrisiko aufweisen und den Durchschnitt des GLR damit nach unten ziehen.

kupferhaltigen Produkte der nachgelagerten Wertschöpfungskette in der Tendenz sogar häufiger konzentriert aus bestimmten Ländern bezogen werden als der zugrundeliegende Rohstoff selbst. Vor allem China spielt für Deutschland eine wichtige Rolle als Lieferland.

### 3.1.2 Angebotsschock: Auslöser, Wahrscheinlichkeit, Auswirkungen

Die Betrachtung der Versorgungsrisiken in Kapitel 2 und die quantitative Analyse der betroffenen Produktionsbereiche und der Importabhängigkeiten lassen wichtige Schlüsse auf die Bedeutung der Rohstoffverwendung für einzelne Produkte und Wirtschaftszweige und deren potenzielle Gefährdungen zu. Um die quantitative Analyse zu ergänzen, wurden in Expertengesprächen und in einem Workshop mit Vertretern aus Unternehmen, Wissenschaft und Verbänden mögliche Auslöser von Angebotsschocks näher beleuchtet und die Reaktionsmöglichkeiten von Unternehmen im Falle des Auftretens eines Angebotsschocks diskutiert. Die Ergebnisse dieser Gespräche werden im Folgenden ausführlich dargestellt.

#### 3.1.2.1 Mögliche Auslöser eines Angebotsschocks

Es werden zwei Ausprägungen für einen Angebotsschock betrachtet, eine kurzfristige Verknappung des Angebots auf dem internationalen Markt und eine langfristige Entwicklung, bei der die Entwicklung des Angebots hinter der Nachfrage zurückbleibt.

Für einen kurzfristigen Stopp von Lieferungen von Erzen und Konzentraten aus dem außereuropäischen Ausland wurden folgende potenzielle Auslöser identifiziert:

- ▶ Als Produktionsrisiken in lateinamerikanischen Ländern kommen Streiks und politische Unruhen in Betracht. Diese sind zwar häufiger als in Europa, hatten in der Vergangenheit jedoch keine nennenswerten Auswirkungen auf die Produktion von Kupfererzen und -konzentraten. Politische Unsicherheiten können Planungen und Investitionen bremsen.
- ▶ Physische Risiken für die Lieferungen aus Lateinamerika bestehen einerseits etwa in vereinzelt auftretenden Extremereignissen in den Abbaugebieten wie potenziellen Erdbeben oder außergewöhnlich heftigen Regenfällen, die in der Vergangenheit die Produktion schon behinderten. Andererseits besteht generell das Risiko temporärer Produktionseinschränkungen durch das Zusammenspiel des hohen Wasserverbrauchs der Förderung und der Trockenheit in den Abbaugebieten. Hinzu kommen Lieferrisiken aufgrund langer Transportwege, auch etwa im Fall von Kanada und Australien als Exportländer.
- ▶ Weltweite Pandemien werden zudem als mögliches Lieferrisiko für Kupfererze und -konzentrate benannt. Mit Verweis auf das Beispiel der Corona-Pandemie wurden für diesen Fall allerdings geringere Auswirkungen auf die Produktion und stärkere Auswirkungen auf der Nachfrageseite verortet.

Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass diese Auslöser tatsächlich die Kupferproduktion und -verfügbarkeit in Deutschland und Europa einschränken, wurde im Workshop als sehr gering eingestuft. Denn das Auftreten einzelner Ereignisse, die zu einer Verringerung des Angebots an Kupfererzen und -konzentraten führen kann, ist zwar möglich. Aber selbst bei einem unwahrscheinlicheren gleichzeitigen Auftreten einer Kombination von mehreren dieser Ereignisse gilt eine Beeinträchtigung der Kupferversorgung in Deutschland durch einen kurzfristigen Angebotsschock als unwahrscheinlich. Risikomindernd wirken insbesondere folgende Faktoren:



- ▶ Rund 50 Prozent der Kupferraffinade in Europa erfolgt auf Basis von Sekundärkupfer und wird damit über die Sekundärroute gewonnen. Dabei finden gleichzeitig noch Exporte von Sekundärkupfer statt. Weitere rund 25 Prozent werden durch die europäische Minenproduktion gedeckt. In Deutschland sind die Anteile von Sekundärkupfer und der Nutzung europäischer Erze etwas geringer.
- ▶ Eine unbekannte Menge an Kupfer ist als Puffer bei den Händlern und Lieferanten, aber auch bei den Verwendern vorhanden. Sie wird gleichzeitig als nennenswert und hilfreich für eine Angebotspufferung eingestuft.
- ▶ Die außereuropäischen Importquellen sind relativ gut diversifiziert. Peru, Chile, Brasilien, Kanada und Mexiko waren im Zeitraum von 2016 bis 2020 die fünf größten Importquellen für Kupfererze und -konzentrate. Die Risiken dieser Importstruktur wurden in Kapitel 0 in Hinblick auf das gewichtete Länderrisiko und die Angebotskonzentration als mäßig eingestuft.

Die inländischen und innereuropäischen Quellen werden als sehr sicher eingeschätzt, die Exporte von Sekundärkupfer können zugunsten einer inländischen Verwendung reduziert und die Lager abgebaut werden. Bei den außereuropäischen Quellen wirkt die vergleichsweise geringe Länderkonzentration risikomindernd bei länderspezifischen Schocks. Entsprechend kann ein Lieferausfall von Kupfererzen und -konzentraten aus einem einzelnen oder mehreren Ländern durch höhere Lieferungen anderer Länder, einen höheren Einsatz von Sekundärmaterial oder auch eine höhere Minenproduktion in Europa kompensiert werden.

Eine mittelfristige Ausdünnung der Lieferungen von Kupfererzen und -konzentraten wird hingegen als mögliche Entwicklung angesehen. Hintergrund ist die Unsicherheit, ob die notwendigen Investitionen für eine adäquate Ausweitung des Angebots in Hinblick auf die steigende Nachfrage erfolgen und die Produktion entsprechend ausgeweitet werden kann. Ursachen können in folgenden Punkten bestehen:

- ▶ Für Kupfer wird ein substantielles Wachstum der Nachfrage in den kommenden Jahren erwartet. Treiber des Nachfrageanstiegs ist vor allem die ökologische Transformation der Wirtschaft mit steigender Kupfernachfrage durch die Elektromobilität inklusive der Ladeinfrastruktur, dem Ausbau der Energieerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen sowie dem damit verbundenen Ausbau der Elektrizitätsnetze (vgl. auch IEA, 2022).
- ▶ Auch derzeit sind schon hohe Investitionen nötig, um die aktuelle Produktion aufrecht zu erhalten. Die Ursache liegt in den steigenden Grenzkosten des Erzbergbaus. Die Ausbeutung bestehender Lagerstätten wird kostspieliger, weil die Erze mit zunehmendem Abbau schwieriger zugänglich werden und die Erzkonzentration im Gestein abnimmt.
- ▶ Für die Ausweitung der Produktion ist die Identifizierung neuer Produktionsstandorte notwendig. Gemeinsam mit den häufig langwierigen Umweltgenehmigungen ist damit zu rechnen, dass die Realisation des Abbaus aus neuen Lagerstätten einen Zeitraum von drei bis fünf Jahren in Anspruch nimmt.

Eine mögliche mittelfristige Ausdünnung von Lieferungen von Kupfererzen und -konzentraten bezieht sich demnach auf ein Szenario, in dem eine steigende Nachfrage in Deutschland nicht adäquat bedient wird, weil ein weltweiter Nachfrageüberhang besteht und die Zahlungsbereitschaft für Erze und -konzentrate in anderen Weltregionen höher ist. Eine politisch motivierte Umlenkung des weltweiten Kupferhandels zum Nachteil Deutschlands wurde aber in Interviews und dem Workshop als unwahrscheinlich eingestuft.

### 3.1.2.2 Auswirkungen auf die Wertschöpfungskette Kupfer

Die Auswirkungen eines als unwahrscheinlich eingeschätzten kurzfristigen Angebotsschocks bei Kupfererzen und -konzentraten werden aufgrund der Überlegungen zu den möglichen Auslösern und deren Auswirkungen auf das Kupferangebot in Deutschland und Europa mit hoher Wahrscheinlichkeit keine bindenden Mengenbeschränkungen nach sich ziehen. Allerdings ist bei einer Verknappung der Importe von Kupfererzen und -konzentraten mit Preissteigerungen in Deutschland und Europa zu rechnen, die zum Ausgleich von Angebot und Nachfrage führen. Die höheren Kupferpreise dürften die Nachfrage reduzieren. Gleichzeitig sorgen sie für eine Ausweitung des Angebots durch den Einsatz höherer Mengen an Recycling-Material, eine Steigerung der Kupferproduktion innerhalb Europas und die Verwendung von Lagerbeständen von Händlern und Lieferanten. Preissteigerungen für Kupfer können dennoch Branchen mit einer geringen Preiselastizität der nachgelagerten Nachfrage oder mit einem hohen Kupferanteil im Produkt unter Druck setzen.

Nach Einschätzungen aus Interviews und dem Workshop sind einzelne Produkttypen von den Preissteigerungen unterschiedlich betroffen:

- ▶ Der Wettbewerbsdruck steigt in der skizzierten Situation mit dem Kupferanteil im Produkt. Er erhöht sich daher v.a. in der Mitte der Wertschöpfungskette (Halbzeug), wo der Materialpreis proportional ins Produkt eingeht.
- ▶ Halbzeuge werden gleichzeitig in der Tendenz stärker regional gehandelt, dies verringert den ausländischen Wettbewerbsdruck und erhöht wiederum den Spielraum für Preisüberwälzungen. Teilweise würde inländische Produktion von Kupferhalbzeug durch Importe ersetzt.
- ▶ In Produkten, die weiter am Ende der Wertschöpfungskette stehen, spielt der Kupferpreis eine geringere Rolle für den Gesamtpreis. Beispielsweise beeinflussen stark kupferhaltige Komponenten im Automobilbau (etwa ein Kabelbaum) die Gesamtkosten der Automobilproduktion nur noch gering.
- ▶ Nahe Substitute von Kupferprodukten können Marktanteile gewinnen. Bei Kupfer besteht grundsätzlich ein Substitutionsdruck von zwei Seiten. Stehen die Eigenschaften der Wärme- und Elektrizitätsleitfähigkeit im Zentrum der Anwendung, kann Kupfer durch Aluminium ersetzt werden. Aluminium ist günstiger und leichter, aber weniger leistungsfähig und dadurch platzaufwändiger in Bezug auf die Leitfähigkeiten. Bei Anwendungen mit Fokus auf den Korrosionsschutz kann Kupfer auch durch Edelstahl (z.B. Rohre) oder Kunststoff (z.B. Regenrinnen) ersetzt werden. Preissteigerungen bei Kupfer können auch kurzfristig solche Substitutionsreaktionen auslösen. Dies hat entsprechend negative Wirkungen auf die Kupferprodukte und deren Hersteller sowie positive Effekte auf die Substitute und deren Produzenten.
- ▶ Recycling reagiert auf Primär-Rohstoffpreise. Dies führt dazu, dass Schrott-Exporte verringert und Schrott-Importe erhöht werden. Zusätzlich könnten auch hier Lagerbestände stärker mobilisiert werden. Dies verringert den Angebotsschock.

Bei einer mittelfristigen Angebotsverknappung von Kupfererzen und -konzentraten beziehungsweise in einer Situation, in der die Nachfrage schneller wächst als das Angebot, ist es die wahrscheinlichste Lösung, dass sich die Marktungleichgewichte über den Preismechanismus und die Substitution von Produkten ausgleichen. Es ist nicht damit zu rechnen, dass eine staatliche Mengenrationierung von Kupfer jenseits des Marktgeschehens notwendig ist. Dies bedeutet einerseits, dass nicht mit größeren Verwerfungen innerhalb der Wertschöpfungskette von Kupfer zu rechnen ist. Andererseits werden bei preissensitiven Produkten eher Kupfersubstitute aus Aluminium oder Kunststoff zum Einsatz kommen. Für Produkte, bei denen Kupfer essenziell ist oder die technologischen oder konstruktiven Vorteile überwiegen, werden sich entsprechend höhere Preise einstellen. Bei einer mittelfristigen Ausdünnung über mehrere Jahre hinweg ist auch davon auszugehen, dass die Marktakteure ausreichend Zeit für eine Anpassung haben.

## 3.2 Lithium

### 3.2.1 Wirtschaftliche Bedeutung von Lithium in Deutschland

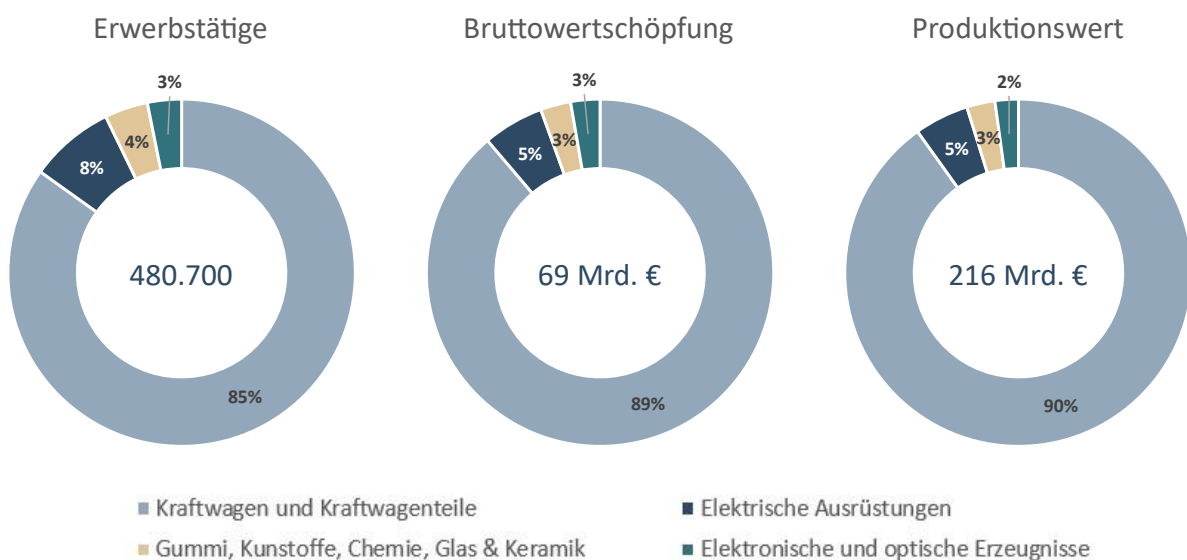
#### 3.2.1.1 Quantifizierung der betroffenen Produktionsbereiche

Die Bedeutung der Wertschöpfungskette Lithium wird analog zur Berechnung der kupferabhängigen Wertschöpfung durchgeführt (siehe Kasten). Es können 65 Güter des Güterverzeichnisses für Produktionsstatistiken (GP) identifiziert werden, die Lithium beinhalten. Grundlage bildet dabei eine vom Joint Research Center der Europäischen Kommission durchgeführte Stoffstromanalyse (Matos et al., 2020).

Für die einzelnen identifizierten lithiumhaltigen Güter werden, wie schon in der Kupfer-Analyse, wirtschaftliche Kennzahlen ermittelt, die als Obergrenze der lithiumabhängigen Wirtschaft in Deutschland zu interpretieren sind (Vorgehen siehe methodischer Kasten). Für das Jahr 2022 wird in der deutschen Wirtschaft eine lithiumabhängige Bruttowertschöpfung in Höhe von 69 Milliarden Euro generiert (etwa 10 Prozent der Wertschöpfung im Verarbeitenden Gewerbe). Der Produktionswert aller in Deutschland hergestellten Produkte, die Lithium beinhalten, beträgt 216 Milliarden Euro, was einem Anteil am Verarbeitenden Gewerbe von 9 Prozent entspricht. Etwa 480.700 Erwerbstätige, und damit 6 Prozent aller Erwerbstätigen im Verarbeitenden Gewerbe, sind in der Herstellung dieser Güter beschäftigt (siehe Abbildung 3-5). Der Umfang der Lithium-Wertschöpfungskette in Deutschland beläuft sich damit auf etwa ein Drittel der kupferbezogenen Wertschöpfungskette.

#### Abbildung 3-5: Wirtschaftliche Kennzahlen der Wertschöpfungskette Lithium 2022

Erwerbstätige, Bruttowertschöpfung und Produktionswert nach Branchen, Anteile der Branchen in Prozent



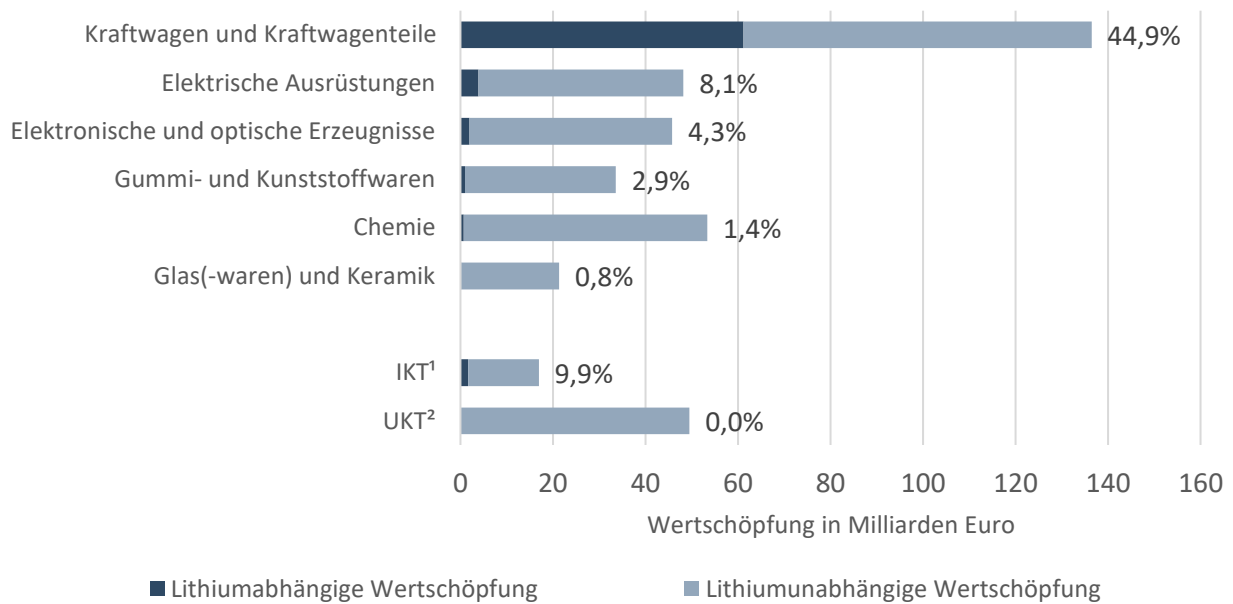
Quelle: Statistisches Bundesamt (2023a, 2023b), eigene Darstellung

Lithium wird hauptsächlich für die Produktion besonders leistungsfähiger Lithium-Ionen-Batterien und -Akkumulatoren verwendet, die in elektronischen Endgeräten und in der Automobilindustrie zum Einsatz kommen. Mit Hinblick auf die Verkehrswende wird die Verwendung des Rohstoffs also noch an Bedeutung gewinnen. Ein weiteres wichtiges Einsatzfeld von Lithium ist die Glas- und Keramikherstellung. Da die Automobilindustrie in Deutschland eine besonders hohe Präsenz aufweist, ist es folgerichtig, dass der mit Abstand größte wertmäßige Anteil der identifizierten lithiumhaltigen Produkte diesem Sektor zuzuordnen ist. Etwa 85 Prozent der 480.000 identifizierten lithiumabhängigen Erwerbstätigen sind in der Automobilindustrie tätig. Gemessen an der Bruttowertschöpfung liegt der Anteil sogar bei 89 Prozent. Auf die Elektrischen Ausrüstungen entfallen etwa 5 Prozent der lithiumabhängigen 69 Milliarden Euro Wertschöpfung (insbesondere in der Herstellung der Lithium-Batterien). Auch in einigen, in Deutschland hergestellten Gütern der Gummi- und Kunststoffwaren, der Glas- und Keramikwaren, der Chemieindustrie und der elektronischen und optischen Erzeugnisse ist Lithium enthalten.

Die identifizierten lithiumhaltigen Güter können neben der Zuordnung zum jeweils herstellenden Wirtschaftszweig auch in weitere Kategorien eingeteilt werden. Betrachtet werden können beispielsweise die beiden zukunftsrelevanten Produktionsbereiche Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) und Umwelt- und Klimatechnik (UKT) (Definition siehe Kapitel 3.1.1.1). Während im Produktionsbereich der Umwelt- und Klimatechnik kein lithiumhaltiges Produkt identifiziert wird, werden etwa 1,7 Milliarden Euro Wertschöpfung (und damit 2,4 Prozent der gesamten lithiumabhängigen Wertschöpfung) im Produktionsbereich der Informations- und Kommunikationstechnik generiert. Zu berücksichtigen ist, dass Lithium-Ionen-Akkumulatoren nach der Definition des Umweltbundesamts nicht zu den Gütern der UKT gezählt werden (siehe Kapitel 5.2). Wird eine Unterscheidung der identifizierten Güter nach ihrer Verwendung vorgenommen, zeigt sich, dass Lithium in Deutschland hauptsächlich als weiterverarbeitetes Produkt zum Einsatz kommt. In den ersten Schritten der Lithiumbearbeitung werden in Deutschland nur 0,2 Milliarden Euro Wertschöpfung generiert. Auch die Produktion von weiterverarbeiteten Lithium-Produkten generiert in Deutschland nur 5,4 Milliarden Euro Wertschöpfung. Erst bei der Herstellung von Endprodukten, in denen Lithium enthalten ist, werden 63,3 Milliarden Euro Wertschöpfung erzielt.

**Abbildung 3-6: Abhängigkeit der Branchen von Lithium im Jahr 2022**

Lithiumabhängige und -unabhängige Wertschöpfung in den Branchen in Milliarden Euro, Abhängigkeit in Prozent



<sup>1</sup> Informations- und Kommunikationstechnik, <sup>2</sup> Umwelt- und Klimatechnik, Lithium-Ionen-Akkumulatoren werden nach der Definition des Umweltbundesamts nicht zu den Gütern der UKT gezählt

Quelle: Statistisches Bundesamt (2023a, 2023b), eigene Darstellung

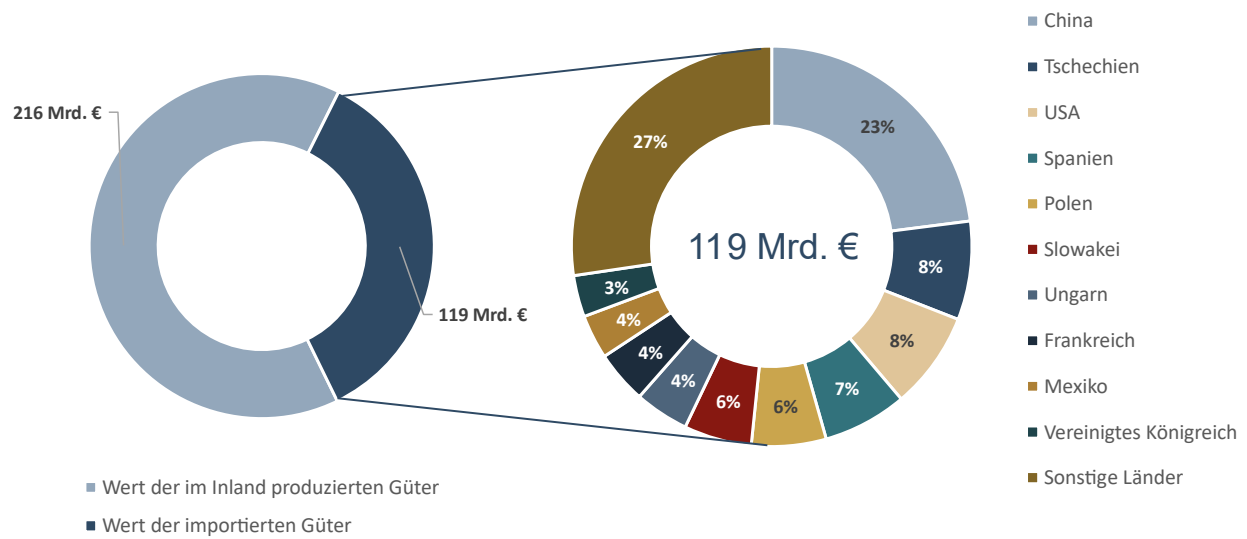
Mithilfe des berechneten Umfangs der Wertschöpfungskette Lithium in Deutschland können Aussagen über die Abhängigkeit der Industrie vom Rohstoff getroffen werden. Die Wertschöpfung der Automobilindustrie ist in Deutschland in besonders hohem Ausmaß von Lithium abhängig (siehe Abbildung 3-6). Während in anderen Branchen und Produktionsbereichen nur ein kleiner Teil der dort geschaffenen Wertschöpfung auf lithiumhaltige Güter zurückzuführen ist, beträgt der Anteil in der Automobilindustrie beinahe 45 Prozent. In Automobilen wird Lithium hauptsächlich in den Lithium-Ionen-Batterien verwendet, die die bevorzugte Energiespeicherlösung für Elektrofahrzeuge darstellen. Jedoch wird der Rohstoff teilweise auch in konventionellen Fahrzeugen verbaut, beispielsweise in den Bremsbelägen, in bestimmten Katalysatorsystemen, als Stabilisator in den Reifen oder in besonders leistungsfähigen Starterbatterien.

**3.2.1.2 Importabhängigkeiten bei lithiumhaltigen Produkten**

Auch um die Abhängigkeit Deutschlands von lithiumhaltigen Produkten zu untersuchen, wird der Wert der lithiumhaltigen Importgütern aus der UN Comtrade-Datenbank verwendet. Die dafür notwendige Liste an Produkten enthält 60 Güter auf der HS 6-Steller-Ebene, die spezifisch mit Lithium in Verbindung stehen. Mithilfe dieser Liste können die Importe lithiumhaltiger Produkte entlang der gesamten Wertschöpfungskette analysiert werden. Zusätzlich zur bereits im Kapitel 2 analysierten Importabhängigkeit des Rohstoffs selbst werden somit auch die verarbeiteten Produkte berücksichtigt (genaues Vorgehen siehe methodischer Kasten).

**Abbildung 3-7: Importe lithiumhaltiger Produkte im Jahr 2022**

Wert der importierten Produkte im Vergleich mit der Inlandsproduktion und nach Herkunftsland



Quelle: Statistisches Bundesamt (2023a, 2023b), eigene Darstellung

Im Jahr 2022 betrug der Gesamtwert der importierten lithiumhaltigen Güter in Deutschland 119 Milliarden Euro, während sich der Wert der im Inland hergestellten lithiumhaltigen Produkte auf 216 Milliarden Euro belief (siehe Abbildung 3-7). Wie bereits im methodischen Kasten erläutert, muss ein solcher Vergleich mit einer gewissen Vorsicht behandelt werden. Tendenziell wird der Wert der Importe im Vergleich zur Inlandsproduktion überschätzt. Betrachtet man die Zusammensetzung der Importe, ist erneut ersichtlich, dass China als Lieferland eine wichtige Rolle spielt. Rund 23 Prozent des Importwerts wird aus dem Land bezogen. Mit einem Anteil von 8 Prozent steht Tschechien bereits an zweiter Stelle der Lieferländer. Das Land ist ein wichtiger Lieferant für kfz-bezogene Produkte wie Autoreifen, aber auch fertige Kraftfahrzeuge. Wie bereits erwähnt, wird Lithium als Bestandteil von Bremsbelägen, Katalysatoren, Starterbatterien und Reifen auch in konventionellen Fahrzeugen verwendet. Ebenfalls einen Anteil von 8 Prozent an den Importen haben die USA. Auch weitere Länder der EU sind wichtige Lieferanten für Produkte, die der Wertschöpfungskette Lithium zuzuordnen sind.

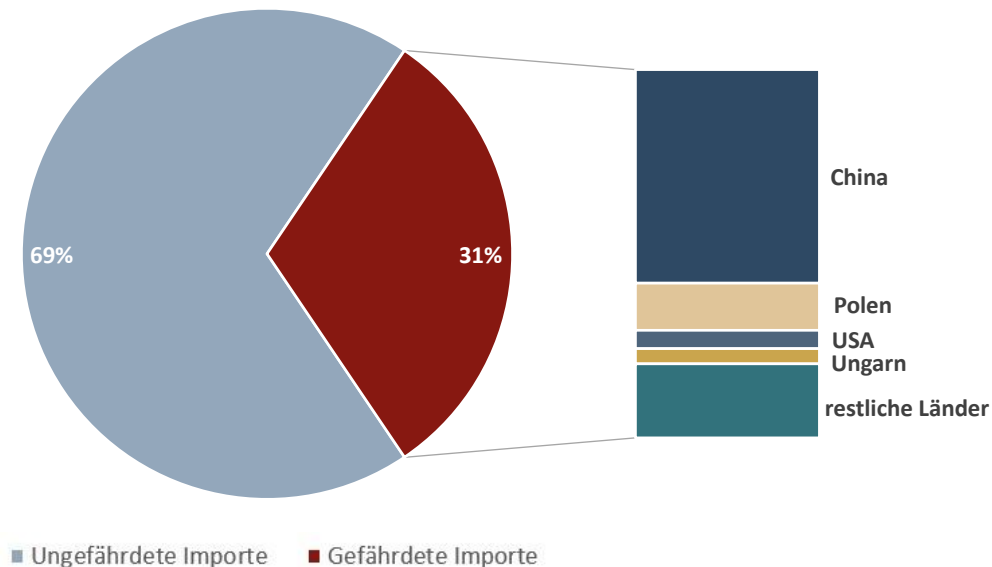
Um die Gefährdung der Importe von lithiumhaltigen Gütern einzuschätzen, wird wie schon zuvor der Herfindahl-Hirschman-Index (HHI) und das gewichtete Länderrisiko (GLR) verwendet (siehe methodischer Kasten). Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Abbildung 3-8 grafisch dargestellt. Unter Berücksichtigung der zuvor erläuterten Definition gelten 31 Prozent der wertmäßigen lithiumhaltigen Importe als gefährdet. Dies kann entweder bedeuten, dass die identifizierten, gefährdeten Produkte aus Ländern bezogen werden, die zum Großteil ein hohes Länderrisiko aufweisen. Auch bei den Produkten innerhalb der Lithium-Wertschöpfungskette trifft dies auf keines der Produkte zu. Die identifizierten gefährdeten Importe weisen alle eine hohe Konzentration auf und stammen aus Ländern, die im Durchschnitt nur eine mäßig stabile Regierungsführung aufweisen.

Der Anteil des gefährdeten Importwerts unterscheidet sich erheblich zwischen den einzelnen Verarbeitungsstufen der Lithium-Wertschöpfungskette. Wie bereits im Kapitel 2 herausgearbeitet wurde, ist der Bezug des Rohstoffs Lithium recht gut gesichert. Die Konzentration auf einige wichtige Bezugsländer (insbesondere Chile) ist zwar sehr hoch, die Lieferländer weisen im Durchschnitt aber ein geringes Länderrisiko nach dem GLR auf, sodass die Importe nach der in diesem Abschnitt angewandten

Definition als ungefährdet klassifiziert werden: weder der Bezug von Lithium selbst noch eines der ersten Weiterverarbeitungsprodukte wird als gefährdet eingestuft. Im Gegensatz dazu beträgt der wertmäßige Anteil der gefährdeten Importe bei den Vorleistungsprodukten der Lithium-Wertschöpfungskette 62 Prozent. In dieser Klasse fallen vor allem die Lithium-Ionen-Akkumulatoren ins Gewicht, die für die Produktion von Elektrofahrzeugen unerlässlich sind und zu beinahe 50 Prozent aus China bezogen werden. Bei den Konsum- und Investitionsgütern liegt der wertmäßige Anteil der gefährdeten Importe bei 23 Prozent.

### Abbildung 3-8: Gefährdete lithiumhaltige Importe und Lieferländer 2022

Lieferländer des gefährdeten Importwerts



Quelle: Statistisches Bundesamt (2023a, 2023b), UN Comtrade (2023), eigene Darstellung

Die hohe Abhängigkeit von China zeigt sich auch in der Betrachtung der Lieferländer der gefährdeten Produkte. Rund 58 Prozent der gefährdeten Importe stammen aus China. Weitere 13 Prozent des gefährdeten Importwerts entfällt auf Polen, weitere 5 Prozent auf die USA und 4 Prozent auf Ungarn. Da bei einer aggregierten Betrachtung aller gefährdeten Güter die Konzentration auf einzelne Bezugsländer relativiert wird, wird zusätzlich das jeweils wichtigste Bezugsland je identifizierter gefährdeter Gütergruppe untersucht. Dabei wird deutlich, dass erneut bei vielen Gütern eine außerordentlich hohe Konzentration der Bezüge auf China besteht. Für zwei Drittel der identifizierten Güterklassen gilt, dass der größte Anteil dieser Güter aus China bezogen wird. Der Anteil liegt mit 85 Prozent noch einmal deutlich höher, wenn der Wert dieser Güter in die Betrachtungen mit einbezogen wird. Es werden also nicht nur viele lithiumhaltige Güter besonders konzentriert aus China bezogen, diese Güter haben zudem einen hohen Wert beziehungsweise werden zu großen Mengen importiert. Wie bereits erwähnt, konzentriert sich mit einem Anteil von 49 Prozent beispielsweise der Bezug von Lithium-Ionen-Akkumulatoren auf das Land. Ein anderes wichtiges, stark auf China konzentriertes Importprodukt sind Mobiltelefone (87 Prozent aus China), in denen häufig Lithium-Ionen-Batterien verbaut sind. Für etwa 12 Prozent der stark konzentrierten Importe sind die USA das wichtigste Bezugsland.

Die Analysen verdeutlichen erneut, dass es neben der Betrachtung der Rohstoffe an sich auch von großer Bedeutung ist, die Abhängigkeit von weiterverarbeiteten Produkten zu berücksichtigen. Insbesondere in der Lithium-Wertschöpfungskette zeigt sich, dass die Produkte in der nachgelagerten Wert-

schöpfungskette viel stärker auf einige Bezugsländer konzentriert sind als die zugrunde liegenden Rohstoffe selbst. Auch bei den Lithium-Produkten ist China das Land, von dem Deutschland am stärksten abhängig ist.

### 3.2.2 Angebotsschock: Auslöser, Wahrscheinlichkeit, Auswirkungen

Wie für das vorhergehende Kapitel 3.1 zum Rohstoff Kupfer gilt auch im Falle von Lithium, dass die quantitative Analyse durch die Einschätzungen von Experten aus im Rahmen dieser Studie durchgeführten Interviews und einem Workshop ergänzt wird, um Auslöser eines Angebotsschocks zu eruieren und die Reaktionsmöglichkeiten von Unternehmen zu bestimmen.

#### 3.2.2.1 Mögliche Auslöser eines Angebotsschocks

Lithium als Rohstoff wird in Deutschland zu 100 Prozent importiert. Die hohe Importabhängigkeit erhöht das Risiko eines Lieferstopps im Vergleich zu Kupfer. In Europa besteht weder ein nennenswerter Bergbau noch eine Sekundärproduktion aus recyceltem Material.

Bei Lithium und der Diskussion möglicher Angebotsschocks ist zwischen den beiden Rohstoffquellen Erze und Sole zu differenzieren. Die Weiterverarbeitung der Erze – die Raffinade und weitere Verarbeitungsschritte etwa in der Batteriefertigung – erfolgt derzeit überwiegend in China unabhängig vom Ort der Rohstoffgewinnung. Die Aufbereitung von Sole findet stark in Lateinamerika und hier überwiegend Chile statt. Die direkten Importe von Lithiumcarbonaten (als Teilmenge der Lithiumimporte) stammten im Zeitraum von 2016 bis 2020 zu über 70 Prozent aus Chile (vgl. Kapitel 0). Nach Einschätzung der Workshopteilnehmer werden rund 65 Prozent des deutschen Rohstoffbedarfs direkt und indirekt aus lateinamerikanischen Quellen gedeckt. Als mögliche Auslöser eines kurzfristigen Lieferstopps wurden in den Interviews und im Workshop folgende Faktoren genannt:

- ▶ Das grundsätzliche Risiko von Lieferengpässen besteht insbesondere im Rahmen von weltweiten Pandemien oder sonstigen schweren Unterbrechungen des internationalen Warenhandels. In Deutschland können derartige kurzfristige Lieferengpässe nicht ausreichend durch Entnahmen aus Lagerhaltungen überbrückt werden.
- ▶ Der steigende Bedarf durch die zunehmende Produktion von Elektroautos in China kann zu Engpässen in den Lieferungen von Lithium und verwandten Produkten nach Europa führen. Dies wäre der Fall, wenn deren Produktion mit dem Bedarfsanstieg in China nicht schritthält oder nicht schnell genug ausgeweitet werden kann. Betroffen wären insbesondere jene Teile der Lieferkette, die derzeit über China laufen.
- ▶ Bei den Auslösern kann zwischen der Herkunft der Rohstoffquellen differenziert werden:
  - ▷ Bei der überwiegend aus Lateinamerika stammenden Sole und deren Weiterverarbeitungsprodukte gelten die schon bei Kupfer diskutierten Risiken. Hierzu lassen sich Streiks, politische Unruhen, geografische Risiken und Investitionsrisiken zählen. Sie haben in der Vergangenheit aber keine Auswirkungen auf die Produktion oder den Export von Rohstoffen gezeigt. Auch zukünftig werden hier keine größeren Verwerfungen erwartet, weil die Positionierung der Länder auf dem wachsenden Weltmarkt als verlässliche Lieferanten dadurch beschädigt werden könnte.
  - ▷ Lithiumhaltige Erze stammen derzeit überwiegend aus Australien und werden zu großen Anteilen in China raffiniert und weiterverarbeitet. Hier bestehen potenziell zusätzliche politisch motivierte Lieferrisiken.



- ▶ Der Aufbau weiterer Abbaugelände findet derzeit statt. Dies führt zu einer Ausweitung und Diversifizierung des Bergbauangebots, zum Teil jedoch auch in Ländern mit hohem Länderrisiko. Häufig sind chinesische Investoren beteiligt. Insofern wird sich hier erst noch zeigen, inwiefern sich diese Angebotsausweitung tatsächlich in Form einer Risikoreduzierung auswirken wird. Dies gilt auch für Anteilsverschiebungen zwischen den heute dominanten Bergbau- und Weiterverarbeitungsstaaten wie Chile, Australien und China.

Risikomindernd wirkt, dass es mehrere Lieferquellen gibt, die eine gewisse Diversifizierung ermöglichen. Das Länderrisiko wichtiger Bergbauländer wie Chile oder Australien gilt als mittel bis gering. Hinzu kommt die historische Erfahrung einer hohen Lieferfähigkeit lateinamerikanischer Länder auch bei politischen Unruhen und der wechselseitige Ausgleich von Lieferungen zwischen den Ländern. Ein kurzfristiger Lieferstopp wurde in Interviews und Workshop insgesamt als eher unwahrscheinlich angesehen.

In Deutschland besteht ein Weiterverarbeitungsstandort des Unternehmens Albemarle in Langelsheim, in dem viele Produktvarianten von Lithium für ein breites Anwendungsspektrum vor allem jenseits der Elektromobilität hergestellt werden. Dieses Unternehmen ist vertikal integriert und betreibt eine eigene Rohstoffgewinnung. Zudem werden derzeit von mehreren Unternehmen Standorte zur Lithiumraffinade für die Verwendung in der Elektromobilität entwickelt (z.B. AMG-Lithium in Bitterfeld, Rock Tech in Guben). Das Ziel dieser Bestrebungen liegt im Aufbau der der Batteriefertigung vorgelagerten Wertschöpfungsstufen in Deutschland.

Eine mittelfristige Ausdünnung in Form einer sich über eine längere Zeitdauer ergebenden Unterdeckung der Nachfrage nach Lithium wird zwar insgesamt ebenfalls als eher unwahrscheinlich eingeschätzt. Jedoch wird die Bewertung hier von besonderen Prognoseunsicherheiten hinsichtlich der Entwicklung von Angebot und Nachfrage erschwert:

- ▶ Die wichtigste, das künftige Verhältnis von Lithiumnachfrage und Lithiumangebot bestimmende Marktdynamik besteht in einem großen prognostizierten Anstieg des Bedarfs für die Elektromobilität. Während der Bedarf für die anderen Anwendungen von Lithium relativ niedrige Wachstumsraten aufweist, nimmt der Lithiumbedarf für die Elektromobilität mit batteriebetriebenen Fahrzeugen sprunghaft zu.
- ▶ Der Ausgangspunkt für die Erwartung einer stark steigenden Nachfrage nach Lithium liegt im Aufbau einer Batteriezellfertigung für die Automobilindustrie in Deutschland sowie deren vorgelagerter Wertschöpfungskette, wie z.B. der Raffinade von Lithium und der Produktion von Kathodenmaterial. Dies basiert auf der Erwartung, dass Europa künftig den globalen Leitmarkt für die Elektromobilität darstellen wird. Die sich hieraus ergebende Erwartung einer stark steigenden Lithiumnachfrage in Europa kommt aktuell jedoch von verschiedenen Seiten unter Druck:
  - ▶ Der in den USA von der Biden-Regierung verabschiedete Inflation Reduction Act zielt ebenfalls auf den Aufbau der gesamten Lieferkette Lithium für die Elektromobilität im Inland ab und steht damit in direkter Konkurrenz zu den europäischen Bestrebungen. Dies kann die Dynamik der Branche in Deutschland und Europa reduzieren und würde den Anstieg der direkten Rohstoffnachfrage in Europa, aber auch die Produktion von Batterievorprodukten in Europa dämpfen.
  - ▶ Ähnliches gilt für die Produktion von Elektroautos in China. Hier zeigt sich ein starker Produktionsanstieg, in dessen Folge die Marktanteile der europäischen Produktion von Elektroautos sinken und damit die europäische Lithiumnachfrage weniger stark steigen könnte.
  - ▶ In den Abbauländern, z. B. in Chile, gibt es Bestrebungen, einen größeren Teil der Lithium-Wertschöpfungskette zu besetzen. Dies soll durch den regionalen Aufbau entsprechender

Produktions- und Weiterverarbeitungsstrukturen erreicht werden. Ein zusätzlicher Wettbewerb aus diesen Regionen könnte den Aufbau der Lithiumverarbeitung und damit die Lithiumnachfrage in Europa mindern.

- ▶ Die Lieferkette für die Elektromobilität befindet sich global noch in der Entwicklung. Die Entscheidungen über die regionale und globale Verteilung von Produktionsstätten auf den verschiedenen Wertschöpfungsstufen sind noch nicht abgeschlossen. Die Batteriefertigung für die Automobilindustrie in Deutschland setzt derzeit noch stark auf die Lieferung von Batteriezellen aus dem Ausland. Die Rohstoffquellen für die im Aufbau befindlichen Raffinaden können sehr präzise ausgewählt werden oder befinden sich im direkten Zugriff der Produzenten.
- ▶ Gleichzeitig steht der elektromobilitätsgetriebenen Erwartung nach einer deutlichen mittelfristigen Nachfragesteigerung eine eher verhaltene Prognose des Angebotsausbaus gegenüber. Dies liegt u.a. in den starken negativen Umweltauswirkungen, die mit Abbau und Weiterverarbeitung von Lithium zusammenhängen. Für europäische Akteure gelten ESG-Kriterien, die ein Engagement in ausländischen Minen (v.a. Afrika) beschränken. Starke ökologische Bedenken aufgrund der umweltbelastenden Verfahren zur Lithiumgewinnung stehen auch den wirtschaftlichen Überlegungen zur Erschließung europäischer Lithiumvorkommen (z.B. Serbien, Finnland, Portugal) gegenüber.
- ▶ Grundsätzlich ist zu berücksichtigen, dass sich der weltweite Lithium-Markt in der Vergangenheit als vergleichsweise volatil erwiesen hat. Ist der Preis jedoch niedrig, lohnt sich die Exploration und Exploitation neuer Vorkommen nur bedingt.
- ▶ Grundsätzlich ist der Produktionsprozess von Lithium bereits sehr effizient, sodass nurmehr kleinschrittige Effizienzverbesserungen und damit nur eine geringe Verbesserung der Angebotssituation durch Effizienzsteigerungen zu erwarten ist. Mit dem Verfahren der direkten Lithium-Extraktion (DLE Direct Lithium Extraction) steht jedoch eine alternative Produktionstechnologie zur Verfügung, die den Aufbau von künftigen Produktionskapazitäten begünstigen könnte. Die direkte Lithium-Extraktion ist technologisch zwar etabliert, wird bislang aber nur stellenweise eingesetzt.
- ▶ Zur Sicherstellung der Versorgung mit kritischen Rohmaterialien soll der EU Critical Raw Materials Act, der bislang jedoch nur als von der Europäischen Kommission vorgelegter Gesetzesentwurf besteht, beitragen. Über entsprechende Ziele soll die Diversifizierung der Quellen für Materialien, die auf der regelmäßig aktualisierten EU-Liste kritischer Rohstoffe aufgeführt sind, sichergestellt werden. Allerdings sind die für die einzelnen Handlungsfelder notwendigen Maßnahmen (aufgeführt werden u.a. Beschleunigung von Genehmigungen, Ausbau der Kreislaufwirtschaft, neue Freihandelsabkommen) noch Gegenstand operationalisierender Abstimmungen.

Zusammenfassend lässt sich hinsichtlich der möglichen Auslöser eines Angebotsschocks damit feststellen, dass sowohl das Risiko eines kurzfristigen Lieferstopps für Lithium als auch einer mittelfristigen Ausdünnung als eher unwahrscheinlich eingeschätzt werden. Allerdings nehmen mit länger werdendem Betrachtungshorizont auch die Prognoseunsicherheiten deutlich zu, insbesondere aufgrund des durch die Transformation zur E-Mobilität getriebenen Auseinanderlaufens von Lithiumnachfrage und -angebot.

### 3.2.2.2 Auswirkungen auf die Wertschöpfungskette Lithium

Infolge einer Minderverfügbarkeit von Lithium als Rohstoff, die entweder auf einem kurzfristigen Angebotsschock oder einer längerfristigen Ausdünnung basieren kann, lassen sich zwei wesentliche Auswirkungen auf die Lithium-basierten Wertschöpfungsketten ausmachen:

- ▶ Kurzfristig wären insbesondere Glas-, Keramik- und Zementanwendungen betroffen. Hier gehen die konsultierten Experten jedoch davon aus, dass eine grundsätzliche Lieferfähigkeit recht schnell wieder hergestellt werden könnte. Jedoch würden deutliche Preisanpassungen erfolgen.
- ▶ Mittelfristig würden sich die Auswirkungen eher auf die für den Ausbau der E-Mobilität wichtige Batterieproduktion fokussieren. Eine ausgedünnte Verfügbarkeit von Lithium in Europa könnte insbesondere die avisierte Ansiedlung von Batterievorprodukt- und Batterieproduzenten bremsen und damit die Autoproduktion beeinträchtigen.

Insgesamt werden die Auswirkungen auf die Wertschöpfungsketten aufgrund der Gefahr für die künftige wirtschaftliche Teilhabe Europas an der Mobilitätstransformation als hoch eingeschätzt.

Das wahrscheinlichste Szenario einer Lieferkettenproblematik im Bereich Lithium ist, dass der Bezug von Lithium-Ionen-Akkumulatoren aus China wegfällt und damit die Produktion von Elektroautos in Deutschland ins Stocken gerät. Zwar werden auch in Deutschland und anderen Ländern in geringen Mengen Lithiumbatterien hergestellt, die nötigen Kathodenmaterialien aus Lithiumcarbonat werden jedoch auch aus China bezogen, so dass davon auszugehen ist, dass die Batterieproduktion in Deutschland ebenfalls betroffen wäre. In diesem Szenario wäre die Bruttowertschöpfung betroffen, die direkt mit der Produktion von Lithium-Ionen-Akkus und E-Fahrzeugen in Deutschland in Verbindung steht. Im Jahr 2022 beläuft sich diese auf 21,2 Milliarden Euro. Zudem hängen geschätzte 146.500 Arbeitsplätze an dieser Produktion.<sup>17</sup> Relativ gesehen sind das in etwa 0,6 Prozent der Bruttowertschöpfung der deutschen Wirtschaft und 0,3 Prozent aller Arbeitsplätze im Inland (zur Berechnungsmethode siehe Kapitel 5.1).

Sollte der Import von Lithium-Ionen-Akkus und den notwendigen Vorprodukten aus China wegfallen, wären zudem die indirekten Auswirkungen zu berücksichtigen. Denn auch die Zulieferer des Elektrofahrzeugbaus sind zu berücksichtigen, die nicht der Lithium-Wertschöpfungskette zuzuordnen sind. Das sind beispielsweise die Hersteller von Autoreifen und -sitzen, die Produzenten von Karosserien und die Anbieter von Finanzdienstleistungen, deren Wertschöpfung darauf beruht, ihre Vorleistungsprodukte an den Elektrofahrzeugbau zu liefern. Insgesamt ergibt sich eine am Elektrofahrzeugbau hängende Bruttowertschöpfung in Höhe von 65,6 Milliarden Euro. Somit würden aktuell 1,9 Prozent der gesamten Wirtschaftsleistung in Deutschland durch Lieferengpässe von Lithium-Ionen-Akkumulatoren betroffen sein (nähere Informationen zur Berechnungsmethode siehe Kapitel 5.2).<sup>18</sup> Die Anzahl der betroffenen Erwerbstätigen beläuft sich auf etwa 633.800 (1,4 Prozent aller Erwerbstätigen in Deutschland). Wie im methodischen Anhang genauer erläutert wird, überschätzen die Berechnungen die tatsächlichen Auswirkungen allerdings leicht, da für die Produktion von Elektrofahrzeugen weniger Bauteile verwendet werden als in konventionellen Fahrzeugen.

Die Bedeutung der Lithium-Ionen-Akkumulatoren für die deutsche Wirtschaft wird aufgrund der Verkehrswende in Zukunft stark zunehmen. Während im Jahr 2022 der Anteil der elektrischen Personenkraftwagen bei 25 Prozent lag, könnte dem „progressiven Szenario“ in einer für das MWIDE erstellten Studie zur Zukunft der Automobilwirtschaft in Nordrhein-Westfalen zufolge der Anteil bereits im Jahr 2025 bei 52 Prozent liegen und sich auch in den darauffolgenden Jahren stetig weiter erhöhen (vgl.

---

<sup>17</sup> Der Berechnung liegt die Annahme zugrunde, dass alle Bereiche der Automobilindustrie ähnlich beschäftigungsintensiv sind. Tatsächlich ist die Herstellung eines Antriebsstrangs für Elektrofahrzeuge allerdings weniger beschäftigungsintensiv als die Herstellung des konventionellen Antriebsstrangs (vgl. Kempermann 2021). Der Wert der gefährdeten Arbeitsplätze wird somit etwas überschätzt.

<sup>18</sup> Für die Berechnungen der Gesamteffekte wird der aktuelle Anteil der im Inland produzierten Elektro-Personenkraftwagen an der gesamten inländischen Produktion an Personenkraftwagen verwendet, der im Jahr 2022 im Durchschnitt 25,4 Prozent beträgt (vgl. VDA 2023).

Lichtblau et al. 2021). Den potenziellen Auswirkungen einer ausgedünnten Lithiumverfügbarkeit stehen nur sehr eingeschränkte Reaktionsoptionen zur Risikoreduzierung gegenüber:

- ▶ Die Substitution von Lithium durch andere Materialien ist aufgrund des technologischen Leistungsprofils nur sehr bedingt möglich. Zwar unterscheidet man für Lithium zwischen verschiedenen Reinheitsstufen, sodass gegebenenfalls über ein gewisses „Downgrading“ bislang höherreines Lithium durch Material mit einem geringeren Reinheitsgrad ersetzt wird. Allerdings erfordert insbesondere die Verwendung in Batterien für das dynamisch wachsende und die prognostizierte Knappheit verschärfende Anwendungsgebiet der E-Mobilität die höchste Reinheitsstufe (sogenanntes „Battery Grade“-Lithium).
- ▶ Insbesondere für den stationären Einsatz eignet sich die Verwendung von Natrium-Ionen-Batterien, die als Alternativtechnologie zu Lithium-Ionen-Batterien insbesondere von Akteuren aus China mit Nachdruck entwickelt werden. Zwar wird hier auf den Einsatz von Lithium (und Kobalt) weitgehend verzichtet, jedoch bringt die Natrium-Ionen-Technologie auch einige Nachteile (v.a. geringere Energiedichte, Altersbeständigkeit) mit sich. Laut Experteneinschätzung würde die flächendeckende Umstellung auf diese Technologie eine ungefähre Zeitspanne von fünf bis fünfzehn Jahren erfordern.
- ▶ Effizienzsteigerungen für den etablierten Prozess der Lithium-Gewinnung sind nur sehr eingeschränkt zu erwarten. Mittels verstärktem Einsatz der DLE-Technologie ließen sich kleinschrittige Effizienzverbesserungen, jedoch keine Effizienzsprünge realisieren.
- ▶ Das Recycling von Lithium aus Traktionsbatterien für die Elektromobilität wird derzeit parallel zum Aufbau der Batteriezellfertigung in Deutschland und Europa entwickelt. Der Beitrag zur Deckung der Lithiumnachfrage ist allerdings in den kommenden Jahren noch begrenzt, vor allem weil die Traktionsbatterien relativ lange in den E-Autos verbleiben. Borrmann et al. (2023, S. 20f.) rechnen bei Lithium mit einer Bedarfsdeckung für die in Europa angekündigten Produktionskapazitäten für Traktionsbatterien durch Rezyklat von 7 bis 10 Prozent bis 2030 sowie 11 bis 16 Prozent bis 2035.
- ▶ Eine längerfristige Lagerhaltung zur strategischen Bevorratung von Lithium ist als Reaktion ungeeignet. Zum einen bestehen technische Restriktionen, da Lithium luftempfindlich ist und daher insbesondere die für die E-Mobilität erforderlichen hohen Reinheitsgrade nur sehr eingeschränkt vorgehalten werden können. Zum anderen würde eine unverhältnismäßig hohe Kapitalbindung erforderlich werden.
- ▶ Damit fokussiert sich der Schwerpunkt eher auf das Feld der „proaktiven Risikoreduzierung“ in Form einer vorausschauenden, auf mehrere Herkunftsregionen aufgeteilten Beschaffung (sogenanntes „multiple regional sourcing“) oder langfristigen Abnahmeverträgen.

### 3.3 Seltene Erden

#### 3.3.1 Wirtschaftliche Bedeutung von Seltenen Erden in Deutschland

##### 3.3.1.1 Quantifizierung der betroffenen Produktionsbereiche

Die Quantifizierung der Wertschöpfungskette der Seltenen Erden (SE) in Deutschland wird auf dieselbe Weise wie schon die Analyse der anderen beiden Rohstoffe durchgeführt (siehe Kapitel 3.1.1.1). Als Quelle für die Identifizierung von Produkten, in denen Seltene Erden enthalten sind, dient eine erst kürzlich im Journal of Industrial Ecology erschienene Materialflussanalyse (Alonso et al., 2023). Nach Überführung der in der Veröffentlichung verwendeten ISIC-Klassifizierung in das Güterverzeichnis für

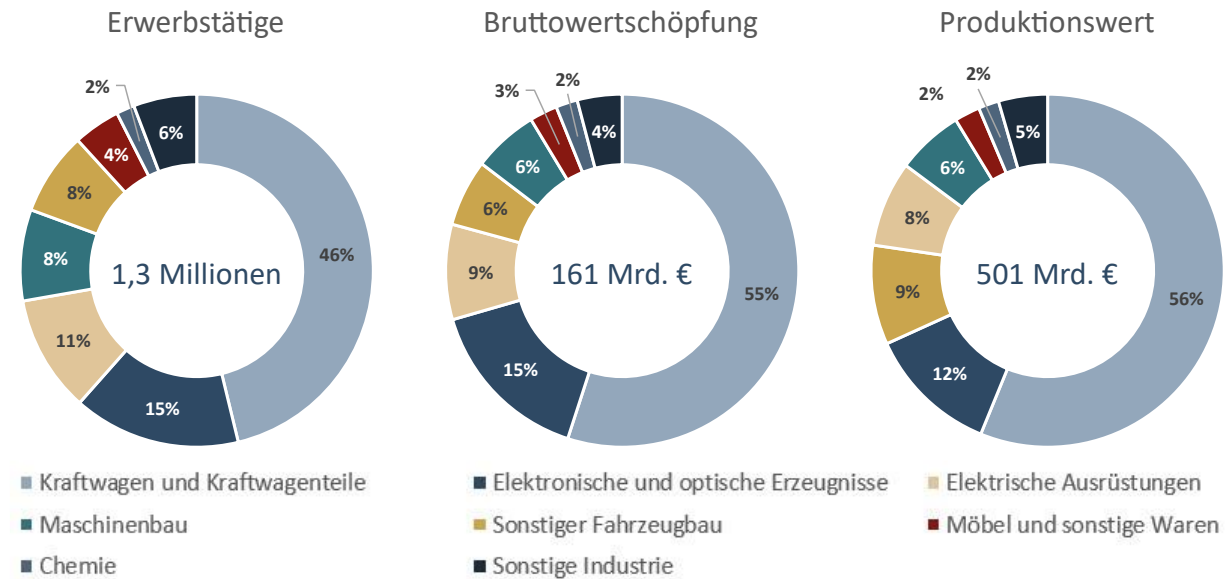
Produktionsstatistiken (GP) werden 484 Güterklassen identifiziert, in denen Seltene Erden oder auf Seltenen Erden beruhende Vorprodukte enthalten sind.

Wie schon in der Kuper- und Lithiumanalyse können für die einzelnen selten-erd-haltigen Güter Produktionswert, Bruttowertschöpfung und Erwerbstätigenanzahl ermittelt werden, die als Obergrenze für die von Seltenen Erden abhängige Wirtschaft zu interpretieren sind. Im Ergebnis beläuft sich die Anzahl der Erwerbstätigen, die in Deutschland mit der Herstellung von Selten-Erd-Metall-Produkten beschäftigt sind, auf 1,3 Millionen und ist damit nur etwas geringer als die Anzahl an Beschäftigten, die vom Kupfer abhängige Produkte herstellen. Relativ zur Gesamtzahl der Erwerbstätigen im Verarbeitenden Gewerbe sind das 17 Prozent. An den Seltenen Erden hängt in Deutschland eine Wertschöpfung in Höhe von 161 Milliarden Euro, das sind 22 Prozent der Wertschöpfung im Verarbeitenden Gewerbe. Der Produktionswert der hergestellten selten-erd-haltigen Produkte beläuft sich auf 501 Milliarden Euro, die Abhängigkeit des Verarbeitenden Gewerbes von Seltenen Erden beträgt somit 21 Prozent.

Wie schon bei den anderen beiden Rohstoffen fällt bei genauerer Betrachtung der selten-erd-haltigen Produkte auf, dass in Deutschland ein großer Anteil der Wertschöpfungskette der Seltenen Erden der Automobilindustrie zuzuordnen ist (siehe Abbildung 3-9). Etwa 88 Milliarden Euro Wertschöpfung und damit 55 Prozent der gesamten identifizierten abhängigen Wertschöpfung, wird bei der Herstellung von selten-erd-metallhaltigen Produkten der Automobilindustrie generiert. Weitere 6 Prozent der 161 Milliarden Euro Wertschöpfung können Produkten des Sonstigen Fahrzeugbaus zugerechnet werden. Der Einsatz von Seltenen Erden in Automobilen und anderen Fahrzeugen ist dabei recht vielfältig: Seltene Erden wie Neodym und Dysprosium finden Verwendung in Permanentmagneten für Elektromotoren, um die Leistungsfähigkeit von Elektrofahrzeugen zu verbessern. Aber auch in konventionell betriebenen Fahrzeugen werden Selten-Erd-Metalle eingesetzt. Beispielsweise können Cerium, Lanthan und Praseodym in Katalysatoren eingesetzt werden, um die Abgasemissionen von Fahrzeugen zu reduzieren. Europium und Yttrium kommen in Beleuchtungssystemen (Innen- und Außenbeleuchtung und Displays) zum Einsatz, um eine optimierte Lichtausbeute und Farbwiedergabe zu ermöglichen. Auch in verschiedenen Sensoren und elektrischen Bauteilen finden Seltene Erden Anwendung.

**Abbildung 3-9: Wirtschaftliche Kennzahlen der Wertschöpfungskette Seltene Erden 2022**

Erwerbstätige, Bruttowertschöpfung und Produktionswert nach Branchen, Anteile der Branchen in Prozent



Metallindustrie: WZ 24 und 25, Sonstige Industrie: WZ 21-25; andere Industrien (WZ 10-19) nicht betroffen

Quelle: Statistisches Bundesamt (2023a, 2023b), eigene Darstellung

Weitere Anwendungsfelder der Seltenen Erden finden sich in der Elektro- und Elektronikindustrie. Etwa 15 Prozent der insgesamt mithilfe von Seltenen Erden generierten Wertschöpfung entfällt auf die Produktion von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen. Neodym, Dysprosium und Europium spielen beispielsweise eine entscheidende Rolle in der Herstellung von Permanentmagneten, die neben ihrem Einsatz in Elektromotoren auch in Lautsprechern, Festplattenlaufwerken und anderen elektronischen Geräten verwendet werden. Darüber hinaus finden Seltene Erden wie Terbium, Yttrium und Cerium in der optischen Industrie Anwendung, insbesondere bei der Herstellung von Bildschirmen, Leuchten und Lasergeräten. In der Branche der elektrischen Ausrüstungen (9 Prozent der berechneten Wertschöpfung entfällt auf diesen Wirtschaftszweig) werden Seltene Erden wie Gadolinium und Praseodym verwendet, beispielsweise in Transformatoren, Schaltern und Stromerzeugungsanlagen. Auch in der Produktion von Gütern des Maschinenbaus und der Metallindustrie werden Seltene Erden benötigt.

In der vielfältigen Verwendung und den unterschiedlichen betroffenen Branchen spiegelt sich wider, dass es sich bei den Seltenen Erden um eine Gruppe von verschiedenen Elementen handelt, die unterschiedlich eingesetzt werden. So ist Yttrium beispielsweise in der Innen- und Außenbeleuchtung sowie in Displays von großer Bedeutung. Für die Optimierung von Magneteigenschaften werden hingegen Neodym, Praseodym, Dysprosium und Terbium eingesetzt. Lanthan findet in Akkumulatoren Anwendung. Zwischen diesen Anwendungen lassen sich die verschiedenen Seltenen Erde nicht ersetzen.

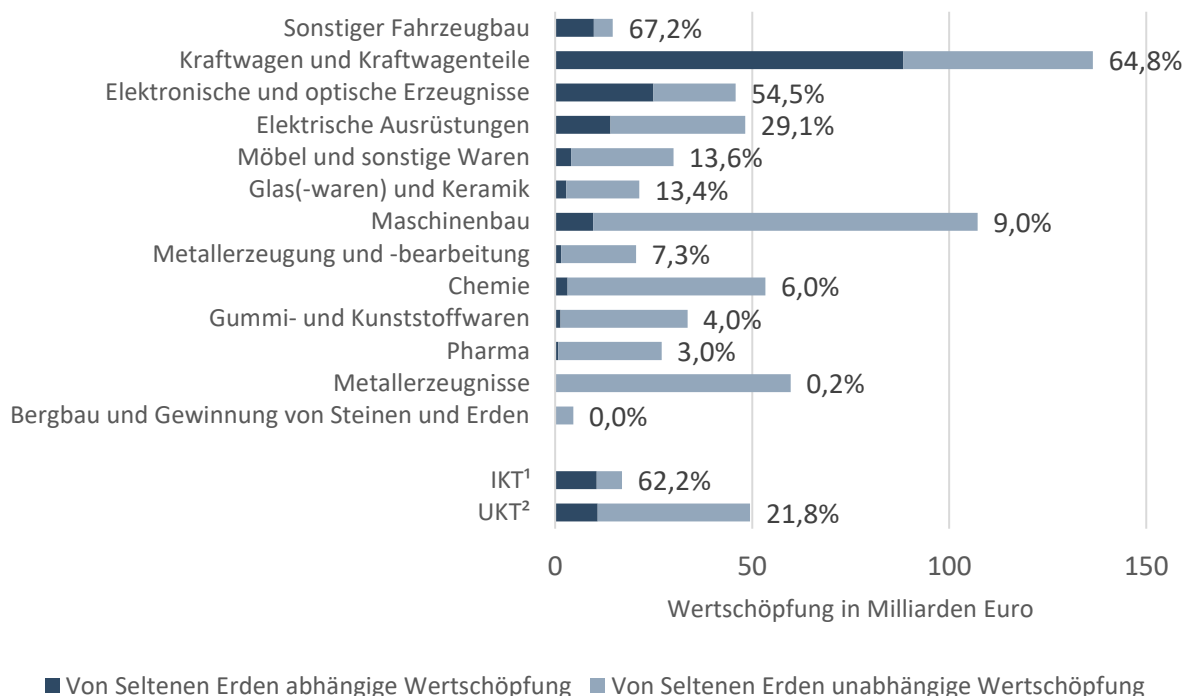
Mit Blick auf die zukunftsrelevanten Produktionsbereiche Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) und Umwelt- und Klimatechnik (UKT)<sup>19</sup> ist zu beobachten, dass die Seltenen Erden auch in diesen beiden Bereichen eine bedeutende Funktion haben. In der IKT wurden Seltene-Erd-Metall-Produkte

<sup>19</sup> Definition siehe Kapitel 5.2.

identifiziert, die eine Wertschöpfung in Höhe von 10,5 Milliarden Euro generieren (6,6 Prozent der insgesamt identifizierten Wertschöpfung). In der UKT liegt der entsprechende Wert bei 10,8 Milliarden Euro (und beträgt damit 6,7 Prozent der Wertschöpfung, die in Deutschland an den Seltenen Erden hängt). Aufgegliedert nach den drei Verwendungsgruppen zeigt sich für die Wertschöpfungskette der Seltenen Erden, dass auch bei diesem Rohstoff in Deutschland ein deutlicher Fokus auf den letzten Verarbeitungsschritten liegt. Während die Wertschöpfung, die in den ersten Bearbeitungsschritten mit Seltenen Erden erzielt wird, sehr gering ist (4,4 Milliarden Euro), beträgt die Wertschöpfung in den nachgelagerten Verarbeitungsschritten immerhin schon 172 Milliarden Euro. Die erwirtschaftete Wertschöpfung in der Herstellung von Konsum- und Investitionsgütern liegt noch einmal deutlich höher bei 324 Milliarden Euro Wertschöpfung.

### Abbildung 3-10: Abhängigkeit der Branchen von Seltenen Erden im Jahr 2022

Von Seltenen Erden abhängige und unabhängige Wertschöpfung in den Branchen in Milliarden Euro, Abhängigkeit in Prozent



<sup>1</sup> Informations- und Kommunikationstechnik, <sup>2</sup> Umwelt- und Klimatechnik

Quelle: Statistisches Bundesamt (2023a, 2023b), eigene Darstellung

Mithilfe der Quantifizierung der Wertschöpfungskette Seltene Erden in Deutschland können Rückschlüsse auf die Bedeutung des Rohstoffs für die Industrie gezogen werden. Bei der Analyse der Abhängigkeiten fällt auf, dass ein besonders hoher Anteil der Wertschöpfung im Fahrzeugbau von den Seltenen Erden abhängig ist (siehe Abbildung 3-10). In der Automobilindustrie beträgt der Anteil bei nahezu 65 Prozent, im Sonstigen Fahrzeugbau liegt der Anteil der von Seltenen Erden abhängigen Wertschöpfung sogar bei 67 Prozent. Auch in den Wirtschaftszweigen „Elektronische und optische Erzeugnisse“ (WZ 26) und „Elektrische Ausrüstungen“ (WZ 27) spielen Seltene Erden eine entscheidende Rolle. Betrachtet man die Produktionsbereiche, ist zu erkennen, dass die in der IKT erwirtschaftete Wertschöpfung besonders stark von den Seltenen Erden abhängt (62 Prozent), während der abhängige Anteil in der UKT geringer liegt (22 Prozent).

### 3.3.1.2 Importabhängigkeiten bei selten-erd-haltigen Produkten

Um die Abhängigkeit Deutschlands von Importen der Produkte der Wertschöpfungskette der Seltenen Erden zu untersuchen, müssen die zuvor identifizierten Produkte aus dem GP-Güterverzeichnis zunächst in die HS-Klassifikation übertragen werden. Durch diese Überführung ergibt sich eine Liste von 335 identifizierten Gütern auf der HS 6-Steller-Ebene, die Seltene Erden beinhalten. Anschließend wird der in der Comtrade-Datenbank enthaltene Wert der Importe dieser Güter verwendet, um das Ausmaß der Importabhängigkeit entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Seltenen Erden zu analysieren.

Im Jahr 2022 wurden in Deutschland Güter der Wertschöpfungskette Seltene Erden im Wert von 248 Milliarden Euro importiert. Im Vergleich dazu betrug der Wert der im Inland hergestellten Produkte der Wertschöpfungskette Seltene Erden 501 Milliarden Euro. Jedoch sollte ein solcher Vergleich, wie bereits in den vorherigen Kapiteln erwähnt, nur unter Vorbehalt vorgenommen werden, da die Importzahlen im Vergleich tendenziell überschätzt werden.

China ist mit 50 Prozent des Importwerts unverarbeiteter Seltene-Erd-Metalle und 20 Prozent des Importwerts weiterverarbeiteter Produkte jeweils der wichtigste Lieferant Deutschlands.<sup>20</sup> Neben den Seltene-Erd-Metallen selbst kommt beispielsweise ein Großteil der importierten Mobilfunkgeräte, Scheinwerferlampen oder Tantal-Elektrolytkondensatoren aus China. Wie schon bei den kupferhaltigen Produkten sind die USA mit einem Anteil von 12 Prozent das zweitwichtigste Lieferland für Produkte innerhalb der Wertschöpfungskette der Seltenen Erden. Weitere wichtige Lieferländer sind die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union.

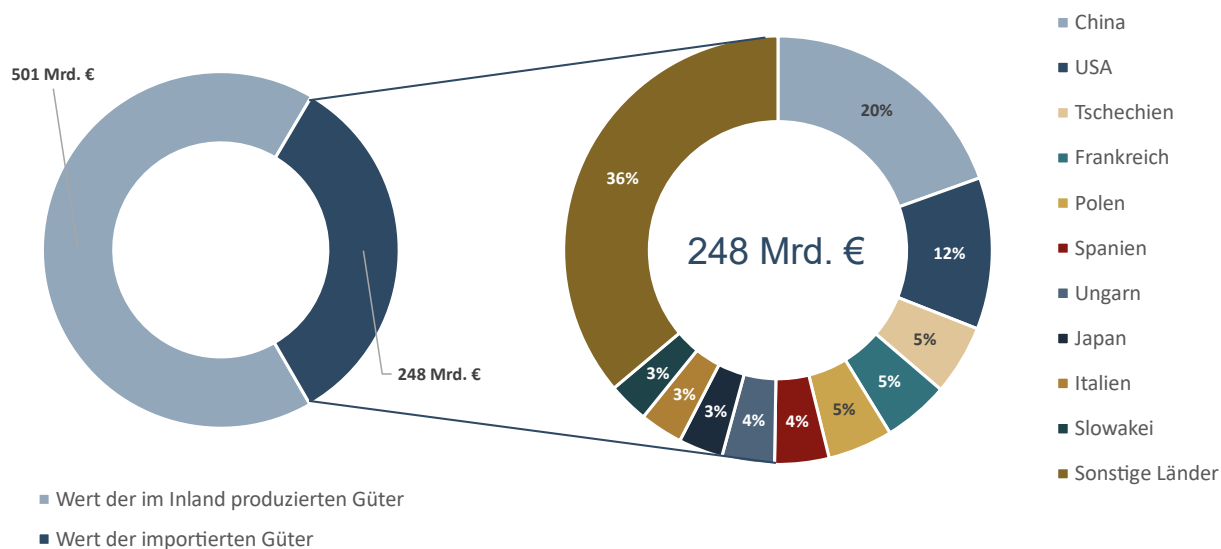
---

<sup>20</sup> Der Importwert der Seltene-Erd-Metalle beträgt nur 0,02 Prozent aller identifizierten Produkte innerhalb der Wertschöpfungskette der Seltenen Erden. Daher ergibt sich für die Gesamtheit der Güter eine Abhängigkeit von China von 19,5 Prozent.



**Abbildung 3-11: Importe selten-erd-haltiger Produkte im Jahr 2022**

Wert der importierten Produkte im Vergleich mit der Inlandsproduktion und nach Herkunftsland

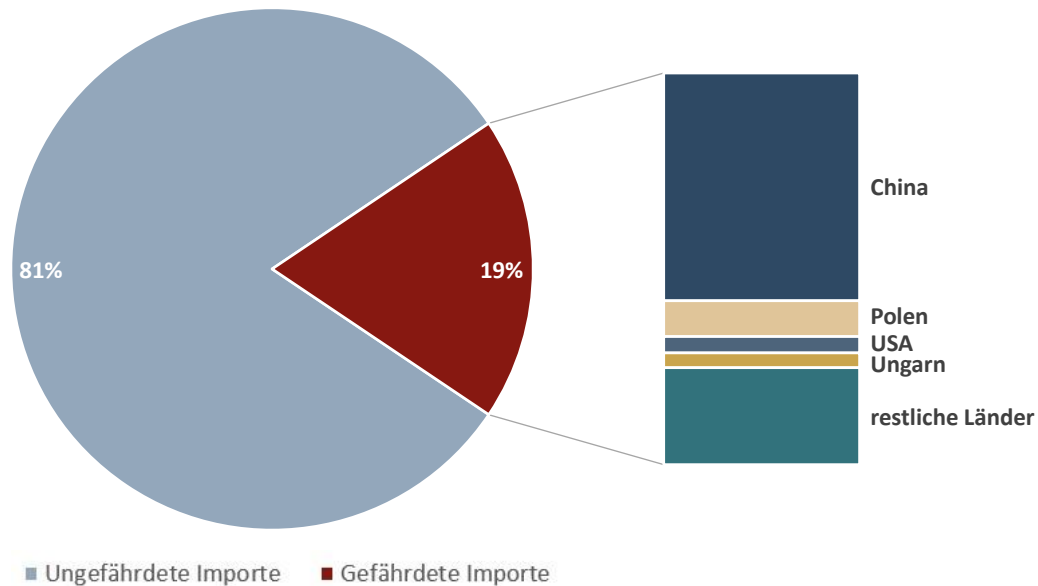


Quelle: Statistisches Bundesamt (2023a, 2023b), eigene Darstellung

Um die Gefährdung der ermittelten Importe in Höhe von 248 Milliarden Euro zu bewerten, kommen wie bereits in den vorherigen Analysen der Herfindahl-Hirschman-Index sowie das gewichtete Länderisiko als Risikomaße zum Einsatz. In Abbildung 3-12 sind die Ergebnisse der Berechnungen dargestellt. Gemäß der verwendeten Definition (siehe methodischer Kasten) gelten 19 Prozent der insgesamt identifizierten 248 Milliarden Euro Selten-Erd-Importe als gefährdet. Dies kann bedeuten, dass die gefährdeten Produkte hauptsächlich aus Ländern bezogen werden, die ein hohes Länderrisiko aufweisen. Jedoch trifft dies in Bezug auf keines der identifizierten Produkte innerhalb der Wertschöpfungskette der Seltenen Erden zu. Stattdessen weisen alle identifizierten gefährdeten Importe eine hohe Konzentration auf und stammen aus Ländern mit einer durchschnittlich mäßig stabilen Regierungsführung. Betrachtet man die Anteile der gefährdeten Importe getrennt nach Verarbeitungsstufe, zeigt sich, dass anders als in der Kupferwertschöpfungskette besonders die Rohstoffbezüge von Selten-Erd-Metallen und ersten Weiterverarbeitungsprodukten als gefährdet eingestuft werden. Alle Güterklassen dieser Produkte werden als gefährdet eingestuft. Wie bereits die Analyse in Kapitel 2 gezeigt hat, ist das wichtigste Bezugsland China. Der Anteil sinkt, wenn die nachfolgenden Wertschöpfungsschritte betrachtet werden: bei den Vorleistungsprodukten sind 21 Prozent des Importwerts gefährdet, bei den Endprodukten sind es 17 Prozent.

**Abbildung 3-12: Gefährdete selten-erd-haltige Importe und Lieferländer 2022**

Lieferländer des gefährdeten Importwerts



Quelle: Statistisches Bundesamt (2023a, 2023b), UN Comtrade (2023), eigene Darstellung

Um ein besseres Verständnis für die Art der Abhängigkeit der identifizierten, gefährdeten Importe zu erhalten, werden auf der rechten Seite der Abbildung 3-12 die bedeutendsten Lieferländer der gefährdeten Importe dargestellt. Aus China wird rund 58 Prozent des gefährdeten Importwerts bezogen. Bei der ausschließlichen Betrachtung der gefährdeten Importe ist der Anteil Chinas damit beinahe dreimal so hoch, wie bei einer aggregierten Betrachtung aller selten-erd-haltiger Importe. Güter, die zum Teil aus China importiert werden, haben damit häufiger ein nicht geringes gemitteltes Länderrisiko und weisen besonders starke Konzentrationen auf wenige Bezugsländer auf. Polen ist für die Lieferung von gefährdeten Gütern im Wert von weiteren 4,3 Milliarden Euro (9 Prozent des gefährdeten Gesamtwerts) verantwortlich. Auch aus den USA und Ungarn (jeweils 4 Prozent) werden einige, als gefährdet eingestufte Güter importiert. Erneut wird zusätzlich das wichtigste Lieferland je Produktklasse betrachtet. Für beinahe 80 Prozent der als gefährdet eingestuften Güter ist China das wichtigste Bezugsland. Gemessen am Wert dieser Güter liegt der Anteil mit 89 Prozent sogar noch höher. Beispielsweise stammen 82 Prozent der Seltene-Erd-Metalle, 55 Prozent der Glaswaren aus Glaskeramik und 84 Prozent der Dauermagnete aus China. Ein weiteres Land, welches das wichtigste Bezugsland für einige der identifizierten Güter darstellt, sind die USA. Hier liegt der Anteil mit 12 Prozent am gefährdeten Importwert jedoch deutlich niedriger.

### 3.3.2 Angebotsschock: Auslöser, Wahrscheinlichkeit, Auswirkungen

Wie in den vorangegangenen Kapitel 3.1 für Kupfer und 3.2 für Lithium wird für die Seltenen Erden die quantitative Analyse durch die Einschätzungen von Experten aus den im Rahmen dieser Studie durchgeführten Interviews und einem Workshop ergänzt, um Auslöser eines Angebotsschocks zu eruieren und die Reaktionsmöglichkeiten von Unternehmen zu bestimmen. Dies ermöglicht ein umfassenderes Verständnis für die bestehenden Abhängigkeitsstrukturen der deutschen Industrie. Die Ergebnisse dieses Vorgehens werden im Folgenden erörtert.

### 3.3.2.1 Mögliche Auslöser eines Angebotsschocks

Bei der Versorgung mit Seltenen Erden sind Deutschland und Europa auf Importe angewiesen. Auch wenn die Datenlage bei Seltenen Erden besonders unübersichtlich ist, ist von einer noch geringeren Diversifizierung in der Lieferkette als bei Kupfer und Lithium auszugehen, weil sich sowohl ausbeutbare Rohstoffvorkommen als auch die Weiterverarbeitung in sehr starkem Maße auf China konzentrieren. Ein weiterer Unterschied zu Kupfer und Lithium besteht darin, dass eine nennenswerte Verarbeitung von Seltenen Erden in Deutschland praktisch nicht stattfindet. Importiert werden in erster Linie schon verarbeitete Produkte wie Legierungen und Pulver sowie die wichtige Produktgruppe Magnete selbst. Die Wahrscheinlichkeit eines kurzfristigen Lieferstopps einzuschätzen, läuft wegen der marktbeherrschenden Stellung auf eine Beurteilung Chinas hinaus, wo neben ökonomischen Aspekten auch (geo)politische Motive und Hintergründe eine Rolle spielen.

Als mögliche Ursachen für einen kurzfristigen Angebotsschock wurden in den Interviews und dem Workshop insbesondere die folgenden Aspekte genannt:

- ▶ Das Risiko eines eskalierenden Taiwan-Konfliktes und damit einhergehende (beiderseitige) wirtschaftliche Sanktionen wird als nicht unerheblich eingestuft.
- ▶ Bereits in der Vergangenheit wurden die Lieferungen Seltener Erden von China an Europa kurzfristig gestört. Hier sind insbesondere die im Zuge der COVID19-Pandemie verfolgte Eindämmungsstrategie Chinas sowie die zeitweise havariebedingte Blockierung des Suez-Kanals zu nennen (Bardt/Grömling 2021). Im Jahr 2010 begrenzte China die Produktion Seltener Erden im eigenen Land und schränkte die Ausfuhr ein, was zumindest temporär global höhere Preise zur Folge hatte. Im Zuge dieser Entwicklungen kam eine politische Krise zwischen China und Japan im Streit um Hoheitsgebiete im Ostchinesischen Meer hinzu. Der Exportstopp für Seltene Erden nach Japan befeuerte die entstandene Spekulationsblase zusätzlich (Kullik 2020).
- ▶ Allerdings können bewusste Angebotsmanipulationen grundsätzlich auch zu nicht intendierten Effekten führen (z.B. längerfristige Auswirkungen, Gegenreaktionen, Umgehungsgeschäfte, Imageschaden), sodass auch für den Verursacher unvorhersehbare Risiken verbleiben.

Vor dem Hintergrund dieser möglichen Ursachen besteht nach Experteneinschätzung insgesamt eine durchaus hohe Wahrscheinlichkeit für einen kurzfristigen Angebotsschock.

In die Einschätzung der Wahrscheinlichkeit einer mittelfristigen Ausdünnung in Form einer sich über eine längere Zeitdauer ergebende Unterdeckung der Nachfrage nach Seltenen Erden gehen folgende Überlegungen ein:

- ▶ Die Nachfrage nach Seltenen Erden wird wesentlich durch den Ausbau grüner Technologien bestimmt, insbesondere durch E-Mobilität und Windkraftanlagen. Seltene Erden kommen in Permanentmagneten zum Einsatz, die in Elektromotoren und Sensorikkomponenten verbaut werden. Hier wird erwartet, dass die Nachfrage künftig noch deutlich steigen wird.
- ▶ Ankerpunkt für die Überlegungen zur Angebotsentwicklung Seltener Erden ist letztlich auch hier die starke Abhängigkeit von China. Eine schrittweise Reduzierung des für den Export vorgesehenen Angebotes (z.B. über Quotenregelungen zu den im Land zu verbleibenden Mengen) im Rahmen einer langfristig orientierten Industriepolitik kann im Interesse Chinas sein, um beispielsweise die Magnetproduktion in China zu schützen.
- ▶ Das weltweit verfügbare Angebot an Seltenen Erden wird allerdings nicht durch ihre tatsächliche Seltenheit bestimmt, sondern durch die begrenzte Anzahl an erschlossenen Abbaugebieten. Umweltüberlegungen stehen aktuell einer intensiven Erschließung entgegen.

- ▶ Insbesondere der Aufbau der Weiterverarbeitung in den USA führt zwar zu einer Diversifizierung auf globaler Ebene. Die positiven Auswirkungen auf Europa können aber möglicherweise sehr begrenzt sein, da die Nachfrage in den USA hoch ist und im Zweifel zuerst bedient wird.
- ▶ Effizienzsteigerungen bei Abbau und Weiterverarbeitung von Seltenen Erden sind nur noch in kleinen Schritten zu erwarten, da man hier bereits am „effizienten Rand“ operiert.
- ▶ Die Einschätzungen zum Recycling als Option zur Erhöhung des Angebotes sind sehr heterogen, aber insgesamt pessimistisch. Dies liegt nicht zuletzt daran, dass heute Recycling von Seltenen Erden in Deutschland nur in Pilot- oder Demonstrationsprojekten existiert. Kritisch wird sowohl die Sammlung als auch die sortenreine Trennung und Aufbereitung des Materials gesehen. In begrenztem Rahmen zeigen die Pilotprojekte eine prinzipielle Machbarkeit. Sie basiert überwiegend auf geschlossenen Kreisläufen mit einzelnen Produktvarianten (Bsp.: Hitachi Japan hat Kreislauf seltene Erden aufgebaut; Bsp. Pumpenhersteller aus Interview). Auch bei der Sekundärrohstoffgewinnung wird ein großer Vorteil für China gesehen, da hier schon die Prozesse für die Primärrohstoffgewinnung etabliert sind.

Zusammenfassend wird die Wahrscheinlichkeit einer mittelfristigen Ausdünnung ebenfalls als hoch eingeschätzt.

### 3.3.2.2 Auswirkungen auf die Wertschöpfungskette Seltene Erden

Die einzelnen Elemente der Rohstoffgruppe der Seltenen Erden werden in vielen unterschiedlichen Bereichen angewendet. Die Verfügbarkeit einzelner Seltener Erden kann sich deutlich unterscheiden, wenn sich Angebots- und Nachfrageverhalten in den unterschiedlichen Anwendungen differenziert entwickeln. Ein Ausgleich zwischen den einzelnen Seltenen Erden ist in der Regel nicht möglich, da die Elemente in ihren spezifischen Anwendungen nicht wechselseitig substituierbar sind.

Bezogen auf die wichtige Produktgruppe der Permanentmagnete sind folgende wesentliche Auswirkungen einer Minderverfügbarkeit von Seltenen Erden auf die darauf basierende Wertschöpfungskette zu erwarten:

- ▶ In der kurzen Frist wären die Auswirkungen erheblich, da Permanentmagnete nicht bzw. nur unter signifikantem Leistungsverlust substituiert werden könnten.
- ▶ Mittelfristig ließen sich die derzeit verwendeten Permanentmagnete durch die Entwicklung von Alternativen, wie fremderregte Motoren oder innovative Materiallegierungen, substituieren. Dafür müssten allerdings andere Rohstoffe neu oder verstärkt eingesetzt werden. Fremderregte Motoren ohne Permanentmagnete benötigen einen wesentlich höheren Einsatz von Kupfer. Innovative Legierungen für Permanentmagnete setzen anstelle von Neodym, Praseodym, Dysprosium oder Terbium häufig andere Seltene Erden ein, die derzeit in Hinblick auf die verfügbaren Mengen als weniger kritisch eingestuft werden, für die aber hinsichtlich ihrer Herkunft aus China eine ähnliche Problemlage gilt. Zudem ist die zeitliche Synchronisierung dieser Prozesse von Bedeutung. Die Entwicklung der genannten Alternativen ist kostspielig und langwierig. Die derzeitige Marktlage und Risikoeinschätzung bieten trotz der hohen Abhängigkeit von China jedoch nur unzureichende Anreize für deren Entwicklung.

Insgesamt werden die Auswirkungen auf die Wertschöpfungsketten als ähnlich hoch wie im Falle von Lithium eingeschätzt.

Wie schon bei Lithium ist das wahrscheinlichste Szenario einer Lieferkettenproblematik ein kurz- oder mittelfristiger Angebotsschock aus China. Der daraus resultierende Mangel an Permanentmagneten

sowie den darin verarbeiteten Selten-Erd-Oxiden würde sich vor allem in der Produktion von Elektrofahrzeugen niederschlagen. Die Bruttowertschöpfung, die direkt mit der Produktion von Dauermagneten und E-Fahrzeugen in Deutschland im Jahr 2022 in Verbindung steht und in dem beschriebenen Szenario betroffen wäre, beläuft sich auf 19,5 Milliarden Euro. Geschätzte 130.700 Beschäftigte sind mit der entsprechenden Produktion beschäftigt. Relativ zur Gesamtwirtschaft in Deutschland wären in der aktuellen Wirtschaftsstruktur somit 0,6 Prozent der Bruttowertschöpfung sowie 0,3 Prozent der Arbeitsplätze betroffen (zur Berechnungsmethode siehe Kapitel 5.1).

Werden die indirekten Effekte einbezogen, die sich in den vorgelagerten Wertschöpfungsketten des Wirtschaftszweigs ergeben, dann würde ein durch einen Mangel an Permanentmagneten hervorgerufener Einbruch des deutschen Elektrofahrzeugbaus rund 65,6 Milliarden Euro Bruttowertschöpfung (rund 1,9 Prozent der gesamten Bruttowertschöpfung) gefährden. Zudem wären in einem solchen Szenario 633.800 Arbeitsplätze gefährdet (1,4 Prozent aller Erwerbstätigen in Deutschland). Es ist davon auszugehen, dass die Bedeutung der Elektromobilität in Deutschland in Zukunft zunehmen wird. Der den Berechnungen zugrundeliegende aktuelle Anteil der elektrisch betriebenen Kraftwagenproduktion an der gesamten Produktion beträgt 25,4 Prozent (vgl. VDA 2023). Dem „progressiven Szenario“ in einer für das MWIDE erstellten Studie zur Zukunft der Automobilwirtschaft in Nordrhein-Westfalen zufolge, könnte dieser Anteil bereits im Jahr 2025 bei 52 Prozent liegen und bis zum Jahr 2040 etwa 83 Prozent erreichen (vgl. Lichtblau et al. 2021). Die Auswirkungen eines Mangels an Permanentmagneten würden in Zukunft also noch deutlich steigen.

Um die aufgeführten kurz- und mittelfristigen Auswirkungen auf die Wertschöpfungskette zu reduzieren, steht auch in Bezug auf die Seltenen Erden nur ein sehr begrenztes Portfolio an Optionen zur Verfügung:

- ▶ Eine technische Substitution von Seltenen Erden im Rahmen der aktuell verwendeten Technologien ist in vielen Anwendungsgebieten grundsätzlich zwar möglich, geht aber mit einer verschlechterten Effizienz einher. Insbesondere bei in E-Motoren eingesetzten Permanentmagneten ist eine Substitution von Seltenen Erden aufgrund der spezifischen Materialeigenschaften (v.a. spezifische Leistung, Temperaturbeständigkeit) nur sehr eingeschränkt realisierbar. An alternativen Magneten, in denen keine Seltenen Erden verwendet werden, wird zwar geforscht. Hier ist aber nach Einschätzungen aus den im Rahmen dieser Studie durchgeführten Interviews und dem Workshop in naher Zukunft kein Durchbruch zu erwarten. Bei Sensortechnologien wurde in diesen Interviews die Möglichkeit, Seltene Erden zu substituieren, ebenfalls als grundsätzlich schwierig beurteilt.
- ▶ Hingegen lassen sich in einigen Anwendungsgebieten die aktuell verwendeten Technologien, die auf Seltenen Erden basieren, grundsätzlich durch auf anderen Materialien basierenden Technologien ersetzen. Dies führt dann allerdings auch hier zu Effizienzverschlechterungen. Beispielsweise könnten Reluktanzmotoren in der E-Mobilität oder Asynchronmotoren in Windkraftanlagen eingesetzt werden. Die von Experten angegebene Zeitspanne für derartige technologische Substitutionen beträgt in grober Schätzung mindestens zwei Jahre.
- ▶ Eine vertikale Integration produzierender Unternehmen unter Einbeziehung der Wertschöpfungsstufen der Gewinnung und Aufbereitung Seltener Erden (Beispiel Siemens Malaysia) ist möglich, erfordert aber einen zeitlichen Vorlauf von mehreren Jahren, um die dann notwendigen flankierenden Fertigungsprozesse zu realisieren.
- ▶ Eine Lagerhaltung bietet sich aufgrund der hohen notwendigen Kapitalbindung als Reaktionsoption nur sehr bedingt an, obwohl diese Praxis vereinzelt durchaus angewendet wird. Zudem bringt eine Bevorratung von Seltenen Erden wenig, wenn nicht gleichzeitig auch die korrespondierenden Weiterverarbeitungskapazitäten (z.B. Magnetherstellung) vorhanden sind.

- ▶ Eine belastbare und ausreichend dimensionierte Recyclingkette für Seltene Erden besteht in Deutschland bzw. Europa bislang nicht. Sie müsste erst von Grund auf aufgebaut und in eine (bislang in Europa ebenfalls nicht vorhandene) primäre Wertschöpfungskette integriert werden. Für den Aufbau einer primären Wertschöpfungskette wäre nach Experteneinschätzung ein Zeithorizont von mehr als 10 Jahren erforderlich. Zudem ist fraglich, ob die notwendigen Fachkräfte zur Verfügung stehen. Um eine hinreichende Wirtschaftlichkeit einer Recyclingkette zu erreichen, wären hohe Rücklaufquoten notwendig. Zudem bestehen hinsichtlich des Recyclings von Seltenen Erden noch ungelöste technische Schwierigkeiten, da Seltene Erden schlecht separierbar sind und so die gewünschte Reinheit nicht erreicht wird. Ein größerer Beitrag des Recyclings zur Rohstoffversorgung bei Seltenen Erden wird von Experten in den im Rahmen dieser Studie durchgeführten Interviews und im Workshop in absehbarer Zeit nicht erwartet.

Um langfristig eine resilientere Wertschöpfungskette für Produkte mit Seltenen Erden in Deutschland zu etablieren, erscheint daher ein breiter Ansatz notwendig. Die Diversifizierung der Rohstoffgewinnung kann in der Zusammenarbeit mit Ländern erreicht werden, die über noch nicht erschlossene Vorkommen verfügen. Inländische Weiterverarbeitungskapazitäten in Deutschland und Europa sowie dazu passende Forschung und Entwicklung können aufgebaut und erweitert werden. Diversifizierung der Rohstoffgewinnung und die Entwicklung von Weiterverarbeitungskapazitäten sind notwendige Elemente für eine resilientere Wertschöpfungskette, deren Umsetzung allerdings nicht kurzfristig möglich sein wird.

### 3.4 Abhängigkeiten und Risikofaktoren der Rohstoffe im Vergleich

Die drei betrachteten Rohstoffe Kupfer, Lithium und Seltene Erden werden in Deutschland vor allem in den Wirtschaftsbereichen des Fahrzeugbaus, der Elektroindustrie und des Maschinenbaus eingesetzt. Alle drei Bereiche haben in unterschiedlichen Funktionen eine große Bedeutung für die duale Transformation der Wirtschaft im Zuge der Dekarbonisierung und Digitalisierung.

Bei den drei Rohstoffen treten neben die Produktion von Gütern in Deutschland, die die jeweiligen Rohstoffe enthalten, rohstoffhaltige Importgüter im Wert von jeweils etwa der Hälfte des Produktionswertes der in Deutschland hergestellten Güter. Neben China als jeweils größten Lieferanten der betrachteten rohstoffhaltigen Güter spielen die USA, Tschechien, Polen, Frankreich und Spanien die größte Rolle für den Bezug dieser Produkte.

Die Wahrscheinlichkeit und die wirtschaftlichen Auswirkungen sowohl eines plötzlichen Lieferstopps als auch einer schleichenden Ausdünnung von Lieferungen mit Rohstoffen wurden in strukturierten Interviews und im Rahmen eines Workshops (Kapitel 5.3) diskutiert. In Kombination mit der vorangegangenen Analyse werden Wahrscheinlichkeiten und Auswirkungen für die verschiedenen Rohstoffe unterschiedlich eingeschätzt:

- ▶ Für Kupfer wird ein plötzlicher Lieferstopp der Rohstoffe als unwahrscheinlich erachtet. Eventuell ausfallende Rohstofflieferungen aus einem Land lassen sich zudem aufgrund der relativ hohen Diversifikation und des Sekundärrohstoffangebots wahrscheinlich ersetzen. Auch bei weiterverarbeiteten Vorprodukten ist auf Basis dieser Analyse davon auszugehen, dass sich ein plötzlicher Lieferstopp durch Anpassungen bei Mengen und Preisen kompensieren ließe. Eine längerfristig eintretende Ausdünnung der Lieferungen könnte wahrscheinlich über Preis- und Mengenreaktionen am Markt aufgefangen werden.
- ▶ Für Lithium wird ein plötzlicher Lieferstopp der Rohstoffe ebenfalls als unwahrscheinlich erachtet. Die Rohstoffförderung findet teilweise in Ländern mit niedrigem Länderrisiko, teilweise in Ländern

mit mittlerem bis hohem Länderrisiko statt und ist diversifiziert. Bei den traditionellen Anwendungen von Lithiumprodukten in der Glas-, Keramik- und Zementindustrie werden die Lieferketten als stabil erachtet.

Die für die Elektromobilität relevante Wertschöpfungskette für Lithium-Ionen-Batterien und deren Vorprodukte gilt derzeit als noch fragiler und könnte stärker von einem Lieferstopp betroffen sein. Dies gilt insbesondere, wenn industriepolitische Erwägungen in China die Lieferung von Batterien oder deren Vorprodukten erschweren. In diesem Fall sind nennenswerte Auswirkungen auf die Produktion in der Automobilindustrie zu erwarten.

Das Szenario einer längerfristigen Ausdünnung hat vor allem Relevanz für den Aufbau einer Batteriewertschöpfungskette in Deutschland, die schon bei Importen von Lithium als Rohstoff für die Raffinade in Deutschland beginnt. Hier stellt sich die Frage, ob die notwendigen zusätzlichen Rohstoffmengen für den Aufbau der Wertschöpfungskette in Zukunft im Wettbewerb mit China und den USA beschafft werden können. Die Eintrittswahrscheinlichkeit einer solchen Verknappung wurde aber von den Interviewpartnern und Workshop-Teilnehmern ebenfalls als gering eingestuft.

- ▶ Für die Seltenen Erden wird dagegen sowohl für die kurz- als auch für die mittelfristige Perspektive von einer relativ hohen Eintrittswahrscheinlichkeit ausgegangen. Diese Überlegung fußt auf zwei Ursachen. Einerseits ist sowohl die Rohstoffproduktion als auch die Weiterverarbeitung stark auf China konzentriert. Andererseits zeigt die historische Erfahrung, dass China zu einer strategischen Angebotsverknappung bereit und in der Lage ist. Das Beispiel der Permanentmagnete belegt, dass die Abhängigkeit nicht nur auf der Rohstoffebene, sondern auch bei den stärker weiterverarbeiteten Produkten liegt. Bei einem kurz- oder mittelfristigen Lieferstopp bei diesen Produkten wäre mit nennenswerten Auswirkungen auf die Produktion in der Automobilindustrie zu rechnen.

Vergleicht man verschiedene Faktoren, die einen Beitrag zur Risikobegrenzung bei der Rohstoffversorgung der deutschen Wirtschaft leisten können, ergibt sich für die drei betrachteten Rohstoffe ein differenziertes Bild. Die Einschätzung für die drei Rohstoffe hinsichtlich dieser Faktoren ist in der Tabelle 3-1 angegeben.

- ▶ Die Möglichkeit, mindestens einen Teil der Rohstoffversorgung über Sekundärrohstoffe zu leisten, ist derzeit bei Kupfer gegeben. Bei Lithium wird am Aufbau einer Kreislaufwirtschaft gearbeitet, die Bedarfsdeckung wird aber erst in deutlich mehr als zehn Jahren möglich sein. Bei den Seltenen Erden ist die Perspektive sehr unsicher.
- ▶ Die Möglichkeit, im Inland Erze und Konzentrate zu verarbeiten, verbessert das Potenzial zur Diversifizierung des Rohstoffbezugs. Bei Kupfer bestehen in Deutschland große Weiterverarbeitungskapazitäten, auch bei Lithium gibt es schon Kapazitäten, die für die Versorgung der Elektromobilität derzeit ergänzt werden. Bei den Seltenen Erden fehlen solche Möglichkeiten.
- ▶ Eine inländische Förderung von Primärrohstoffen ist bei keinem der Rohstoffe heute in Deutschland vorhanden.
- ▶ Die Diversifizierung des Rohstoffbezugs ist im Falle von Kupfer am stärksten ausgeprägt und auch Lithium kann aus verschiedenen Ländern bezogen werden. Die identifizierbare Lieferung von Seltenen Erden konzentriert sich derzeit stark auf China<sup>21</sup>.
- ▶ Beim Handel mit weiterverarbeiteten Produkten zeigen sich bei der statistischen Analyse nur geringe Differenzen. Aussagen in den Interviews und im Workshop lassen aber den Schluss zu, dass

---

<sup>21</sup> Österreich tritt zwar in den Handelsdaten als Lieferant an Deutschland in Erscheinung. Mangels identifizierbarer Vorkommen und Verarbeitungsanlagen kann das Land aber nur als Zwischenhändler fungieren (vgl. Kap. 2.2.3).

die Kombination aus der höheren Konzentration des möglichen Rohstoffbezugs und der besonderen zukünftigen Bedeutung einzelner Produkte wie Lithium-Ionen-Batterien oder Permanentmagneten im Bereich von Lithium und Seltenen Erden höhere Risiken bestehen als bei Kupfer.

**Tabelle 3-1: Ausprägung risikobegrenzender Faktoren in Bezug auf die Rohstoffabhängigkeit in Deutschland**

Relative Betrachtung der drei Rohstoffe Kupfer, Lithium, Seltene Erden

	<b>Kupfer</b>	<b>Lithium</b>	<b>Seltene Erden</b>
<b>Verfügbarkeit von Sekundärrohstoffen</b>	Hoch	Nicht vorhanden	Nicht vorhanden
<b>Inländische Weiterverarbeitung von Erzen oder Konzentraten</b>	Hoch	Gering	Nicht vorhanden
<b>Förderung inländischer Primärrohstoffe</b>	Nicht vorhanden	Nicht vorhanden	Nicht vorhanden
<b>Diversifizierung des Rohstoffbezugs</b>	Hoch	Mittel	Gering
<b>Diversifizierung beim Import weiterverarbeiteter Produkte</b>	Eher hoch	Gering	Gering

Quelle: eigene Darstellung



# 4 Ansätze zur Sicherung der Rohstoffversorgung

## 4.1 Problemlage

### 4.1.1 Kupfer

Die Gefährdung der Versorgung der deutschen Wirtschaft mit Kupfer erscheint prinzipiell relativ gering. Der Rohstoff wird zwar in einschlägigen Rohstoffstudien grundsätzlich als kritischer und gegebenenfalls strategisch bedeutender Rohstoff eingestuft. Ursächlich dafür ist einerseits die hohe Bedeutung, die Kupfer schon heute für die Produktion und Wertschöpfung in der Industrie in Deutschland und global zukommt. Dazu gilt Kupfer als wesentliches Element für die Elektrifizierung aller Wirtschaftsbereiche. Die Einschätzung der Kritikalität wird so stark von der erwarteten Zunahme des Einsatzes von Kupfer und der dadurch ausgelösten Preisentwicklung bestimmt.

Die Versorgung der Wirtschaft mit Kupfer in Deutschland und der EU kann stark auf den Einsatz von Sekundärmaterial (rund 50 Prozent) setzen. Die Primärproduktion wird jeweils zur Hälfte durch Förderung in Europa und Importe aus dem außereuropäischen Ausland gedeckt. Gleichzeitig ist das Potenzial zur Diversifizierung der außereuropäischen Quellen hoch. Fraglich ist allerdings, ob bei einer zu erwartenden substantiellen Steigerung der Kupfernachfrage in Deutschland und Europa die relativ hohen Anteile der Versorgung durch Sekundärmaterial und innereuropäische Förderung gehalten werden können. Wesentliche Wachstumstreiber bestehen in verschiedenen Aspekten der ökologischen Transformation: dem Ausbau der E-Mobilität inklusive der Ladeinfrastruktur sowie dem Ausbau der Übertragungs- und Verteilnetze für Elektrizität.

### 4.1.2 Lithium

Bei Lithium und einigen Weiterverarbeitungsprodukten besteht eine praktisch vollständige Abhängigkeit von Lieferungen aus dem (außereuropäischen) Ausland. Eigene Lithiumvorkommen werden derzeit schrittweise erschlossen. Es ist noch unklar, in welchem Umfang sie in Zukunft zur Deckung der Lithiumnachfrage in Europa beitragen können. Dies gilt umso mehr vor dem Hintergrund des erwarteten starken Anstiegs der Lithiumnachfrage im Zuge des Markthochlaufs der Elektromobilität und der

damit verbundenen Produktionspläne für Traktionsbatterien in Europa. Diese Einschätzung deckt sich mit der hohen Kritikalität, die dem Rohstoff in entsprechenden Untersuchungen zugeordnet wird.

Das Versorgungsproblem mit Lithium ist insofern vor allem ein Problem zukünftiger Versorgung. Die Nachfrage nach lithiumhaltigen Produkten entwickelt sich in Deutschland und Europa mit dem Aufbau von entsprechenden Raffinationskapazitäten und Weiterverarbeitungsprozessen (z.B. Kathodenproduktion) im Vorfeld der Batteriezellfertigung und Batterieproduktion für die Elektromobilität. Die Nachfrageentwicklung hängt also stark von den Ambitionen und dem Markterfolg der deutschen und europäischen Automobilindustrie in der Transformation hin zur Elektromobilität ab.

### 4.1.3 Seltene Erden

Die Problemlage bei den Seltenen Erden entspricht in vielen Beziehungen der Problemlage bei Lithium. Aktuell werden Seltene Erden nach Deutschland und Europa vor allem in Form von weiterverarbeiteten Produkten und Halbzeugen eingeführt. Nennenswerte eigene Weiterverarbeitungskapazitäten bestehen in Europa nicht. Die Versorgung der Industrie z.B. mit Permanentmagneten aus europäischer Produktion ist aktuell nicht möglich.

Die Kritikalität der verschiedenen Seltenen Erden wird entsprechend auch in den einschlägigen Studien als hoch eingestuft. Ein wesentlicher Faktor bei dieser Bewertung ist die derzeit dominante Position Chinas als Minenproduzent und in der Weiterverarbeitung von Seltenen Erden. Die (Re-)Aktivierung von Ressourcen und Minen sowie die Investitionen in die Weiterverarbeitung in der westlichen Hemisphäre, die kürzlich zu beobachten sind, lassen sich als Reaktion auf die zunehmende Wahrnehmung dieser Kritikalität interpretieren.

Im Bereich der Seltenen Erden ist ebenfalls die Elektromobilität und, eingeschränkt, die Produktion von Windkraftanlagen der wesentliche Treiber für die erwartete starke Steigerung der Nachfrage nach Seltenen Erden. Auch hier hängt die Entwicklung der Nachfrage in Europa vom Hochlauf der entsprechenden europäischen Produktion ab.

## 4.2 Maßnahmen

In den Rohstoffstrategien der deutschen Bundesregierung und der Europäischen Kommission werden übereinstimmend drei Ziele für die Begrenzung der Versorgungsrisiken bei Rohstoffen genannt (BMWK 2023, Europäische Kommission 2023a, Europäische Kommission 2023b):

- ▶ Stärkere Nutzung der heimischen Primärrohstoffquellen,
- ▶ Verminderung des Primärrohstoffverbrauchs, vor allem durch stärkere Nutzung der Sekundärrohstoffwirtschaft, aber auch durch Maßnahmen zur Verringerung des Rohstoffverbrauchs,
- ▶ Diversifizierung der internationalen Bezugsquellen von Primärrohstoffen.

Unterhalb dieser Zielebene werden jeweils eine Reihe von Maßnahmen genannt, die sich häufig auch in der weiteren Literatur zur Risikovorbeugung und -begegnung identifizieren lassen (u.a. Bardt et al. 2013, Bähr et al. 2023, vbw 2022, Köster et al. 2022, EY/BMWK 2022, Brüggemann und Levinger 2022, Godart et al. 2023). Diese Maßnahmen wurden auch in den für diese Studie durchgeführten Interviews und im Workshop genannt und kritisch diskutiert. Innerhalb dieser Literatur werden drei Ansätze zur Maßnahmenstrukturierung angewendet:

- ▶ Konzentration auf unternehmerische Maßnahmen, z.B. Bardt et al. 2013, Bähr et al. 2023, Köster et al. 2022,
- ▶ Konzentration auf staatliche Maßnahmen, z.B. EY/BMWK 2022,
- ▶ Vergleichender Überblick über verschiedene Maßnahmen(bündel), z.B. Godart et al. 2023, vbw 2022.

Im Folgenden soll ein vergleichender Überblick über verschiedene Maßnahmen geboten werden. Sie werden einerseits nach den Zielen der Rohstoffstrategien gegliedert und andererseits nach staatlichen und unternehmerischen Maßnahmen unterschieden. Zudem erfolgt – wo möglich – eine Einschätzung, für welchen der drei in dieser Arbeit betrachteten Rohstoffe die Maßnahme geeignet erscheint. Manche Maßnahmen (z.B. Recycling, Lagerhaltung) können sowohl auf der unternehmerischen als auch auf der staatlichen Ebene angewendet werden, allerdings unterscheiden sich dann die jeweiligen Handlungserfordernisse. Eine schematische Darstellung über die diskutierten Maßnahmen findet sich in Abbildung 4-1.

Als übergreifende Maßnahme sowohl auf staatlicher als auch auf unternehmerischer Ebene ist grundsätzlich die Verbesserung der Informationsbasis als Grundlage für alle weiteren Entscheidungen zentral.

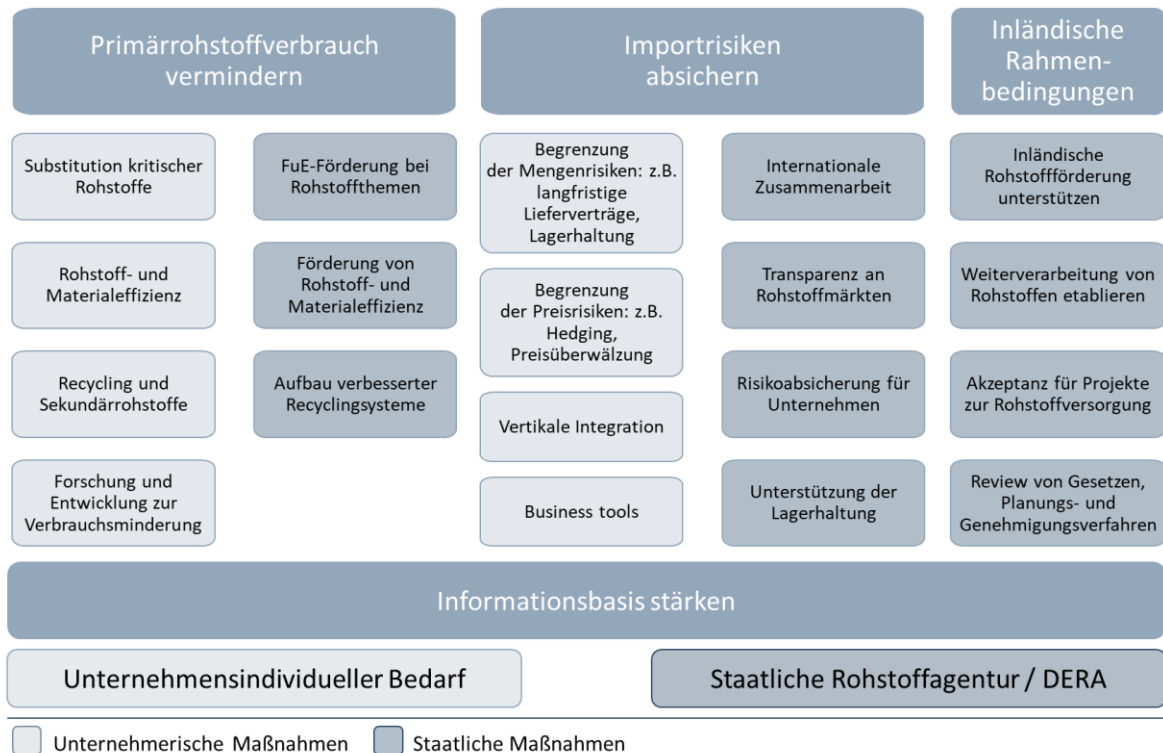
- ▶ Auf staatlicher Ebene könnten Basisinformationen aktuell bereitgestellt werden, die für alle von der Rohstoffversorgung betroffenen Akteure von Interesse sind. Das Informationsangebot der DERA stellt einen guten Startpunkt für diese Informationen dar. Gleichzeitig sollte auf staatlicher Ebene ein Eigeninteresse an einer entsprechenden Informationsaufbereitung als Grundlage einer aktiven Rohstoffpolitik bestehen.
- ▶ Auf der unternehmerischen Ebene müssen die Akteure einen verlässlichen und aktuellen Überblick über die eigene Rohstoffsituation haben. Dies betrifft einerseits den eigenen Rohstoffverbrauch, andererseits Informationen über die Deckung der eigenen Rohstoffnachfrage, im besten Fall über die eigenen direkten Bezüge hinaus auch über die unverzichtbaren Vorprodukte entlang der Wertschöpfungskette. Ein wesentliches Ergebnis der vorangehenden Analyse in den Kapiteln 2 und 3 des Berichts war, dass die Abhängigkeiten in der deutschen Wirtschaft nicht nur direkt bei den Rohstoffen, sondern häufig auch auf der Ebene von weiterverarbeiteten Produkten bestehen. Die Wertschöpfungsketten in Deutschland setzen oft erst auf der Stufe von schon weiterverarbeiteten Produkten ein.

Ein solches Monitoring auf staatlicher und unternehmerischer Ebene könnte durch eine Monitoring- und Expertenkommission unterstützt werden (vgl. Godart et al. 2023). Teil des Monitorings könnten Stresstests auf gesamtwirtschaftlicher und – freiwillig – unternehmerischer Ebene sein. Auf gesamtwirtschaftlicher Ebene könnten, z.B. durch die DERA, regelmäßig Risikoanalysen für definierte Szenarien einer Angebotsverknappung durchgeführt werden.

Für freiwillige Selbsttests auf Unternehmensebene könnten Standards oder Normen entwickelt werden, damit eine vergleichbare Grundlage für diese Stresstests besteht. Die Einführung von verbindlichen Stresstests für Unternehmen würde hingegen einer besonderen Begründung bedürfen, etwa hinsichtlich der Bedeutung und Auswahl der Unternehmen. Die jeweilige Exposition gegenüber Rohstoffrisiken lässt sich für Unternehmen kaum pauschal und extern – etwa über eine Größenklasse oder Branchenzugehörigkeit – definieren.

**Abbildung 4-1: Schematische Übersicht über Maßnahmen zur Sicherung der Rohstoffversorgung**

Einordnung von Maßnahmen nach Ziel und Akteur



Quelle: eigene Darstellung

4.2.1 Primärrohstoffverbrauch vermindern

4.2.1.1 Unternehmerische Maßnahmen

In verschiedenen Studien wird die Steigerung der **Material- und Rohstoffeffizienz** (Bardt et al. 2013, Bähr et al. 2023, Köster et al. 2022, Godart et al. 2023) als eine Maßnahme zur Verringerung des Primärrohstoffverbrauchs empfohlen. Darunter ist eine Verringerung des Einsatzes von Materialien und Rohstoffen in Produkten bei gleicher Leistungsfähigkeit zu verstehen. Dies kann durch eine entsprechende Weiterentwicklung bestehender und die Entwicklung neuer Produkte erfolgen. Gerade bei kostspieligen Rohstoffen liegt die Steigerung der Material- und Rohstoffeffizienz schon im rein betriebswirtschaftlichen Interesse der Unternehmen. Mit der Kritikalität von Rohstoffen wird eine solche Strategie durch eine weitere Motivation unterstützt, insbesondere, wenn der Verringerung des Risikos ein eigener Wert zugeschrieben wird.

Der Einsatz von **Ersatzrohstoffen**, also die **Substitution kritischer Rohstoffe** durch andere Materialien (Bardt et al. 2013, Bähr et al. 2023, Köster et al. 2022, Godart et al. 2023) ist ein weiterer Weg, die Nachfrage nach kritischen (Primär-)Rohstoffen zu verringern. In vielen Anwendungen ist die Substitution eines Rohstoffs durch andere Rohstoffe nicht möglich oder zieht den Einsatz anderer kritischer

Rohstoffe nach sich. Teilweise ist ein völlig anderes Produktdesign der Weg, um eine Substitution zu ermöglichen. Beide Varianten lassen sich am Beispiel der Lithium-Ionen-Batterien erläutern. So führten hier die Bemühungen, den Einsatz des kritischen Rohstoffs Kobalt zu verringern, zu höheren spezifischen Einsatzmengen an anderen ebenfalls kritischen Rohstoffen wie Lithium, Nickel und Mangan. Als zukünftige Alternative zu Lithium-Ionen-Batterien werden derzeit Natrium-Ionen-Batterien diskutiert.<sup>22</sup> Hier würde durch ein anderes Produktdesign der Einsatz von Lithium überflüssig. Der serienmäßige Einsatz von Natrium-Ionen-Batterien in E-Autos ist von einigen Herstellern noch für dieses Jahr angekündigt. Gegenüber der Lithium-Ionen-Batterie ist die Energiedichte und damit bei sonst gleichem Auto-Design die Reichweite geringer. Der Einsatz wird daher eher in kleineren E-Autos bevorzugt, bei denen die Reichweite eine geringere Rolle spielt.

In eine ähnliche Richtung geht der Vorschlag, **Sekundär- statt Ersatzrohstoffe einzusetzen** (Bardt et al. 2013, Bähr et al. 2023). Hier würde der Primärrohstoff nicht durch einen anderen Rohstoff, sondern durch den gleichen Rohstoff aus einem Recyclingprozess ersetzt. Dem Einsatz von Sekundärrohstoffen geht die Beteiligung an **Recyclingmaßnahmen** (Bardt et al. 2013, Bähr et al. 2023, Köster et al. 2022), auch auf Basis von **verbesserten Recyclingsystemen** (Godart et al. 2023) voraus. Dies kann einen Beitrag zur Erweiterung der Sekundärrohstoffbasis leisten. Sekundärrohstoffe können darüber hinaus auch importiert werden.

Die Herausforderung besteht hier generell darin, eine geeignete – und gegebenenfalls zertifizierte – Qualität der Sekundärrohstoffe sicherzustellen. Die Verfügbarkeit von Sekundärrohstoffen unterscheidet sich zudem deutlich. Bezogen auf die drei Fokus-Rohstoffe dieser Studie zeigen sich die Unterschiede exemplarisch.

- ▶ Für Kupfer besteht schon eine etablierte Sekundärrohstoffversorgung in Deutschland und weltweit. Bis auf einzelne Produkte mit hohen Leistungsanforderungen kann in vielen Verwendungen Primärkupfer durch Sekundärkupfer ersetzt werden. Fraglich erscheint indes, ob das Sekundärrohstoffangebot in gleichem Maße zunimmt wie die Kupfernachfrage. Der Anteil des Einsatzes von recyceltem Material an der Kupferproduktion ist zwischen 2010 und 2019 kaum gestiegen. Zunehmende Recyclingaktivitäten reichten nur aus, um die zusätzliche Nachfrage zu bedienen (IEA 2022, S. 176). Bei zunehmendem Nachfragewachstum müssten die Recyclingaktivitäten dementsprechend noch stärker steigen. Diese Beobachtungen gelten ähnlich für andere Massenmetalle wie Aluminium und Stahl.
- ▶ Das Recycling von Lithium aus der wahrscheinlich zukünftig dominanten Anwendung der Lithium-Ionen-Batterien wird derzeit im industriellen Maßstab erprobt und aufgebaut. Die technischen Möglichkeiten, eine hohen Wiedergewinnungsrate von Lithium aus den Batterien zu erreichen, werden als positiv eingeschätzt. Ein Problem für die Versorgung der Industrie mit Recyclingmaterial in größerem Umfang besteht darin, dass der Markthochlauf der Elektromobilität stattfindet, während die Entwicklung des Recyclings und die Verfügbarkeit von Sekundärmaterial noch nicht in gleichem Maße gegeben sind. Letztere hängt stark vom Verbleib der Rohstoffe in den Produkten während der Lebenszeit sowie möglichen Nachnutzungen (Second Life) ab. Die Entwicklung führt momentan dazu, dass die Lithiumnachfrage deutlich schneller wächst als das Angebot an Sekundärmaterial. Aktuelle Studien gehen davon aus, dass in Deutschland und Europa erst in 10 bis 15 Jahren Recyclingmaterial in nennenswertem Umfang zur Verfügung stehen wird, um die Nachfrage wenigstens zum Teil zu decken (vgl. z.B. Borrmann et al. 2023, Neef et al. 2021, Bittner

---

<sup>22</sup> <https://www.electrive.net/2023/04/21/natrium-ionen-zellen-von-catl-und-byd-kommen-wohl-noch-2023-in-e-autos/> [23.06.2023]

et al. 2021). Zudem ist die Existenz geeigneter Verarbeitungskapazitäten eine wichtige Voraussetzung.

- ▶ Im Bereich der Seltenen Erden wird die Verwendung von Sekundärmaterial sehr kritisch eingeschätzt. Dies hat mehrere Ursachen. Zum einen wird der Sammlung und Aufbereitung von Seltenen Erden aus Produkten in näherer Zukunft nur ein sehr geringes Potenzial zugeschrieben, weil die sortenreine Trennung der Seltenen Erden aus diesen Produkten schwierig und nicht industriell erprobt ist. Zum anderen sind die Anforderungen an die Reinheit des Materials vor allem in der Verwendung für Permanentmagnete besonders hoch. Ähnlich wie bei Lithium wird in den kommenden Jahren auch damit gerechnet, dass die Nachfrage sehr viel schneller steigt als ein potenzielles Angebot von Sekundärmaterial. Derzeit werden Seltene Erden vor allem in Produkten wie Hilfsmotoren in Automobilen (etwa in Fensterhebern, Gurtstraffern etc.) genutzt, die auf Grund ihrer Größe nur einen geringen Mengeneinsatz erfordern. Zudem bestehen in Europa keine industriell nennenswerten Verarbeitungskapazitäten für wiedergewonnene Seltene Erden, sodass das Schließen des Kreislaufs in Europa derzeit nicht möglich ist.

Generell erfordert das Erreichen hoher Recyclingquoten die Berücksichtigung dreier Maßnahmenstränge:

- ▶ Berücksichtigung des Recyclings schon im Produktdesign. So stellen z.B. Verklebungen und Beschichtungen bei Permanentmagneten heute eine große Hürde für das Recycling dar.
- ▶ Die möglichst vollständige Sammlung und sortenreine Aufbereitung der Materialien.
- ▶ Die Etablierung einer Nachfrage nach Sekundärmaterial zum Schließen des Kreislaufs.

Zu allen drei Maßnahmensträngen kann die **Stärkung von FuE** in den jeweiligen Bereichen einen wesentlichen Beitrag leisten (Bardt et al. 2013, Bähr et al. 2023).

#### 4.2.1.2 Staatliche Unterstützung von Unternehmen bei Verringerung der Primärrohstoffnachfrage

Die Frage des konkreten Rohstoffeinsatzes – sei es der Einsatz von kritischen Primärrohstoffen, von weniger kritischen Substituten oder von Sekundärrohstoffen – ist in erster Linie eine Entscheidung der Unternehmen. Dennoch kann der Staat sie in einigen Bereichen darin unterstützen, die Primärrohstoffnachfrage zu begrenzen (EY/BMWK 2022; Godart et al. 2023).

- ▶ Viele Einzelmaßnahmen zur Förderung von **Material- und Rohstoffeffizienz** finden sich in den Programmen zur Ressourceneffizienz des Bundesumweltministeriums (z.B. ProgRessIII: BMUV 2020).
- ▶ Der Staat kann mit **FuE-Förderung** die FuE-Maßnahmen in Unternehmen zu den unter 4.2.1.1 genannten Maßnahmen unterstützen.
- ▶ Auch die Förderung der **Grundlagenforschung zur Substitution kritischer Rohstoffe** an Universitäten und angewandten Forschungseinrichtungen zählt zu den staatlichen Handlungsfeldern mit Bezug zur Verringerung der Primärrohstoffnachfrage.
- ▶ Der **Aufbau verbesserter Recyclingsysteme** sollte sich grundsätzlich an der Nachfrage und dem Angebot auf unternehmerischer Seite orientieren. Dies betrifft sowohl die Auswahl spezifischer Rohstoffe und Materialien, die recycelt werden, als auch die Kosten, zu denen Recyclingmaterialien eingesetzt werden. Auch die Etablierung von Standards für Materialien kann dem etablierten Normungssystem anvertraut werden. Der Staat kann hier jedoch unterstützen, wenn Probleme kollektiven Handels zwischen einzelnen Unternehmen auftreten, etwa in der Etablierung von monetären Ausgleichssystemen, dem Bereitstellen einer Sammelinfrastruktur oder der begleitenden Normensetzung bei Rücknahme- oder Rückgabepflichten.

## 4.2.2 Importrisiken bei Rohstoffen und Vorprodukten absichern

### 4.2.2.1 Unternehmerische Maßnahmen

Für die Unternehmen lassen sich Maßnahmen unterscheiden, die auf die Verringerung von Versorgungs-, Angebots- oder Mengenrisiken einerseits und Preisrisiken andererseits abzielen. Dies gilt grundsätzlich gleichermaßen für Rohstoffe wie für andere Vorleistungen in der Produktion.

Versorgungs-, Angebots- und Mengenrisiken lassen sich mit folgenden Maßnahmen begrenzen:

- ▶ **Langfristige Lieferverträge** (Bardt et al. 2013, Bähr et al. 2023, Köster et al. 2022) reduzieren die Abhängigkeit von konjunkturellen Schwankungen. Sie leisten einen Beitrag zur Abdeckung von notwendigen Mindestmengen. Sie reduzieren auf Angebots- und Nachfrageseite das Mengenrisiko. Sie setzen allerdings einen stabilen institutionellen Rahmen voraus, innerhalb dessen die Verträge eingehalten und durchgesetzt werden können. Im Falle von politischen Risiken oder Lieferschwierigkeiten aufgrund höherer Gewalt ist ihre Wirkung begrenzt.
- ▶ Eine **Lieferantendiversifizierung** (Bardt et al. 2013, Bähr et al. 2023, Köster et al. 2022) leistet einen Beitrag, die Risiken der Rohstofflieferung aus einzelnen Ländern oder von einzelnen Unternehmen zu reduzieren und die Versorgung zu sichern. Die Streuung des Bezugs reduziert den Effekt des Ausfalls eines einzelnen Lieferanten. Im Falle einer hohen Konzentration des Angebots auf wenige Lieferanten ist die Möglichkeit zu einer Diversifizierung eingeschränkt. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht ist eine Diversifizierung von Lieferanten häufig mit zusätzlichen Kosten verbunden. Zum ersten sinkt in der Regel der Angebotspreis mit einer steigenden Abnahmemenge. Zum zweiten ist das Management einer größeren Zahl von Lieferanten mit einem höheren internen Aufwand verbunden.
- ▶ Eine **Nachfragebündelung** (Bardt et al. 2013, Bähr et al. 2023) oder die Bildung von Einkaufsgemeinschaften (Köster et al. 2022) erscheint vor allem für kleinere Nachfrager als Option. Bei Knappheiten und Lieferengpässen werden Kunden mit größeren Nachfragemengen häufig bevorzugt beliefert. Auch mit diesem Instrument sind höhere Management- und Organisationskosten auf Nachfragerseite verbunden, etwa in der Abstimmung von Lieferungen und Fristen sowie in der Verteilung der Bezüge. Der Rückgriff auf Zwischenhändler für Vorprodukte kann eine Marktlösung anstelle der Bildung von Einkaufsgemeinschaften darstellen.
- ▶ Die **Beteiligung an Produktionskapazitäten** in Rohstoffländern mittels Direktinvestitionen, die Beteiligung an Rohstoffunternehmen oder die vertikale Integration entlang der Wertschöpfungskette (Bardt et al. 2013, Bähr et al. 2023, Köster et al. 2022) beschreiben ähnliche Strategien und stellen Möglichkeiten dar, den Zugriff auf bestimmte Teile der Rohstoffproduktion privatwirtschaftlich institutionell abzusichern. Im Bereich der Batteriematerialien (z.B. VW<sup>23</sup>) sind derzeit solche Bemühungen zu beobachten. Sie stehen allerdings eher großen und kapitalstarken Unternehmen offen. Gleichzeitig lohnen sich diese Strategien nur, wenn auch eine erhebliche Rohstoffmenge dauerhaft beschafft werden soll. Sie stellen ein unternehmerisches Risiko mit hoher Kapitalbindung dar und müssen dauerhaft unternehmerisch begleitet werden. Aufgrund der hohen Konzentration in der Rohstoffförderung und Weiterverarbeitung sind die Investitionsmöglichkeiten beschränkt. Je nach Zielland der Investitionen können die Investitionsrisiken sehr hoch sein.

---

<sup>23</sup> <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/e-batterien-volkswagen-beteiligt-sich-an-minen-fuer-batterie-rohstoffe/29043034.html> [15.06.2023]

Diese Strategien stehen den Unternehmen grundsätzlich für die gesamte Palette der bezogenen Vorleistungsgüter zur Verfügung und beziehen sich auf die Make-or-buy-Entscheidung des Unternehmens beim Vorleistungsbezug. Beim Rohstoffbezug ist diese Entscheidung allerdings mit größeren Unsicherheiten verbunden als bei anderen Vorleistungen, da in der Regel Investitionen im Ausland notwendig sind und die notwendigen Kompetenzen für eine Beteiligung an einem Rohstoffunternehmen besonders weit von den Kernkompetenzen eines Unternehmens aus dem Verarbeitenden Gewerbe entfernt sind.

- ▶ Zur Absicherung kurzfristiger Angebotsknappheiten kann auch die **Lagerhaltung** von Rohstoffen oder Vorprodukten einen Beitrag leisten (Köster et al. 2022, Godart et al. 2023). Der Nutzen einer Lagerhaltung unterliegt ökonomischen und technischen Einschränkungen.

Aus ökonomischer Sicht stellt der Aufbau eines Lagers eine finanzielle Belastung dar. Dies gilt nicht nur für den zusätzlichen Erwerb der Rohstoffe, sondern auch durch die bilanzielle Berücksichtigung des Lagers. Zudem ist gerade in Zeiten hoher Rohstoffknappheit der Rohstoffpreis besonders hoch und damit sind Lageraufbau und -haltung besonders teuer. Dies begrenzt die Größe und damit die Reichweite des Lagers.

Grundsätzlich stellt die Beteiligung der Abnehmer der rohstoffverarbeitenden Unternehmen an den Kosten der sie betreffenden Anteile des Rohstofflagers eine Option dar. In der Praxis (wie sie in diesem Projekt in Interviews und Workshop erhoben wurde) besteht bei den Kunden bislang aber keine Zahlungsbereitschaft für die Kostenbeteiligung bei dieser Art der Sicherung der Rohstoffversorgung.

Aus technischen Gründen ist die Bildung eines größeren Lagers nicht bei jedem Rohstoff möglich. So lässt sich zum Beispiel Lithiumhydroxid in der Qualitätsstufe „battery grade“ nur kurz ohne Qualitätsverlust lagern. Die Lagerung der entsprechenden Vorprodukte setzt dann die Existenz entsprechender Weiterverarbeitungskapazitäten voraus. Andere Rohstoffe wie Legierungen von Magnetmaterialien lassen sich besser lagern. Die Lagerhaltung von spezifischen Produkten, wie etwa bestimmten Typen von Magneten, ist über einen längeren Zeitraum nicht sinnvoll, da sich die nachgefragten Spezifikationen dieser Produkte schnell ändern können.

Zum Umgang mit Preisrisiken werden in der Literatur die folgenden Maßnahmen diskutiert:

- ▶ Beim **Hedging gegen Preisrisiken** (Bardt et al. 2013, Bähr et al. 2023, Köster et al. 2022) werden diese durch die Nutzung von Finanzmarktinstrumenten abgesichert. Dies stellt eine Absicherung für die Unternehmen gegen plötzlich steigende Rohstoffpreise dar, wie sie bei kurzfristig auftretenden Angebotsknappheiten entstehen können. Dabei wird die Existenz solcher Finanzinstrumente vorausgesetzt. Bei der Beschaffung von Vorprodukten werden Preisrisiken auch über langfristige Lieferverträge abgesichert.
- ▶ **Nachfragebündelung** (Bardt et al. 2013, Bähr et al. 2023) oder die Bildung Einkaufsgemeinschaften (Köster et al., 2022) erhöht die Marktmacht der Unternehmen als Nachfrager und begrenzt dadurch willkürliche Preiserhöhungsspielräume durch die häufig ebenfalls oligopolistische strukturierte Anbieterseite.
- ▶ Das **Überwälzen steigender Einkaufs- und Rohstoffpreise** (Köster et al. 2022) stellt eine Handlungsoption dar, die Unternehmen prinzipiell bei allen Kostenanstiegen beim Leistungseinkauf zur Verfügung steht. Ob eine Überwälzung gelingen kann, hängt von der Markt- und Wettbewerbssituation ab, in der sich das Unternehmen befindet. Steigen die Einkaufs- und Rohstoffpreise insgesamt und bestehen wenige Substitutionsmöglichkeiten für die Kunden, ist die Preisüberwälzung eher möglich. Unternehmen können gegebenenfalls die Überwälzung steigender Einkaufs- und Rohstoffpreise schon in die Vertragsgestaltung mit den Kunden aufnehmen, indem Preisgleitklauseln in Abhängigkeit der relevanten Rohstoffpreise vereinbart werden. In der Regel gelten solche Klauseln dann in beide Richtungen und implizieren, dass auch sinkende Einkaufs- und Rohstoffpreise entsprechend weitergegeben werden. Die Abnehmer der anbietenden Unternehmen wer-



den so am Risiko der Preisvolatilität beteiligt. Ein positiver Nebeneffekt kann sein, dass die Unternehmen in den nachgelagerten Wertschöpfungsstufen eine höhere Sensibilität gegenüber den Rohstoff- und Preisrisiken entwickeln, denen sie indirekt ausgesetzt sind.

Bei Angebots- und Preisrisiken kann die Nutzung von IT-Anwendungen zur Verbesserung von Managementprozessen wie Planung, Budgetierung, Messung oder Überwachung, sogenannten **Business-Tools**, in Unternehmen die Transparenz über die Datenlage verbessern, relevante Daten bündeln und die Entscheidungsfindung erleichtern (Köster et al. 2022). Solche Maßnahmen können die Resilienz der Unternehmen gegenüber bestehenden Risiken steigern.

Den unternehmerischen Handlungsoptionen ist gemeinsam, dass sie als Aktionen von nicht-staatlichen Wirtschaftsakteuren die Existenz eines hinreichend stabilen Ordnungsrahmens voraussetzen. Vertragliche Lösungen für die Absicherung von Preis- und Lieferrisiken müssen gegebenenfalls mit Hilfe staatlicher oder internationaler Organisationen durchgesetzt werden. Dies gilt auch für Rechte, die aus Direktinvestitionen abgeleitet werden. Auswirkungen von Naturkatastrophen oder von zwischenstaatlichen Konflikten können mit diesen Maßnahmen nur in begrenztem Maß abgefedert werden.

### 4.2.2.2 Staatliche Maßnahmen

Im Bereich der Absicherung der Importe von Primärrohstoffen können staatliche Maßnahmen an zwei Punkten ansetzen – in der internationalen Zusammenarbeit zwischen Staaten und in der staatlichen Unterstützung von Unternehmen bei deren Beschaffung von Primärrohstoffen. Bei der internationalen Zusammenarbeit zwischen Staaten gilt für Maßnahmen der Außenhandelspolitik der Primat der EU, die die Mitglieder des EU-Binnenmarkts in diesen Fragen nach außen vertritt. Sonstige bilaterale Zusammenarbeit – etwa im Rahmen von Rohstoffpartnerschaften – steht den EU-Mitgliedstaaten und damit auch Deutschland prinzipiell weiter offen. Auf diesem Gebiet zeigt sich aber auch eine zusätzliche Aktivität der EU. Seit 2021 besteht aber auch eine solche Partnerschaft zwischen der EU und Kanada. Unterstützungsleistungen für Unternehmen unterliegen prinzipiell den Regeln der EU-Beihilfenkontrolle.

Im Rahmen der **internationalen Zusammenarbeit** zwischen Staaten können in bilateralen oder multilateralen Vereinbarungen die Rahmenbedingungen, innerhalb derer die Unternehmen agieren, positiv beeinflusst werden (EY/BMWK 2022, Godart et al. 2023). In den Bereich der Rohstoffdiplomatie fallen

- ▶ Freihandelsabkommen,
- ▶ Investitionsschutzabkommen und
- ▶ Rohstoffabkommen und -partnerschaften.

Freihandels- und Investitionsschutzabkommen bestehen allgemein im Rahmen der WTO auf multilateraler Ebene und können darüber hinaus in multi- oder bilateralen Vereinbarungen ergänzt werden. Mit diesen Abkommen wird die Möglichkeit selektiver Handelsbeschränkungen eingeschränkt und Investitionen von Unternehmen in die Rohstoffförderung und -produktion werden geschützt. Solche Vereinbarungen haben einen breiten Ansatz und gehen über die reine Absicherung der Rohstoffversorgung hinaus. Durch die internationalen Entwicklungen in den letzten Jahren ist die Funktionsweise der WTO allerdings eingeschränkt und Staaten setzen vermehrt auf bilaterale Vereinbarungen oder regionale und mega-regionale Abkommen mit einer kleineren Zahl von Ländern. Die ausdrückliche Berücksichtigung der Rohstoffsicherung mittels dieser Regelungen ist schon seit dem Jahr 2010 Teil der Rohstoffstrategie der deutschen Bundesregierung.

Einen weiteren Ansatz für die Verbesserung der internationalen Rahmenbedingungen für die Rohstoffversorgung stellen Rohstoffabkommen und -partnerschaften dar, die Deutschland mit ausgewählten Rohstoffländern abgeschlossen hat. Dieser Ansatz ist ebenfalls Teil der Rohstoffstrategie der deutschen Bundesregierung und wird gegebenenfalls mit technologischer und finanzieller Unterstützung der Rohstoffländer verbunden. Momentan bestehen Rohstoffpartnerschaften mit Kasachstan, der Mongolei und Peru sowie „Rohstoffkooperationen in Form von Memoranden of Understanding (MoU) oder Briefwechseln“ (BMW 2020, S. 5) mit Australien, Chile, Ghana und Kanada.

Daneben können staatliche Maßnahmen ebenso konkreter auf die **Unterstützung von Unternehmen** in deren internationalen Primärrohstoffbeschaffung abzielen.

- ▶ Die **Schaffung von Transparenz** hinsichtlich der verschiedenen Dimensionen der Rohstoffrisiken (EY/BMW 2022) durch staatliche Institutionen kann vielfältig begründet werden. Sie stellt eine grundlegende, allgemeine und nicht-selektive Unterstützung von Unternehmen dar und reduziert die Informationsasymmetrie zwischen Unternehmen. Staatliche Unterstützungsleistungen für Unternehmen können auf eine eigene Informationsgrundlage gestellt werden. Dadurch erhält die Transparenz über Rohstoffverfügbarkeit und -risiken den Charakter eines öffentlichen Guts. Derzeit bestehen in Deutschland mit der DERA und D-EITI zwei Institutionen, die aus verschiedenen Perspektiven über Rohstoffrisiken informieren. Innerhalb der EU kann die Transparenz durch europäische Initiativen verbessert werden.
- ▶ Die Risiken des Rohstoffbezugs aus dem Ausland werden derzeit von der Bundesregierung durch verschiedene **Finanzinstrumente** abgesichert (EY/BMW 2022, BMW 2020). Dazu zählen Instrumente zur Absicherung von Handelsrisiken sowie Instrumente zur Absicherung von Investitionen gegen politische Risiken, die zusammen eine Importdiversifizierung mittels Förderung von Investitionen in Erschließung von Vorkommen befördern sollen. Dazu zählen:
  - ▷ Investitionsförderung,
  - ▷ Garantien für Ungebundene Finanzkredite (UFK-Garantien),
  - ▷ Exportkreditgarantien,
  - ▷ Differenzverträge (vgl. Godart et al. 2023).
- ▶ Diskutiert werden auch **Diversifizierungsaufgaben für Unternehmen** (Godart et al. 2023), die einen ordnungsrechtlichen Eingriff darstellen würden. Umsetzung und potenzielle Sanktionierungen erscheinen aber fraglich.
- ▶ Wenn die Einschätzung besteht, dass Unternehmen aus ihrem eigenwirtschaftlichen Interesse heraus eine im gesamtwirtschaftlichen Sinne suboptimale Lagerhaltung betreiben, läge ein Argument vor, die **Lagerhaltung der Unternehmen staatlich zu fördern**. So könnte die privatwirtschaftliche Lagerhaltung bei geringer Interventionsintensität unterstützt werden, indem Zölle, Steuern oder andere Abgaben auf die Lagerbestände nicht beim Import, sondern bei der Entnahme aus dem Lager anfallen. Ebenso könnte die Möglichkeit geschaffen werden, den Aufwand der Lagerhaltung stärker steuerlich geltend zu machen oder ihn direkt zu finanziell zu fördern.
- ▶ Einige Vorschläge sehen eine **direkte staatliche Beteiligung an der Rohstoffbeschaffung oder Lagerhaltung** vor.
  - ▷ So könnte der **Staat selbst Lager** beispielsweise für strategisch wichtige Rohstoffe betreiben (EY/BMW 2022, Godart et al. 2023).
  - ▷ In der Studie von EY für das BMW wird die Gründung eines **(teil-)staatlichen Rohstofffonds** (EY/BMW 2022) diskutiert. Die Empfehlung wird mit den positiven Erfahrungen vor allem in Japan und Südkorea begründet. Es wird argumentiert, dass die allgemeine Risikobewertung rohstoffabhängiger Unternehmen in diesen Ländern besser ausfällt. In Japan und Südkorea engagieren sich staatliche Institutionen direkt in Projekten zum Rohstoffabbau im Ausland.

Dies verbessert den Zugang der inländischen Unternehmen zu diesen Rohstoffen und reduziert die unternehmerischen Risiken in Bergbauprojekten. Für den Aufbau in Europa gibt es allerdings keine Blaupause. Eine Fonds-Lösung zielt darauf ab, Rohstoffprojekte entlang der gesamten Wertschöpfungskette einschließlich der Wiederverwertung zu identifizieren und die Finanzierung sicherzustellen. Ein Rohstofffonds muss jedoch nicht als Fonds im klassischen Sinn verstanden werden, sondern kann auch als Dach für verschiedene Maßnahmen dienen, darunter Beteiligungen an Projekten im Ausland oder Anwendung bestehender Instrumentarien wie Garantien für ungebundene Finanzkredite (UFK).

- ▶ Ähnlich gelagert ist der Vorschlag, eine **EU-weite gemeinsame Beschaffung kritischer Rohstoffe** zu organisieren (Godart et al. 2023). Auch hier müsste eine neue Institution auf europäischer Ebene geschaffen werden.

Gemeinsam gilt für diese Vorschläge, dass zwei Fragen für die Umsetzung aufgeworfen werden. Einerseits wäre zu klären, welche Rohstoffe in welcher Form staatlicherseits vorgehalten oder beschafft werden. Andererseits müsste entschieden werden, welche Unternehmen zu welchen Konditionen und Zeiträumen Zugriff auf diese Rohstoffe bekommen.

- ▶ Grundsätzlich lässt sich als eine staatliche Aufgabe festhalten, dass die **Wirkung bestehender und geplanter Gesetze** verstärkt auf ihre möglichen Hemmnisse in Bezug auf die Rohstoffversorgung überprüft werden sollten (Godart et al. 2023). Dabei wäre es sinnvoll, neben der Primärrohstoffversorgung zumindest auch die frühen Verarbeitungsstufen, wenn nicht gar kritische Versorgungssituationen der gesamten Wertschöpfungskette, in den Blick zu nehmen. Ein wichtiger Aspekt hierbei ist – wie generell bei den Rahmenbedingungen für die Wirtschaft – auf die Rechtssicherheit der Regelungen zu achten, um die Investitionstätigkeit nicht zu belasten.

### 4.2.3 Rahmenbedingungen für die inländische Rohstoffgewinnung

Eine dritte Quelle der Rohstoffversorgung besteht in der inländischen Rohstoffgewinnung. Momentan werden in Deutschland überwiegend Rohstoffe aus dem Spektrum der Steine und Erden gewonnen. Metalle spielen hingegen keine Rolle. In Europa gibt es an einigen Stellen aktiven Erzbergbau (z.B. Kupfer in Polen, Eisenerz in Schweden, Lithium in Portugal). Er spielt aber für die europäische Versorgung mit metallischen Rohstoffen keine umfassende Rolle. Am Beispiel des Kupferbergbaus in Polen wird jedoch deutlich, dass bereits kleinere Mengen eine stabilisierende Wirkung auf die Rohstoffversorgung haben können.

Rohstoffe in Europa zu erkunden und abzubauen und so die **inländische Rohstoffförderung zu erhöhen**, kann daher einen Beitrag zur Verbesserung der Rohstoffversorgung (EY/BMWK 2022, Godart et al. 2023) in Deutschland und Europa spielen. Für Lithium, die Seltenen Erden und Kupfer zeigen sich Bemühungen eine inländische oder innereuropäische Rohstoffförderung zu schaffen oder auszubauen. Beispiele sind

- ▶ die Pläne für eine Lithiumförderung aus Tiefenwasser im Oberrheingraben<sup>24</sup>,
- ▶ die Pläne, Lithiumvorkommen im Erzgebirge abzubauen<sup>25</sup>,

---

<sup>24</sup> <https://v-er.eu/de/europa-im-fokus/> [23.06.2023]

<sup>25</sup> <https://www.zinnwaldlithium.com/projects/zinnwald-lithium-project/>

- ▶ die Exploration von Kupfervorkommen in der Lausitz<sup>26</sup>,
- ▶ die Funde von Selten-Erd-Vorkommen in Schweden<sup>27</sup>.

Die Analyse der ersten Verarbeitungsstufen von Rohstoffen in Kapitel 2 zeigt aber, dass eine zentrale Voraussetzung für die industrielle Nutzung dieser Rohstoffvorkommen in Europa die **Etablierung entsprechender Weiterverarbeitungsstrukturen** ist. Diese Aussage wurde auch in den Interviews untermauert. Die deutsche und europäische Importabhängigkeit von Rohstoffen kann nicht essenziell verringert werden, wenn die Bergbauprodukte nicht zu Vorleistungen weiterverarbeitet werden können, die für die Industrie nutzbar sind. Der Mangel an solchen Weiterverarbeitungsstrukturen bremst auch den Aufbau einer Kreislaufwirtschaft bei vielen Rohstoffen, wie z.B. den Seltenen Erden.

Der Ausbau der inländischen Rohstoffförderung ist kapitalintensiv. Es bestehen zudem finanzielle Risiken, da zumindest zu Beginn der Projekte fraglich ist, ob sie Rohstoffe zu Weltmarktpreisen in oligopolistischen Marktstrukturen liefern können. Dort, wo es an Risikokapital für privatwirtschaftliche Investitionen fehlt, könnte **staatlicherseits finanzielle Unterstützung** geleistet werden. Es gibt zudem Argumente dafür, eine eigene **staatliche Rohstoffgesellschaft** mit dieser Aufgabe zu betrauen, in der auch die fachliche Expertise für die Rohstoffförderung vertreten ist (EY/BMWK 2022).

Bergbau und die Weiterverarbeitung der Bergbauprodukte sind immer mit Umweltbelastungen verbunden. Mittels Innovation und technologischem Fortschritt lassen sich diese Belastungen im Vergleich zur Vergangenheit und häufig auch im Vergleich zur aktuellen Praxis in vielen Rohstoffländern vermindern. Dennoch ist damit zu rechnen und teilweise schon zu beobachten (Bsp. Oberrheingraben,<sup>28</sup> Serbien<sup>29</sup>), dass in Deutschland und Europa neue Bergbauprojekte, insbesondere bei den räumlich direkt Betroffenen, auf Widerstände stoßen. Im Hinblick auf Investitionen in die Rohstoffverarbeitung in Deutschland wurde in den Interviews darüber hinaus auf Hemmnisse in Hinblick auf Umweltauflagen oder die Dauer und Komplexität von Genehmigungsverfahren hingewiesen.

Diese Zielkonflikte zwischen der Sicherung der Rohstoffversorgung und den anderen gesellschaftlichen Anliegen sollten offen benannt, diskutiert und entschieden werden. Um die inländische Rohstoffförderung zu erhöhen, muss daher die **lokale und allgemeine Akzeptanz** für solche Projekte erhöht werden. Gleichzeitig sollten auch hier **bestehende und geplante Gesetze auf Hemmnisse** (Godart et al., 2023) für das Ziel einer Sicherung der Rohstoffversorgung überprüft<sup>30</sup> und Zielkonflikte zwischen der Rohstoffsicherung und anderen gesellschaftlichen Zielen transparent gemacht werden.

---

<sup>26</sup> <https://www.rbb24.de/studiocottbus/wirtschaft/2023/03/brandenburg-spremburg-kupfer-abbau-start-raumordnungsverfahren-kupfer-erz.html>

<sup>27</sup> <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/seltene-erden-schweden-china-energie-batterien-1.5730985>

<sup>28</sup> <https://bnn.de/nachrichten/baden-wuerttemberg/zahlreiche-buergerinitiativen-wehren-sich-gegen-geothermieprojekte-am-oberrhein-pdw> [23.06.2023]

<sup>29</sup> <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/bergbaukonzern-rio-tinto-umweltproteste-verhindern-lithium-abbau-in-serbien/27997830.html> [23.06.2023]

<sup>30</sup> Die mögliche Einstufung von Lithium als gesundheitsgefährdender Stoff nach ECHA / REACH kann beispielsweise die Weiterverarbeitung in Europa bremsen (Schmidt, 2023, S. 24)

# 5 Anhang

## 5.1 Datengrundlagen

Für die Analyse der Importabhängigkeiten werden in dieser Studie Zahlen der UN Comtrade Database verwendet. Die Datenbank enthält detaillierte Informationen zum Handelsvolumen auf Länder- und kleinteiliger Güterebene (bis zu den 6-Stellern der HS-Klassifikation). Die Daten sind sowohl in Bezug auf das Gewicht als auch den Wert verfügbar. Bei der Analyse der rohstoffnahen Güterklassen in Kapitel 2 werden gewichtsbezogene Daten genutzt. In Kapitel 3 werden neben den Rohstoffen selbst auch die weiterverarbeiteten rohstoffhaltigen Produkte der nachgelagerten Wertschöpfungsketten betrachtet. Für die Analyse der sich teilweise stark unterscheidenden Güterklassen werden die wertmäßigen Importzahlen verwendet, da diese im Vergleich zu den Gewichtsangaben eine sinnvollere Erfassung der Abhängigkeit ermöglichen. Für die Analysen im Kapitel 3 werden die Importzahlen des Jahres 2022 verwendet.

Für die Berechnung von wirtschaftlichen Aktivitäten in Deutschland werden Daten des Statistischen Bundesamtes verwendet. Um die wirtschaftlichen Kennzahlen zu ermitteln, die mit der Produktion von rohstoffhaltigen Gütern in Deutschland zusammenhängen (Kapitel 3.1.1.1, 3.2.1.1 und 3.3.1.1), werden den auf Basis von Stoffstromanalysen identifizierten Gütern zunächst Produktionswerte aus der Vierteljährlichen Produktionserhebung im Verarbeitenden Gewerbe zugeordnet. Fehlende Werte werden anteilig anhand der Anzahl der Unternehmen im Verhältnis zur Sollsumme des jeweils übergeordneten Abschnitts berechnet. Da in der Produktionsstatistik nur der Wert der zum Absatz bestimmten Produktion erfasst wird und nicht der tatsächliche Produktionswert, werden die Zahlen entsprechend korrigiert. Hierbei dienen die Produktionswertzahlen der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung als Benchmark. Die zuvor berechneten Produktionswerte der einzelnen Güter werden ihrem übergeordneten Wirtschaftszweig zugeordnet und anteilig an die Produktionswertzahlen dieser Wirtschaftszweige angepasst. Für die Berechnung der Wertschöpfungs- und Erwerbstätigenzahlen der einzelnen Produkte wird die Wertschöpfungs- und Beschäftigungsintensität der jeweils übergeordneten Branche angenommen. Als Ergebnis liegen für jedes identifizierte Gut die Werte des Produktionswerts, der Bruttowertschöpfung und der Anzahl der Erwerbstätigen im Jahr 2022 vor.

Neben diesen Datenquellen werden in den verschiedenen Kapiteln Daten aus Fachzeitschriftenbeiträgen, Berichten und Webseiten (z.B. Werte der Worldwide Governance Indikatoren) verwendet.

## 5.2 Methoden

### Risikobewertung

Um einzuschätzen, ob der Import eines bestimmten Guts als „gefährdet“ angesehen wird, können verschiedene Indikatoren betrachtet werden. In dieser Studie kommen folgende Maßeinheiten zum Einsatz:

- ▶ Herfindahl-Hirschman-Index (HHI): Der Index ist ein Maß für die Konzentration der Importe auf bestimmte Bezugsländer und ist definiert als die Summe der quadrierten Anteilswerte aller Marktteilnehmer. Für eine bessere Darstellung wird der Index im Anschluss häufig mit 10.000 multipliziert. Je höher der Index, desto mehr konzentrierten sich die Importe auf bestimmte Lieferländer (bei einem Importmonopol ist der HHI gleich 10.000). Bei einem HHI von unter 1.500 werden die Importe eines Guts als niedrig konzentriert, bei einem HHI zwischen 1.500 und 2.500 als mäßig konzentriert und bei einem HHI von über 2.500 als konzentriert definiert.
- ▶ Gewichtetes Länderrisiko (GLR): Während in die Berechnung des HHI ausschließlich die Verteilung der Importe Eingang findet, soll mit einem weiteren Maß die Stabilität der einzelnen Länder erfasst werden. Für diesen Zweck wird auf die Worldwide Governance Indicators (WGI) zurückgegriffen. Diese werden jährlich von der Weltbank erstellt und bewerten in sechs einzelnen Indikatoren die Regierungsführung eines Landes. Für die Risikobewertung eines Landes wird der Durchschnitt der sechs Indikatoren gebildet. Negative Werte geben an, dass in einem Land eine schwache Regierungsführung besteht, positive Werte zeigen eine gute Regierungsführung an. Um die Gefährdung der Importe zu bewerten, wird daraufhin ein mit den Importwerten gewichteter Durchschnitt berechnet, der für die Importe jedes Guts angibt, wie hoch das durchschnittliche Risiko in den Bezugsländern ist. Werte des GLR über 0,5 zeigen ein geringes Risiko an, zwischen 0,5 und -0,5 liegt ein mäßiges Risiko vor, bei Werten unter -0,5 wird das Risiko als hoch eingestuft.
- ▶ Die Förderung und Verarbeitung von Rohstoffen birgt (z.T. rohstoffspezifische) *Umweltrisiken*. Die Einhaltung von Umweltschutzstandards trägt dazu bei, diese Risiken zu minimieren. Der Environmental Performance Index (EPI) bewertet, wie „nahe ein Land an etablierten Umweltpolitikstandards/-zielen ist“ und berücksichtigt hierzu viele verschiedene Dimensionen, die sich in die Grobkategorien „Klimawandel“, „Vitalität des ökologischen Systems“ und „Umweltqualität“ eingliedern lassen (siehe EPI 2023). Der EPI nimmt Werte zwischen 0 und 100 ein – je höher der Wert, desto besser die Umweltpolitical Performance eines Landes (niedriges Umweltrisiko). Im derzeitigen EPI-Länderranking hat Indien (Dänemark) mit 18,9 (77,9) den niedrigsten (höchsten) Wert, und Deutschland wurde der EPI-Wert 62,4 zugeordnet (EPI 2023). Zur Einordnung der Indexwerte wird im Haupttext der Quantilsrang angegeben, der das mit der Importstruktur verbundene Umweltrisiko in das Umweltrisikoranking aller Länder der Welt einordnet.

In Kapitel 2 werden diese drei Indizes (Herfindahl-Hirschman-Index, gewichtetes Länderrisiko bzw. der Durchschnitt der Worldwide-Governance-Indikatoren und der Environmental Performance Index) zur Bewertung der Importstruktur verwendet. Zum einen werden sie zur Risikoeinschätzung einzelner Länder genutzt; zum anderen werden sie mit Importanteilen gewichtet zur Risikoeinschätzung aller Zulieferer eines Produkts herangezogen, wobei die Importanteile anhand der Importmengen errechnet werden.

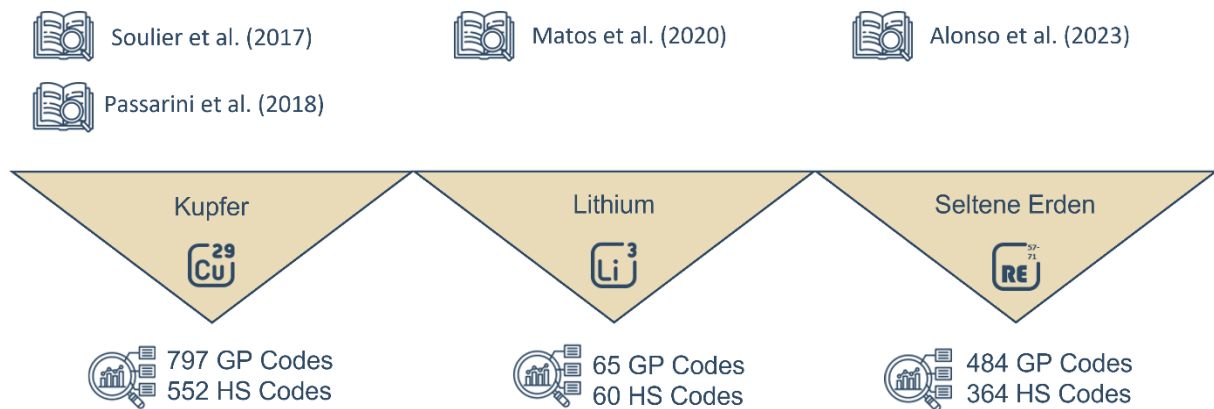
Im Kapitel 3 werden, angelehnt an die Vorgehensweise der DERA (vgl. Al-Barazi et al. 2021), der Herfindahl-Hirschman-Index und das gewichtete Länderrisiko verwendet, um gefährdete Güterimporte zu identifizieren. Zunächst wird für jedes identifizierte Gut sowohl der HHI als auch ein GLR berechnet. Sind die Risiken nach beiden Indikatoren als „hoch“ einzustufen, oder ist das Risiko nach einem der beiden Indikatoren hoch und nach dem anderen Indikator mäßig, so werden die Importe dieses Guts

als gefährdet angesehen. Für die aggregierte Darstellung werden die identifizierten gefährdeten Güterklassen mit ihrem jeweiligen Importwert aus der Comtrade-Datenbank gewichtet, um den Anteil der gefährdeten Importe zu bestimmen.

### Stoffstromanalyse

Die Stoffstromanalysen dienen dazu, entlang der gesamten Wertschöpfungskette Güter zu identifizieren, in denen die betrachteten Rohstoffe enthalten sind. Das Ziel dabei ist es, diejenigen Produkte zu identifizieren, die es ohne den betrachteten Rohstoff in der aktuellen Form nicht geben würde. Die mengenmäßigen Anteile der Rohstoffe spielen für diese Fragestellung keine Rolle. Für die Ermittlung der einzelnen rohstoffhaltigen Produkte wird auf Untersuchungen aus der Literatur zurückgegriffen. Die einzelnen Quellen je Rohstoff sind in Abbildung 5-1 dargestellt. In den Veröffentlichungen werden unterschiedliche Klassifikationssysteme verwendet – die dort ermittelten Güter müssen also zunächst in das Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken (GP) überführt werden. Um die Importabhängigkeit zu analysieren, müssen die Güter zudem in die HS-Klassifikation (Harmonisiertes System) überführt werden. Für diese Überführungen zwischen den unterschiedlichen Güterklassifikationen werden Korrespondenz-Tabellen von Eurostat verwendet. Da es in einigen Fällen keine eindeutigen Beziehungen zwischen den Güterklassen verschiedener Klassifikationssysteme gibt, muss die Identifizierung eines Guts als rohstoffhaltig oder nicht rohstoffhaltig in einigen Fällen händisch vorgenommen werden. Die Identifizierung von rohstoffhaltigen Produkten erfolgt zudem mit einer gewissen Unschärfe. Auch wenn die kleinteiligsten statistischen Güterklassen verwendet werden, kann es vorkommen, dass nur ein Teil einer Klasse rohstoffhaltig ist. In diesem Fall wird die gesamte Gütergruppe als rohstoffhaltig erfasst.

### Abbildung 5-1: Stoffstromanalyse



Quelle: eigene Darstellung

### Aggregationsgruppen der identifizierten Güter

Um die wirtschaftliche Bedeutung der identifizierten rohstoffhaltigen Güter besser analysieren und darstellen zu können, werden die Güter zu unterschiedlichen Aggregationsgruppen zusammengefasst:

**Wirtschaftszweige:** Die Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ) wird verwendet, um Unternehmen zusammenzufassen, die ähnliche Produkte herstellen. Die Klassifikation ist dabei kompatibel mit dem Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken, ein identifiziertes Gut kann also direkt dem übergeordneten Wirtschaftszweig zugeordnet werden.

**Produktionsbereiche:** Neben der Klassifikation der Wirtschaftszweige kann es interessant sein, über die WZ-Klassen hinweg weitere Produktgruppen beziehungsweise Querschnittsbranchen zu analysieren. In dieser Studie werden die beiden zukunftsrelevanten Produktionsbereiche der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) und der Umwelt- und Klimatechnik (UKT) analysiert. Welche Güter zur IKT gezählt werden, wird aus dem IKT-Branchenbild des ZEW entnommen (vgl. Bertschek et al. 2020). Für die Identifikation der UKT-Güter wurde die Definition des Umweltbundesamtes übernommen (vgl. Gehrke/Schasse 2013).

**Verarbeitungsstufen:** Eine weitere relevante Unterteilung der rohstoffhaltigen Güter erfolgt auf Grundlage ihrer Weiterverarbeitung. Hierbei wird unterschieden zwischen Produkten der ersten Rohstoffverarbeitung, Vorleistungsgütern sowie Konsum- und Investitionsgütern. Zur ersten Gruppe werden diejenigen Güterklassen gezählt, die den Rohstoff an sich oder erste Verarbeitungsstufen des Rohstoffs beinhalten. Dies sind auch die Bereiche der Wertschöpfungskette, die in Kapitel 2 genauer untersucht werden. Konsum- und Investitionsgüter hingegen sind Güter, die entweder im Einzelhandel erworben werden können, ohne dass weitere Verarbeitungsschritte an ihnen durchgeführt werden müssten, oder von Firmen als Investitionsgüter eingekauft werden. Vorleistungsgüter gehören nicht zur Gruppe der ersten Rohstoffverarbeitung und dienen als Inputfaktoren für die Produktion von Konsum- und Investitionsgütern.

### Input-Output-Analyse

Input-Output-Tabellen (IOT) stellen die wirtschaftlichen Verflechtungen zwischen den Branchen eines Landes dar. Mithilfe dieser Tabellen ist es möglich, die vorgelagerte Wertschöpfungskette eines Wirtschaftszweigs zu quantifizieren. Dabei können neben den direkten Vorleistungen einer Branche (beispielsweise dem Motor für den Bau eines Fahrzeugs) auch die Verarbeitungsschritte davor berücksichtigt werden (beispielsweise die elektronischen Bauteile für den Motor).

Nationale und multinationale IOT werden von verschiedenen statistischen Ämtern veröffentlicht (beispielsweise vom Statistischen Bundesamt, der OECD und Eurostat), dies geschieht jedoch häufig mit einer Verzögerung von einigen Jahren. Mit dem IOT-Modell der IW Consult ist es möglich, vorhandene IOT der letzten Jahre auf Grundlage der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung auf den aktuellen Rand fortzuschreiben. Den Berechnungen in dieser Studie kann also die Wirtschaftsstruktur des Jahres 2022 zugrunde gelegt werden.

Die Input-Output-Analyse erweist sich für die detaillierte Identifizierung der Wertschöpfungsketten einzelner Rohstoffe als zu aggregiert. Daher wurde in dieser Studie vorrangig mit den schon erläuterten Stoffstromanalysen gearbeitet. Jedoch werden zur Analyse der Angebotsschocks in den Kapiteln 3.2.2.2 und 3.3.2.2 Input-Output-Analysen durchgeführt, um die Auswirkungen spezifischer Szenarien zu beurteilen. Konkret haben die in den Kapiteln durchgeführten Input-Output-Analysen zum Ziel, den gesamtökonomischen Impact des Elektrofahrzeugbaus zu quantifizieren. Dabei soll neben der Produktion der Elektrofahrzeuge selbst (den sogenannten direkten Effekten) auch die Produktion der nötigen Vorprodukte (die sogenannten indirekten Effekte) berücksichtigt werden. Da die IOT jedoch nur die Vorleistungsverflechtungen der Wirtschaftszweige auf WZ 2-Steller-Ebene wiedergibt, liegen Informationen zur vorgelagerten Wertschöpfungskette nur für die Automobilindustrie insgesamt vor. Daher wird zunächst mithilfe der IOT berechnet, für wie viel Wertschöpfung und Erwerbstätige die gesamte Automobilindustrie in Deutschland direkt und indirekt verantwortlich ist. In einem zweiten Schritt wird abgeschätzt, welcher Anteil dieser wirtschaftlichen Aktivitäten auf den Elektrofahrzeugbau zurückzuführen ist. Hierfür werden aktuelle Zahlen zur Anzahl der produzierten Elektrofahrzeuge des VDA verwendet. Die Annahme hierbei ist, dass sich die Vorleistungsstruktur eines Elektrofahrzeugs nicht maßgeblich von der Vorleistungsstruktur eines konventionellen Fahrzeugs unterscheidet.



Tatsächlich gibt es natürlich Unterschiede zwischen den Vorleistungsstrukturen der beiden Fahrzeugtypen. Entscheidend für die Berechnungen ist allerdings vor allem der aggregierte Wert der bezogenen Vorleistungen, der zwischen den beiden Fahrzeugtypen nur leicht variiert. Aufgrund ihrer vereinfachten Antriebstechnologie benötigen Elektrofahrzeuge tendenziell etwas weniger Bauteile für das Motorsystem, alle anderen benötigten Vorleistungen (Karosserie, benötigte Dienstleistungen, etc.) ähneln aber denjenigen der konventionellen Fahrzeuge. Der berechnete Impact des Elektrofahrzeugbaus wird durch die Annahme äquivalenter Vorleistungsstrukturen also nur etwas überschätzt.

### 5.3 Teilnehmer an Interviews und Workshops

**Tabelle 5-1: Teilnehmer an Interviews und Workshop**

Organisation	Typ der Organisation	Interview	Workshop
<b>AMG-Lithium GmbH</b>	Unternehmen	x	x
<b>Aurubis AG</b>	Unternehmen	x	
<b>Deutsches Kupferinstitut</b>	Verband	x	x
<b>Europäisches Lithiuminstitut</b>	Wissenschaft	x	x
<b>IBU-tec AG</b>	Unternehmen	x	
<b>KfW IPEX-Bank</b>	Unternehmen		x
<b>MS-Schramberg GmbH &amp; Co. KG</b>	Unternehmen	x	
<b>Nordex GmbH</b>	Unternehmen	x	
<b>Rare Earths Industry Association</b>	Verband	x	
<b>Rock Tech Inc.</b>	Unternehmen	x	x
<b>Schäffler Technologies AG &amp; Co. KG</b>	Unternehmen	x	x
<b>Zentrum für Recyclingtechnik an der Westfälischen Hochschule</b>	Wissenschaft	x	

Die Interviews fanden als rund einstündige leitfadengestützte Gespräche per Videokonferenz im Zeitraum zwischen dem 27. März 2023 und dem 07. Juni 2023 statt.

Der Workshop fand am 05. Juni 2023 als Videokonferenz statt. Neben Teilnehmern aus den genannten Institutionen nahmen auch VertreterInnen des Auftraggebers und der Auftragnehmer am Workshop teil.

Quelle: eigene Darstellung

## 6 Literaturverzeichnis

- Albemarle, 2021, Albemarle 2021 Investor Day, online verfügbar unter [https://s28.q4cdn.com/860913888/files/doc\\_presentations/2021/ALB-Investor-Day-2021-Master-Presentation.pdf](https://s28.q4cdn.com/860913888/files/doc_presentations/2021/ALB-Investor-Day-2021-Master-Presentation.pdf), zuletzt geprüft am 15.06.2023.
- Alonso, E. / Pineault, D. G. / Gambogi, J. / Nassar, N. T., 2023, Mapping first to final uses for rare earth elements, globally and in the United States, *Journal of Industrial Ecology* 27(1), S. 312– 322.
- Al-Barazi, S., 2021, DERA-Rohstoffliste 2021: Angebotskonzentration bei mineralischen Rohstoffen und Zwischenprodukten – potenzielle Preis- und Lieferrisiken, Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Berlin.
- Bähr, Cornelius / Bardt, Hubertus / Neligan, Adriana, 2023, Optionen der deutschen Wirtschaft für eine sichere Rohstoffversorgung, in: *IW-Trends*, 3/2023, S. 67-86.
- Bähr, Cornelius / Fritsch, Manuel / Hünнемeyer, Vanessa Rebecca / Lichtblau, Karl / Zink, Benita, 2022, Neunter Strukturbericht für die M+E-Industrie in Deutschland, Gutachten im Auftrag des Arbeitgeberverbands GESAMTMETALL, Köln
- Bardt, Hubertus / Grömling, Michael, 2021, Anhaltende Produktionsausfälle durch fehlende Vorleistungen, *IW-Kurzbericht*, Nr. 91, Köln
- Bardt, Hubertus / Kempermann, Hanno / Lichtblau, Karl, 2013, Deutsche Unternehmen im Wettbewerb um Rohstoffe – Versorgungsrisiken und Absicherungsstrategien, *IW-Analysen*, Nr. 93, Köln
- Bertschek, Irene / Niebel, Thomas / Rammer, Christian / Seifried, Mareike, 2020, IKT-Branchenbild 2020: Volkswirtschaftliche Kennzahlen, Innovations- und Gründungsgeschehen, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Berlin
- Bittner, Andreas / Flegler, Andreas / Neef, Christoph / Rostek, Leon / Stijepic, Denis / Tercero Espinoza / Luis Alberto / Thielmann, Axel, 2021, Quantifizierung Batterierecycling, Studie für die Nationale Plattform Zukunft der Mobilität, Fokusgruppe Wertschöpfung der Ag 4, Kurzversion, Fraunhofer ISI, Projektlaufzeit 03/2021 – 07/2021.
- BMWi, 2020, Die Rohstoffstrategie der Bundesregierung, [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/rohstoffstrategie-der-bundesregierung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/rohstoffstrategie-der-bundesregierung.pdf?__blob=publicationFile&v=1) [8.6.2023]
- BMWK, 2023, Eckpunktepapier des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK): Wege zu einer nachhaltigen und resilienten Rohstoffversorgung, [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/eckpunktepapier-nachhaltige-und-resiliente-rohstoffversorgung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/eckpunktepapier-nachhaltige-und-resiliente-rohstoffversorgung.pdf?__blob=publicationFile&v=1) [8.6.2023]
- BMUV, 2020, Deutsches Ressourceneffizienzprogramm III – 2020 bis 2023, [https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Broschueren/ressourceneffizienz\\_programm\\_2020\\_2023.pdf](https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/ressourceneffizienz_programm_2020_2023.pdf) [8.6.2023]

Borrmann, Daniel / Herrmann, Florian / Stegmüller, Sebastian / Block, Lukas / Keicher, Lukas, 2023, Wertstoffkreislauf von Traktionsbatterien aus Europa, Herausgeber: Cluster Elektromobilität Süd-West c/o e-mobil BW GmbH – Landesagentur für neue Mobilitätslösungen und Automotive Baden-Württemberg, Mai 2023, [https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Cluster\\_ESW\\_Themenpapier\\_Kreislaufwirtschaft.pdf](https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Cluster_ESW_Themenpapier_Kreislaufwirtschaft.pdf) [22.08.2023]

British Geological Survey, 2011, Rare Earth Elements Profile, online verfügbar unter [https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/17448/1/Rare\\_Earth\\_Elements\\_profile%5B1%5D.pdf](https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/17448/1/Rare_Earth_Elements_profile%5B1%5D.pdf), zuletzt geprüft am 15.06.2023.

Brüggemann, Anke, / Levinger, Hannah, 2022, Rohstoffbedarf und -sicherheit in Zeiten der grünen und digitalen Transformation, KfW Research, Fokus Volkswirtschaft Nr. 399, 7. September 2022

Bünzli, Jean-Claude G. / McGill, Ian, 2000, Rare Earth Elements, in: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Bd. 135, Wiley, S. 1–53.

Daly, Tom, 2021, Minmetals confirms China rare earths merger, creating new giant, Reuters Media, 22.12.2021, online verfügbar unter <https://www.reuters.com/world/china/minmetals-unit-confirms-china-rare-earth-merger-2021-12-22/>, zuletzt geprüft am 15.06.2023.

DERA, o. J., ROSYS Informationssystem, Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), online verfügbar unter [https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/ROSYS/rosys\\_node.html](https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/ROSYS/rosys_node.html).

DERA, 2021, DERA-Rohstoffliste 2021, Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Berlin, DERA Rohstoffinformationen 49, zuletzt geprüft am 15.06.2023.

DESTATIS, o. J., GENESIS-ONLINE, Vierteljährliche Produktionserhebung im Verarbeitenden Gewerbe, online verfügbar unter <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online>, zuletzt geprüft am 2023.

Dorner, Ulrike, 2020, Rohstoffrisikobewertung – Kupfer, Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Berlin, DERA Rohstoffinformationen 45, zuletzt geprüft am 15.06.2023.

EPI, 2023, Environmental Performance Index, online verfügbar unter <https://epi.yale.edu/>.

Erdmann, Martin, 2021, Seltene Erden – Informationen zur Nachhaltigkeit, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), online verfügbar unter [https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Informationen\\_Nachhaltigkeit/seltene\\_erden.pdf](https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Informationen_Nachhaltigkeit/seltene_erden.pdf), zuletzt geprüft am 15.06.2023.

Europäische Kommission, 2010, Critical raw materials for the EU: Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials, Europäische Kommission, Brüssel.

Europäische Kommission, 2020a, Study on the EU's list of Critical Raw Materials, Factsheets on Critical Raw Materials, zuletzt geprüft am 15.06.2023.

Europäische Kommission, 2020b, Study on the EU's list of Critical Raw Materials, Factsheets on Non-critical Raw Materials, zuletzt geprüft am 15.06.2023.

Europäische Kommission, 2023a, Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) 168/2013, (EU) 2018/858, 2018/1724 and (EU) 2019/1020, COM(2023) 160 final, online verfügbar unter [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:903d35cc-c4a2-11ed-a05c-01aa75ed71a1.0001.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:903d35cc-c4a2-11ed-a05c-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF), zuletzt geprüft am 23.06.2023.

Europäische Kommission, 2023b, Study on the EU's list of Critical Raw Materials – Final Report, zuletzt geprüft am 15.06.2023.

EY, BMWK, 2022. Staatliche Instrumente zur Erhöhung der Versorgungssicherheit von mineralischen Rostoffen, Endbericht, Ernst & Young Wirtschaftsprüfungsgesellschaft im Auftrag des BMWK

Godart, O. / Abel, P. / Bode, E. / Heimann, T. / Herrmann, C. / Kamin, K. / Peterson, S. / Sandkamp, A., 2023, Resilienz der Langfriststrategie Deutschlands zum Klimaschutz, Studie für die Wissenschaftsplattform Klimaschutz, Kiel Institut für Weltwirtschaft, Kiel

Gehrke, B. / Schasse, U., 2013, Umweltschutzgüter – wie abgrenzen? Methodik und Liste der Umweltschutzgüter 2013. Reihe Umwelt. Innovation, Beschäftigung des Umweltbundesamtes, 1, 2013.

Haldevang, Max de, 2020, Coronavirus could have a lasting effect on China-dominated lithium sector, Quartz, 11.03.2020, online verfügbar unter <https://qz.com/1812892/coronavirus-may-have-lasting-effect-on-china-dominated-lithium-sector>, zuletzt geprüft am 14.06.2023.

Hammarstrom, Jane M. / Zientek, Michael L. / Parks, Heather L. / Dicken, Connie L., 2021, Assessment of Undiscovered Copper Resources of the World, 2015, Scientific Investigations Report, U.S. Geological Survey Global Copper Mineral Resource Assessment Team (Scientific Investigations Report 2018–5160, Version 1.2, December 2021), zuletzt geprüft am 15.06.2023.

Hettesheimer, Tim / Wietschel, Martin / Neef, Christoph / Stijepic, Denis / Moll, Cornelius / Thielmann, Axel et al., 2021, Batteriestandort auf Klimakurs, Agora Verkehrswende, online verfügbar unter [https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2021/Klimaneutrale-Batterieproduktion/59\\_klimaneutrale\\_Batterieproduktion.pdf](https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2021/Klimaneutrale-Batterieproduktion/59_klimaneutrale_Batterieproduktion.pdf), zuletzt geprüft am 15.06.2023.

ICSG, 2022, The World Copper Factbook 2022, International Copper Study Group, zuletzt geprüft am 15.06.2023.

IEA, 2022, The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions, International Energy Agency, zuletzt geprüft am 15.06.2023.

Kempermann, H., 2021, Wirtschaftliche Bedeutung regionaler Automobilnetzwerke in Deutschland – Endbericht. Studie für das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Köln.

Köster, H. / Neubert, F. P. / Dierksmeier, K. / Adelman, L. / Lentge, H. / Schmid, P. (2022). Securing raw material supply: Benchmarking of measures of foreign manufacturing companies and recommendations for action. – DERA Rohstoffinformationen, 52.

Kullik, Jakob, 2020, Verlorenes Jahrzehnt der Rohstoffsicherheit, Auslandsinformationen online, Nr. 24.

Lichtblau, Karl / Kempermann, Hanno / Bähr, Cornelius / Ewald, Johannes / Fritsch, Manuel / Kohlisch, Enno / Zink, Benita, 2021, Zukunft der Automobilwirtschaft in Nordrhein-Westfalen – Status quo, Trends, Szenarien. Studie für das Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen, Köln.

Matos, C. T. / Ciacci, L. / Godoy León, M. F. / Lundhaug, M. / Dewulf, J. / Müller, D. B. / Mathieux, F., 2020, Material system analysis of five battery-related raw materials: Cobalt, lithium, manganese, natural graphite, nickel.

Neef, Christoph / Schmalz, Thomas / Thielmann, Axel, 2021, Recycling von Lithium-Ionen-Batterien: Chancen und Herausforderungen für den Maschinen- und Anlagenbau, Kurzstudie im Auftrag der IMPULS-Stiftung (Stiftung für den Maschinenbau, den Anlagenbau und die Informationstechnik), Karlsruhe.

Passarini, F. / Ciacci, L. / Nuss, P. / Manfredi, S., 2018, Material Flow Analysis of Aluminium, Copper, and Iron in the EU-28, EUR 29220 EN, Publications Office of the European Union, Luxemburg, ISBN 978-92-79-85744-7, doi 10.2760/1079, JRC 111643.

Rames, M. / Madsen, K. / Stijepic, D. / Pfaff, M., 2019, Follow-up feasibility study on sustainable batteries under FWC ENER/C3/2015-619-Lot 1, Task 4 report: Sustainable sourcing, Publications Office of the European Union, Luxemburg, online verfügbar unter <https://ecodesignbatteries.eu/sites/ecodesignbatteries.eu/files/attachments/EDbatteryFollowupWP4finalpreprint.pdf>, zuletzt geprüft am 15.06.2023.

S&P Global, 2022, The Future of Copper: Will the looming supply gap short-circuit the energy transition?, online verfügbar unter <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/mi/info/0722/futureofcopper.html>, zuletzt geprüft am 23.06.2023.

Schmidt, Michael, 2017, Rohstoffrisikobewertung – Lithium, Berlin, Deutsche Rohstoffagentur (DE-RA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Berlin, DERA Rohstoffinformationen 33, online verfügbar unter [https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/Studie\\_lithium\\_2017.pdf](https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/Studie_lithium_2017.pdf), zuletzt geprüft am 15.06.2023.

Schmidt, Michael / Bastian, Denis / Kresse, Carolin, 2023, Rohstoffrisikobewertung – Lithium, Datenstand: 2022, Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Berlin, DERA Rohstoffinformationen 54, zuletzt geprüft am 15.06.2023.

Schrijvers, Dieuwertje / Hool, Alessandra / Blengini, Gian Andrea / Chen, Wei-Qiang / Dewulf, Jo / Egger, Roderick et al., 2020, A review of methods and data to determine raw material criticality, Resources, Conservation and Recycling 155, 104617, DOI: 10.1016/j.resconrec.2019.104617.

SCREEN, 2023, FACTSHEETS – CRMS 2023, Factsheets updates based on the EU factsheets 2020, online verfügbar unter <https://screen.eu/crms-2023/>.

Simmons, Lee, 2016, Rare-Earth Market, Foreign Policy, 12.07.2016, online verfügbar unter <https://foreignpolicy.com/2016/07/12/decoder-rare-earth-market-tech-defense-clean-energy-china-trade/>, zuletzt geprüft am 15.06.2023.

Soulier, Marcel / Glöser-Chahoud, Simon / Goldmann, Daniel / Tercero Espinoza / Luis A., 2018, Dynamic analysis of European copper flows, Resources, Conservation and Recycling 129, S. 143–152. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.10.013.

Statistisches Bundesamt, 2023a, Vierteljährliche Produktionserhebung im Verarbeitenden Gewerbe 2022, Genesis Online Tabelle 42131-0004, <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=42131-0004&bypass=true&levelindex=0&levelid=1687951844359#abreadcrumb> [10.05.2023]

Statistisches Bundesamt, 2023b, Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung 2022, Inlandsproduktberechnung - Detaillierte Jahresergebnisse (vorläufige Ergebnisse) - Fachserie 18 Reihe 1.4 – 2022, [https://www.destatis.de/DE/Service/Bibliothek/\\_publikationen-fachserienliste-18.html?nn=206136](https://www.destatis.de/DE/Service/Bibliothek/_publikationen-fachserienliste-18.html?nn=206136) [10.05.2023]

Szurlies, Michael / Schippers, Axel / Kuhn, Thomas / Duba, Jolante, 2021, Rohstoffrisikobewertung – Nickel, Datenstand: Februar 2021, Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Berlin, DERA Rohstoffinformationen 48, online verfügbar unter [https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA\\_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-48.pdf](https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-48.pdf), zuletzt geprüft am 15.06.2023.

UN Comtrade, 2023, United Nations Statistics Division, International Merchandise Trade Statistics. Online abrufbar unter <http://comtrade.un.org/>

U.S. Geological Survey, 2020, Mineral Commodity Summaries 2020, online verfügbar unter <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf>, zuletzt geprüft am 15.06.2023.

U.S. Geological Survey, 2022, Mineral commodity summaries 2022, DOI: 10.3133/mcs2022.

U.S. Geological Survey, 2023, Mineral commodity summaries 2023, DOI: 10.3133/mcs2023.

Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry, 2003, 6., compl. rev. Ed., Wiley-VCH, Weinheim.

Vbw, 2022, Rohstoffsituation der bayerischen Wirtschaft, Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V., online verfügbar unter [https://www.vbw-bayern.de/Redaktion/Frei-zugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Wirtschaftspolitik/2022/Downloads/221124\\_Rohstoffstudie\\_IWC\\_final2.pdf](https://www.vbw-bayern.de/Redaktion/Frei-zugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Wirtschaftspolitik/2022/Downloads/221124_Rohstoffstudie_IWC_final2.pdf)

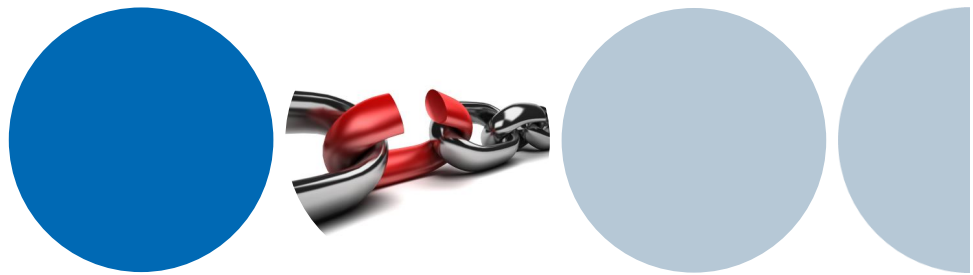
VDA, 2023, Monatszahlen des Verbands der Automobilindustrie e.V., <https://www.vda.de/de/aktuelles/zahlen-und-daten/monatszahlen> [02.06.2023]

Weltbank, 2023, Worldwide Governance Indicators, online verfügbar unter <https://info.worldbank.org/governance/wgi/>.

WITS, 2023, Copper; waste and scrap imports by country in 2020, World Integrated Trade Solution, online verfügbar unter <https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/ALL/year/2020/tradeflow/ixports/partner/WLD/product/740400>, zuletzt aktualisiert am 15.06.2023, zuletzt geprüft am 15.06.2023.

WMD, 2022, World Mining Data 2022, Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (Österreich), Wien, zuletzt geprüft am 15.06.2023.

Zhou, Baolu / Li, Zhongxue / Chen, Congcong, 2017, Global Potential of Rare Earth Resources and Rare Earth Demand from Clean Technologies, Minerals 7 (11), S. 203. DOI: 10.3390/min7110203.



**iW**CONSULT