

Zukunftsperspektiven Transformation

Rohstofflage in der chemischen Industrie



Impressum

Zukunftsperspektiven Transformation.
Rohstofflage in der chemischen Industrie.

ERSTELLT IM AUFTRAG VON
Stiftung Arbeit und Umwelt der IGBCE

- Inselstraße 6, 10179 Berlin
- Königsworther Platz 6, 30167 Hannover

Telefon +49 30 2787 14

PROJEKTLEITUNG
Nils Beyer

DURCHFÜHRUNG
excellence in change GmbH & Co. KG

AUTOREN
Stephan Kraft
Dr. Steffen Manzer
Dr. Henrik Steinhaus

LEKTORAT
Gisela Lehmeier, FEINSCHLIFF

SATZ UND LAYOUT
pandamedien GmbH & Co. KG

DRUCK
Spree Druck Berlin GmbH

TITELBILD
AdobeStock / pandamedien

VERÖFFENTLICHUNG
September 2023

BITTE ZITIEREN ALS
Stiftung Arbeit und Umwelt der IGBCE (2023):
Zukunftsperspektiven Transformation. Rohstofflage in der
chemischen Industrie. Berlin.

Vorwort

Ganz Deutschland und insbesondere unsere Industrien stehen spätestens seit dem Ausbruch des Ukrainekriegs vor unübersehbaren Herausforderungen. Unterbrochene Lieferketten, wegfallende Partnerschaften und hohe Abhängigkeiten führen zu Verunsicherungen des industriellen Kerns Europas. Insbesondere Deutschland muss sich entscheiden, wie die Versorgung mit kritischen Rohstoffen gesichert werden kann. Die Transformation der Industrie hängt von Rohstofflieferungen aus allen Teilen der Welt ab – überproportional von China und zunehmend von Ländern des globalen Südens. Zwei wesentliche Herausforderungen können identifiziert werden: Die geostrategische Situation hat sich wesentlich verändert und damit auch bestehende Partnerschaften.

Warum sind diese Entwicklungen für den Rohstoffsektor so wichtig? Weil gerade Rohstofflieferungen als politisches Druckmittel eingesetzt werden können und werden. Vor dem Hintergrund der sozialökologischen Transformation, die uns eine Umstellung von fossilen hin zu mineralischen Rohstoffen abverlangt, bedeutet dies weitere Risikofaktoren. In der energieintensiven Chemieindustrie sind diese Abhängigkeiten in besonderer Weise hoch. Technologische Vorreiter in hochindustrialisierten Sektoren zu sein, ist für Deutschland und Europa schon lange keine Selbstverständlichkeit mehr. Neben dem durch die beschriebenen Entwicklungen steigenden Druck stellt vor allem die in den USA mit dem Inflation Reduction Act (IRA) betriebene aktive und teils protektionistische Industriepolitik mit Steueranreizen und Investitionen die Frage, wie Europa und Deutschland ihre Industriepolitik verändern. Dazu wird notwendigerweise eine neue internationale Rohstoffpolitik gehören, die geprägt ist durch Augenhöhe im Aufbau neuer Partnerschaften und durch einen aktiven Staat, der Anreize schafft und die notwendigen Investitionen als Brücke zur Transformation bereitstellt.

Diese Studie ist ein Beitrag zur Analyse der Rohstoffsituation in der Chemieindustrie. Wir entwickeln damit unsere umfangreiche und breit angelegte Studie „Zukunftsperspektiven Transformation. Rohstofflage in den IGBCE-Branchen“ zu einer konkreten Branchenbewertung weiter.

In dieser Studie fragen wir: Wie ist die Rohstoffversorgung in der Chemieindustrie? Wie sind Zukunftsprojekte von der Rohstofflage betroffen? Welchen Einfluss haben steigende Preise auf Transformationsvorhaben? Und welchen Beitrag könnte eine Rohstoffagentur zur Verbesserung der Lage in der Chemieindustrie leisten?

Damit bildet die vorliegende Studie nicht nur den Status quo ab, sondern wagt einen Blick nach vorne. Wir liefern mit diesem Papier eine Basis für eine weiterführende Diskussion darüber, wie wir, um der Chemieindustrie eine erfolgreiche Transformation zu ermöglichen, unsere Rohstoffquellen diversifizieren und eigenen Rohstoffabbau fördern könnten.

Wir bleiben dran und freuen uns auf den Austausch und das Gespräch mit Ihnen.

Andrea Arcais
Geschäftsführer
Stiftung Arbeit und Umwelt der IGBCE

Inhalt

Vorwort	3
Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	5
1. Einführung	6
2. Hintergrund	7
2.1 Rohstoffsituation in Deutschland und der Europäischen Union	7
2.2 Probleme und Konsequenzen der aktuellen Rohstoffsituation	8
3. Situation in der Chemieindustrie	9
3.1 Branchenspezifische Rohstoffrelevanz und -situation	9
3.2 Zukunftsweisende Schlüsseltechnologien im Transformationsprozess	10
3.3 SWOT-Branchenanalyse im Kontext der industriellen Transformation	12
4. Herausforderungen und Lösungsansätze	13
4.1 Importabhängigkeit und Diversifikationsmöglichkeiten (Länder)	13
4.2 Heimische Vorkommen und Explorationsmöglichkeiten (Bergbau)	13
4.3 Substitutionsmöglichkeiten und Materialeinsatz (Rohstoffe)	16
4.4 Kreislaufwirtschaft und Recyclingmöglichkeiten (Lebenszyklus)	17
4.5 Bündelung der Anstrengungen in einer EU-Rohstoffagentur	19
5. Zusammenfassung	22
Literaturverzeichnis	23
Glossar	27
Importabhängigkeitsquote (IR)	27
End-of-Life-Recycling-Einsatzquote (EoL-RIR)	27
Ersetzbarkeitsindex (SI, SI _{EI} , SI _{SR})	27
Seltene Erden (Rare Earth Elements, REE)	27
Platingruppenmetalle (Platin Group Metals, PGM)	27

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Lieferländer kritischer Rohstoffe aus deutscher Perspektive, 2020–2022	7
Abbildung 2:	Rohstoffsituation in der Chemieindustrie	9
Abbildung 3:	Potenzielle Aufgabengebiete einer EU-Rohstoffagentur	20

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Zukunftstechnologien im Transformationsprozess.....	10
Tabelle 2:	Rohstoffgruppenbildung mittels Zulieferkonzentration und Anwendungsvielfalt	11
Tabelle 3:	Kritische Rohstoffe für die Produktion von Zukunftstechnologien im Transformationsprozess	11
Tabelle 4:	SWOT-Analyse der deutschen Chemieindustrie im Kontext der industriellen Transformation	12
Tabelle 5:	Rohstoffkooperationsmodelle im Rahmen einer strategischen Rohstoffaußenpolitik	14
Tabelle 6:	Rohstoffvorkommen innerhalb der EU (Auszug).....	14
Tabelle 7:	Mögliche Substitute für Rohstoffe der chemischen Industrie nach Anwendungsfall	16
Tabelle 8:	Zuordnung von Rohstoffen zu Recyclingklassen	18

1. Einführung

Die Europäische Union (EU) und ihre Mitgliedsstaaten stehen vor der massiven Herausforderung einer industriellen Transformation. Innerhalb weniger Jahre sollen Herkulesaufgaben wie die Energiewende, Elektromobilität und Digitalisierung kompletter Volkswirtschaften vollzogen sein.

Diese tiefgreifende und weitreichende Transformation kann nur gelingen, wenn die hierfür erforderlichen Schlüsseltechnologien verfügbar sind. Die EU nennt in diesem Kontext unter anderem Elektromotoren, Windturbinen, Fotovoltaik-Technologien, 3-D-Druck, Robotik, Digitaltechnologien, Drohnen, Lithium-Ionen-Batterien, Brennstoffzellen sowie Wasserstoff-Technologien.¹

Die Industrie in Deutschland spielt hierbei eine Doppelrolle, da sie sowohl Anbieter als auch Abnehmer von Produkten der zukunftsweisenden Schlüsseltechnologien ist. Gerade die Branchen der IGBCE stellen vielfältige Vor- oder Hauptprodukte der Schlüsseltechnologien bereit und sind daher auf die Versorgungssicherheit bei Rohstoffen angewiesen.

Für viele der benötigten Rohstoffe gilt die Versorgungslage jedoch als „kritisch“, da diese Rohstoffe für die Produktion der Schlüsseltechnologien zwingend erforderlich sind und Deutschland gleichzeitig über keine oder keine nennenswerten Rohstoffvorkommen oder -förderungen verfügt und daher von mitunter sehr wenigen ausländischen Bezugsquellen in hohem Maße abhängig ist.²

Vor diesem Hintergrund beleuchtet die vorliegende Studie die Rohstoffsituation in den IGBCE-Branchen. Ihr Fokus liegt auf der chemischen Industrie in Deutschland, da sie einerseits zu den Schlüsselindustrien der deutschen Volkswirtschaft zählt und ihr andererseits eine zentrale Rolle im industriellen Transformationsprozess der deutschen Volkswirtschaft zukommt.

In Kapitel 2 wird die Rohstoffsituation in Deutschland und der EU sowie die damit verbundenen Probleme erläutert. Anschließend geht Kapitel 3 auf die branchenspezifische Situation der Chemieindustrie in Deutschland ein und beleuchtet einerseits die Rohstoffbeschaffung und andererseits die Rohstoffverwendung. Beide Sichtweisen werden anschließend im Rahmen einer SWOT-Analyse der Chemieindustrie in Deutschland verdichtet.

Darauf aufbauend widmet sich Kapitel 4 den Herausforderungen und möglichen Lösungsansätzen, die erforderlich sind, um die Versorgungssicherheit mit kritischen Rohstoffen und die Produktion der Schlüsseltechnologien für den industriellen Transformationsprozess zu gewährleisten. Kapitel 5 fasst die Kernerkenntnisse zusammen und schließt mit einem kurzen Ausblick.

¹ Vgl. European Commission 2020.

² Zur besseren Lesbarkeit werden diese Rohstoffe im weiteren Verlauf als „kritische Rohstoffe“ bezeichnet.

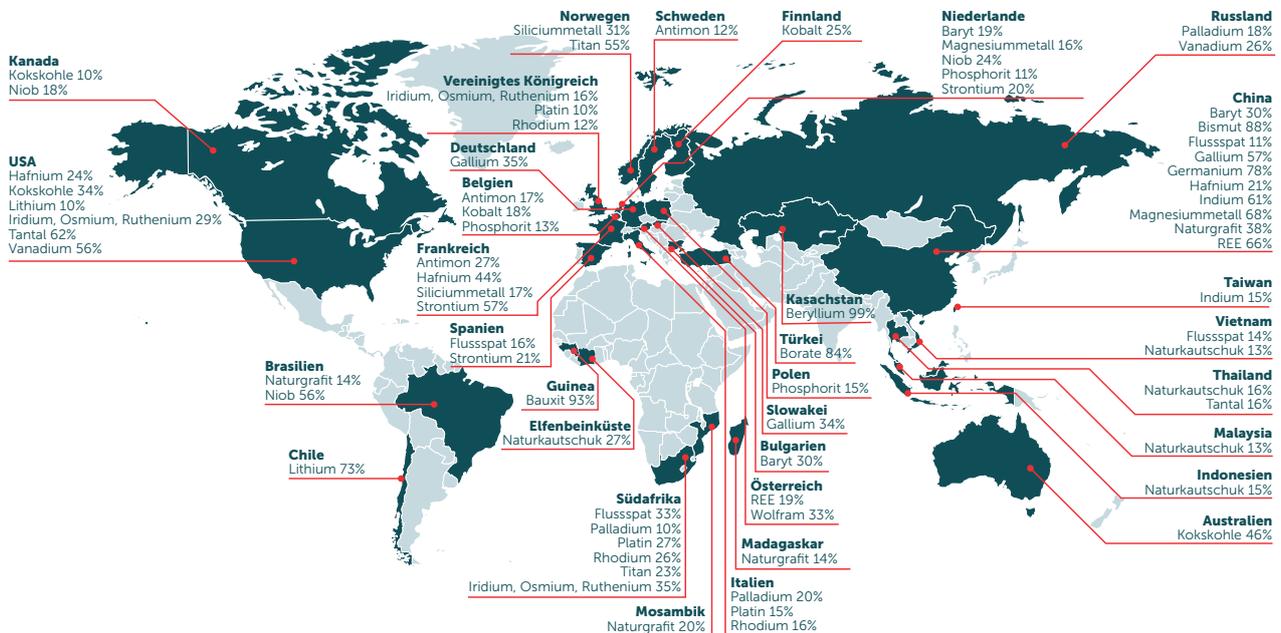
2. Hintergrund

2.1 Rohstoffsituation in Deutschland und der Europäischen Union

Deutschland gilt im Allgemeinen als **rohstoffarmes Land**.³ Zwar sind beispielsweise Salz, Steine, Kalk oder Ton in großen Mengen vorhanden – viele kritische Rohstoffe jedoch, die für aktuelle oder zukünftige Technologien erforderlich sind, werden derzeit entweder vollständig oder zu großen Teilen importiert.⁴ Aus Sicht der Europäischen Union werden Einfuhren kritischer Rohstoffe mit hoher Wahrscheinlichkeit auch in Zukunft unverzichtbar bleiben.⁵ Abbildung 1 veranschaulicht die derzeitigen Bezugsländer kritischer Rohstoffe aus deutscher Perspektive nach ihren Anteilen am Import.⁶

Dennoch verfügen sowohl Deutschland wie auch das EU-Ausland grundsätzlich über ungenutzte Rohstoffressourcen, ihre Förderung war gegenüber dem Import in den vergangenen Jahrzehnten jedoch häufig **nicht wirtschaftlich**.⁷ Exemplarisch hierfür sei ein niobhaltiger Karbonatit in der Nähe des Kaiserstuhls genannt, dessen versuchsweiser Abbau zwischen 1935 und 1952 nicht profitabel wurde.⁸ Die möglichen Ursachen dafür sind vielfältig: Denkbar sind unter anderem Subventionen in den heutigen Förderländern, strengere (und somit aufwandserhöhende) Arbeitnehmer- und Menschenrechte sowie Umweltschutzvorgaben in der EU und nicht zuletzt die in einigen Fällen vergleichsweise geringe Konzentration der Rohstoffe in heimischen Lagerstätten.⁹

Abbildung 1: Lieferländer kritischer Rohstoffe aus deutscher Perspektive, 2020–2022



Quelle: Stiftung Arbeit und Umwelt der IGBCE 2023, S. 6; Destatis-Statistik 51000-0016

³ Vgl. u. a. Werner 2012, S. 40. So etwa auch das Statistische Bundesamt (Destatis) oder das Umweltbundesamt (UBA).
⁴ Vgl. Dill/Röhling 2007 und BGR 2022, S. 6. Zum Bedarf ausgewählter Schlüsseltechnologien siehe Abschnitt 3.2.
⁵ Vgl. z. B. Europäische Kommission 2023.
⁶ Die Anteile beziehen sich auf Rohstoffe und verarbeitete Formen, vgl. Stiftung Arbeit und Umwelt der IGBCE 2023, S. 43 ff. Die dargestellten Rohstoffe basieren auf der EU-Liste kritischer Rohstoffe mit Stand 2020.
⁷ Für einen Überblick über Bodenschätze in Deutschland vgl. Dill/Röhling 2007.
⁸ Vgl. auch im Folgenden Werner 2012, S. 68 ff.
⁹ Zu Subventionen in den Förderländern vgl. Europäische Kommission 2022.

In den vergangenen Jahren wurden allerdings, nicht zuletzt, um Versorgungsrisiken zu reduzieren, wieder vermehrt **Erkundungsarbeiten** zur Förderung kritischer Rohstoffe in Deutschland und der EU angestrengt.¹⁰ Durch technische Fortschritte, höhere Automatisierung und gegebenenfalls Subventionen für besonders kritische Rohstoffe könnte potenziell eine wirtschaftliche Förderung ermöglicht werden. In Abschnitt 4.2 werden diese heimischen Vorkommen und Explorationsmöglichkeiten im Detail beleuchtet.

2.2 Probleme und Konsequenzen der aktuellen Rohstoffsituation

Eine sichere Rohstoffversorgung ist für eine reibungslos funktionierende Volkswirtschaft unerlässlich. Die aktuelle Versorgungssituation Deutschlands und der EU mit sogenannten kritischen Rohstoffen offenbart diesbezüglich jedoch eine hohe Verletzlichkeit – sowohl in Bezug auf die Beschaffung als auch auf die Verwendung der Rohstoffe. Als kritisch im Sinne der EU-Definition gelten nichtenergetische, nichtlandwirtschaftliche Rohstoffe, die gleichzeitig ein hohes Versorgungsrisiko aufweisen, die für die Produktion von Schlüsseltechnologien erforderlich sind und daher wirtschaftlich wichtig sind.¹¹

Ein hohes Versorgungsrisiko auf der Beschaffungsseite liegt vor, wenn die länderspezifische Rohstoffkonzentration hoch ist und somit eine hohe Abhängigkeit von einzelnen Rohstofflieferländern, die sich möglicherweise als politisch instabil oder unzuverlässig erweisen, besteht.¹² Der andauernde Konflikt mit Russland im Ukrainekrieg, der Handelssanktionen nach sich zog, die geopolitischen Spannungen mit China, die beispielsweise in Exportbeschränkungen mündeten (was teilweise Verknappungen und zeitweise Preisanstiege verursachte) sowie die Fragilität globaler Lieferketten während der Pandemie, die zu Lieferengpässen führte, verdeutlichen die möglichen Auswirkungen des Versorgungsrisikos.

Gleichzeitig zeigt sich auf der Verwendungsseite, dass der industrielle Transformationsprozess Deutschlands und der EU auch auf der Verfügbarkeit kritischer Rohstoffe basiert. Deshalb ist die Rohstoffversorgung für Branchen, die den industriellen Transformationsprozess maßgeblich treiben und die hierfür erforderlichen Schlüsseltechnologien entwickeln und produzieren, essenziell. Ohne kritische Rohstoffe sind Schlüsseltechnologien wie Elektromotoren, Windturbinen, Fotovoltaik, 3-D-Druck, Robotik, Digitaltechnologien, Drohnen, Lithium-Ionen-Batterien,

Brennstoffzellen sowie Wasserstoff-Technologien nicht produzierbar und europäische Zukunftsvorhaben wie die Energiewende, Elektromobilität und Digitalisierung geraten ins Stocken.¹³

Vor diesem Hintergrund gewinnen die Diskussionen verschiedener Akteure aus Politik und Wirtschaft auf deutscher und europäischer Ebene, die bereits im Lauf der vergangenen 15 Jahre geführt wurden, weiter an Bedeutung und untermauern die Notwendigkeit, zielführende Maßnahmenpakete entlang konkreter Handlungspläne umzusetzen. Hierzu zählen unter anderem:

- die Sicherung der Rohstoffversorgung aus **ausländischen** Quellen durch die Intensivierung von Rohstoffpartnerschaften als Teil einer nachhaltigen Rohstoffaußenpolitik (vgl. Kap. 4.1),
- die Sicherung der Rohstoffversorgung aus **heimischen** Quellen durch Erkundung und Förderung von Rohstoffvorkommen in Deutschland und der EU (vgl. Kap. 4.2) und
- die Reduzierung der **Rohstoffabhängigkeit** durch die Einsparung, die Substitution (vgl. Kap. 4.3) und das Recycling von Rohstoffen (vgl. Kap. 4.4).¹⁴

Im Folgenden wird die branchenspezifische Situation in der Chemieindustrie beleuchtet, da sie einerseits zu den Schlüsselindustrien der deutschen Volkswirtschaft zählt und andererseits eine zentrale Rolle im industriellen Transformationsprozess der deutschen Volkswirtschaft spielt.

¹⁰ Vgl. exemplarisch BGR 2022, S. 23; BGR 2023; Volkswagen 2021 sowie Hans-Böckler-Stiftung 2016, S. 72 f.

¹¹ Vgl. Europäische Kommission 2023b und SWP 2022a.

¹² Vgl. ifo-Institut 2022; SWP 2022a und Hanns-Seidel-Stiftung 2019.

¹³ Vgl. ifo-Institut 2022; SWP 2022a und Hanns-Seidel-Stiftung 2019.

¹⁴ Vgl. SWP 2022a; SWP 2023a sowie Fraunhofer-ISI 2015.

3. Situation in der Chemieindustrie

3.1 Branchenspezifische Rohstoffrelevanz und -situation

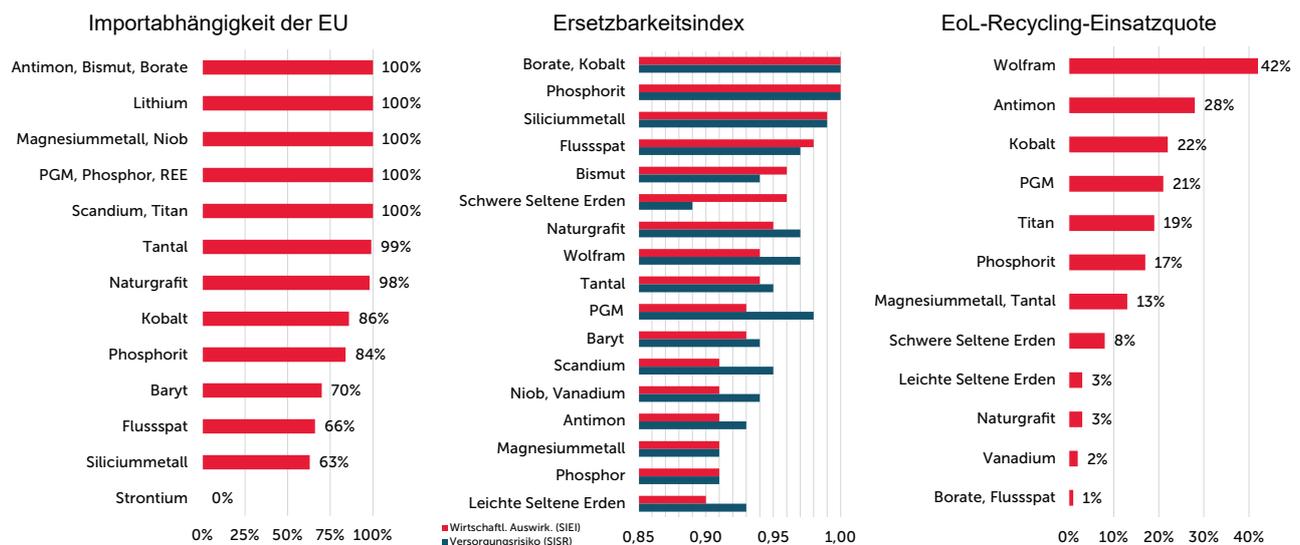
Die deutsche Chemieindustrie als einer der wichtigsten deutschen Industriezweige ist in hohem Maße von kritischen Rohstoffen abhängig. Die Rohstoffe haben vielfältige Anwendungen in der Chemieindustrie: Sie werden unter anderem als **Katalysator**, **Puffersubstanz**, **Tracer** oder als korrosionsbeständiger Werkstoff, beispielsweise im **Anlagenbau**, verwendet.¹⁵ Abbildung 2 veranschaulicht die für die Chemieindustrie relevanten kritischen Rohstoffe, die Importabhängigkeit der EU, ihren Ersetzbarkeitsindex sowie die End-of-Life-Recycling-Einsatzquote.¹⁶

Bezogen auf EU-Lieferquellen stammen die erforderlichen kritischen Rohstoffe überwiegend aus Importen. Eine Ausnahme stellt das vollständig aus Spanien bezogene

Strontium dar. Wichtige Lieferländer Deutschlands für Roh- und Zwischenformen sind vor allem **Brasilien** (Niob), **Chile** (Lithium), **China** (Baryt, Bismut, Magnesiummetall, Naturgraphit, REE), **Finnland** (Kobalt), **Frankreich** (Antimon, Strontium), **Italien** (Palladium), **Norwegen** (Siliciummetall, Titan), **Österreich** (Wolfram), **Polen** (Phosphorit), **Südafrika** (Flussspat, sonstige PGM), die **Türkei** (Borate) sowie die **USA** (Tantal, Vanadium).¹⁷

Eine **Substitution** dieser Rohstoffe ist aufgrund schlechterer Eigenschaften, schlechterer Verfügbarkeit oder höherer Preise möglicher Ersatzstoffe kaum sinnvoll, sofern sie überhaupt möglich wäre. Ebenso liegt die **End-of-Life-Recycling-Einsatzquote** derzeit überwiegend im niedrigen einstelligen Prozentbereich, sodass Sekundärrohstoffe aktuell auch keinen nennenswerten Anteil des Bedarfs decken.¹⁸

Abbildung 2: Rohstoffsituation in der Chemieindustrie



Quelle: Stiftung Arbeit und Umwelt der IGBCE 2023, S. 15

¹⁵ Vgl. auch im Folgenden Stiftung Arbeit und Umwelt der IGBCE 2023, S. 15 ff.

¹⁶ Zum Ersetzbarkeitsindex und der EoL-Recycling-Einsatzquote siehe detailliert das Glossar. Die dargestellten Rohstoffe basieren auf der EU-Liste kritischer Rohstoffe Stand 2020.

¹⁷ Es handelt sich um Rohstoffe und verarbeitete Formen. Die Lieferländer entsprechen damit nicht zwangsläufig den Förderländern. REE = Rare Earth Elements (Seltene Erden), PGM = Platin Group Metals (Platingruppenmetalle) siehe detailliert das Glossar.

¹⁸ Die EoL-Recycling-Einsatzquote der EU für Baryt, Bismut, Lithium, Niob, Phosphor, Scandium, Siliciummetall sowie Strontium liegt derzeit gar bei null, vgl. Stiftung Arbeit und Umwelt der IGBCE 2023, S. 15.

Nach dieser Darstellung der transformationsrelevanten Rohstoffbeschaffungsseite liegt der Fokus des folgenden Abschnitts auf der entsprechenden Verwendung in der Chemieindustrie, vor allem mit Blick auf zukunftsweisende Schlüsseltechnologien.

3.2 Zukunftsweisende Schlüsseltechnologien im Transformationsprozess

Der industrielle Transformationsprozess, der Megatrends wie die Energiewende, Elektromobilität und Digitalisierung umfasst, basiert auf einer Reihe zukunftsweisender Schlüsseltechnologien, deren Produktion den Einsatz kritischer Rohstoffe zwingend benötigt. Solche Technologien, deren Bedeutung bereits heute hoch ist und zukünftig weiter steigen wird, betreffen Elektromotoren, Windturbinen, Fotovoltaik, 3-D-Druck, Robotik, Digitaltechnologien, Drohnen, Lithium-Ionen-Akkumulatoren, Brennstoffzellen und Wasserstoff-Technologien. Tabelle 1 erläutert die Bedeutung dieser Technologien im Überblick.¹⁹

Die chemische Industrie in Deutschland liefert in ihrer Funktion als Schlüsselindustrie wesentliche Vorprodukte, die von zahlreichen nachgelagerten Abnehmerindustrien bezogen und von ihnen in der Produktion der Schlüsseltechnologien benötigt werden. Somit ist die **Rohstoffverwendung** in vielen Schlüsseltechnologien ein geeignetes Kriterium, um die Kritikalität eines Rohstoffs auf der Anwendungsseite einzustufen: Je mehr Schlüsseltechnologien den Rohstoff benötigen, umso bedeutsamer ist er für den Transformationsprozess.

Für eine weitergehende Beurteilung der Rohstoffkritikalität ist es auch nötig, die **Beschaffungsseite** zu betrachten. Je geringer die Diversifikation der Lieferländer eines Rohstoffs, umso größer sind die Importabhängigkeiten von einzelnen Lieferländern. Wenn außerdem die Möglichkeiten gering sind, einen Rohstoff durch qualitativ und preislich vergleichbare Rohstoffe oder besser verfügbare Rohstoffe zu ersetzen, erhöht dies die Rohstoffkritikalität zusätzlich.

Durch die Kombination der beiden ersten Kriterien lassen sich die Rohstoffe nach geringer, moderater und hoher Kritikalität unterteilen. Rohstoffe mit einer besonders hohen Kritikalität kommen in zahlreichen Schlüsseltechnologien zum Einsatz und weisen gleichzeitig vergleichsweise große Beschaffungsrisiken aufgrund der geringen Diversifikation auf. Tabelle 2 zeigt die Zuordnung kritischer Rohstoffe der Chemieindustrie zu diesen Rohstoffgruppen.²⁰

Aus den 27 kritischen Rohstoffen und drei kritischen Rohstoffgruppen gemäß EU-Studie²¹ lassen sich zehn Rohstoffe und drei Rohstoffgruppen identifizieren, die eine besonders hohe Kritikalität aufweisen und für die deutsche Chemieindustrie von großer Bedeutung sind. Tabelle 3 zeigt für diese Rohstoffe die Importabhängigkeit, Substitutionsfähigkeit sowie ihre Bedeutung für die oben genannten Schlüsseltechnologien.²²

Tabelle 1: Zukunftstechnologien im Transformationsprozess

3-D-Druck	Drohnen	Digitale Technologien
3-D-Druck hat das Potenzial, konventionelle Produktion in einigen Bereichen zu ersetzen. Dies führt zu veränderten Rohstoffbedarfen.	Drohnen (unbemannte Luftfahrzeuge) werden zunehmend sowohl für zivile als auch für militärische Anwendungen eingesetzt.	Halbleiter als Kern des digitalen Sektors (Elektronikindustrie, Computer u. a.) sind Grundlage zahlreicher anderer Schlüsseltechnologien.
Brennstoffzellen	Li-Ionen-Akkumulatoren	Robotik
Brennstoffzellen bergen großes Potenzial für die Dekarbonisierung des Energiesystems und des Verkehrssektors.	Lithium-Ionen-Akkumulatoren sind Kernbestandteil der E-Mobilität und dienen als Pufferspeicher bei der intermittierenden Stromerzeugung.	Robotik hat in der Fertigung eine stark zunehmende Bedeutung, u. a. bei Anwendungen von Luft- und Raumfahrt, Energie und Automobil.
Fotovoltaik (PV)	Elektrische Traktionsmotoren	Windenergie
Fotovoltaik trägt zur Umgestaltung des globalen Elektrizitätssektors bei und ist darüber hinaus für Weltraumanwendungen relevant.	Elektrische Traktionsmotoren sind zentrale Komponenten in Elektrofahrzeugen.	Windenergie ist bereits heute eine der kosteneffizientesten erneuerbaren Energietechnologien zur Eindämmung des Klimawandels.

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an EU Commission 2020, S. 8, und ifo-Institut 2022, S. 12

¹⁹ Vgl. European Commission 2020 und ifo-Institut 2022, S. 2.

²⁰ Vgl. ifo-Institut 2022, S. 2, ergänzt um Vanadium, Wolfram und sonstige Platingruppenmetalle gemäß Stiftung Arbeit und Umwelt der IGBCE 2023, S. 15.

²¹ Vgl. Europäische Kommission 2020, S. 20 ff.

²² Vgl. ifo-Institut 2022, S. 13. Die dargestellten Rohstoffe basieren auf der EU-Liste kritischer Rohstoffe mit Stand 2020.

Tabelle 2: Rohstoffgruppenbildung mittels Zulieferkonzentration und Anwendungsvielfalt

Kritikalität	Lieferquellen Deutschlands	Verwendung in Schlüsseltechnologien	Rohstoffe
gering	diversifiziert	gering	Fluor, Gallium, Germanium, Indium, Palladium
moderat	konzentriert	gering	Antimon, Phosphor, Tantal, Strontium, Platin, Rhodium
hoch	konzentriert	hoch (> 50 %)	Borate, Kobalt, Lithium, Magnesium, Graphit, Niob, Silicium, Titan, Vanadium, Wolfram, REE, sonstige PGM

Quelle: Eigene Darstellung mit Daten von ifo-Institut 2022, S. 2, und Stiftung Arbeit und Umwelt der IGBCE 2023, S. 15

Tabelle 3: Kritische Rohstoffe für die Produktion von Zukunftstechnologien im Transformationsprozess

Kritische Rohstoffe der Chemieindustrie mit Anwendung in vier oder mehr Schlüsseltechnologien	Indikatoren			Schlüsseltechnologien								
	Import-abhängigkeit	Substitution (SI _{El})	Substitution (SI _{St})	3-D-Druck	Drohnen	Digitale Technologien	Brennstoffzellen	Li-Ionen-Akkus	Robotik	Fotovoltaik	Elektromotoren	Windenergie
(1) Borate	100 %	1,00	1,00		X	X	X		X	X	X	X
(2) Kobalt	86 %	1,00	1,00	X	X	X	X	X	X			
(3) Lithium	100 %	n. a.	n. a.		X	X	X	X	X			
(4) Magnesium (Metall)	100 %	0,91	0,91	X	X	X	X		X			
(5) Naturgraphit	98 %	0,95	0,97		X	X	X	X	X			
(6) Niob	100 %	0,91	0,94	X	X			X	X			X
(7) Silicium (Metall)	63 %	0,99	0,99	X	X	X	X	X	X	X	X	
(8) Titan	100 %	n. a.	n. a.	X	X	X	X	X	X			
(9) Vanadium	n. a.	0,91	0,94	X	X		X		X			
(10) Wolfram	n. a.	0,94	0,97	X	X	X			X			
(11) Schwere Seltene Erden	100 %	0,96	0,89		X	X	X		X		X	X
(12) Leichte Seltene Erden	100 %	0,90	0,93		X	X	X		X		X	X
(13) Platingruppenmetalle	100 %	0,93	0,98		X	X	X		X			

Quelle: Eigene Darstellung mit Daten von EU-Kommission 2020, S. 20 ff. und ifo-Institut 2022, S. 13 f.

3.3 SWOT-Branchenanalyse im Kontext der industriellen Transformation

Auf Basis der zuvor betrachteten Rohstoffrelevanz und -situation auf der Beschaffungsseite und der zukunftsweisenden Schlüsseltechnologien auf der Verwendungsseite werden durch die SWOT-Analyse beide Seiten zusammengeführt. In Tabelle 4 werden hierfür brancheninterne Stärken und Schwächen der Chemieindustrie sowie branchenexterne Chancen und Risiken im Kontext der industriellen Transformation thematisiert.

Die Analyse der brancheninternen und -externen Aspekte im Kontext der industriellen Transformation erlaubt es, strategische Handlungsmaßnahmen abzuleiten, deren Umsetzung erforderlich ist, um die Rohstoffversorgung der chemischen Industrie in Deutschland dauerhaft zu gewährleisten, damit sie ihre zentrale Rolle im Transformationsprozess wahrnehmen kann. Die verschiedenen Handlungsoptionen sollen im folgenden Kapitel näher beleuchtet werden.

Tabelle 4: SWOT-Analyse der deutschen Chemieindustrie im Kontext der industriellen Transformation

Stärken („Strengths“)	Schwächen („Weaknesses“)
<p>Beschaffungsseitig:</p> <ul style="list-style-type: none"> + Ressourcenschonende Produktionsverfahren und effizienter Rohstoffeinsatz in der Produktion der Grundstoff- und Spezialchemie. + Maßnahmen zum Rohstoffrecycling und zur Etablierung einer Kreislaufwirtschaft in der chemischen Industrie werden intensiviert. <p>Anwendungsseitig:</p> <ul style="list-style-type: none"> + Hohe Innovationsfähigkeit und Forschungsintensität macht Chemieindustrie zur Schlüsselindustrie für zahlreiche nachgelagerte Industrien. + Anwendungsorientierte Forschungskooperationen und leistungsfähige Brancheninfrastruktur (Chemieparcs) sichern Wettbewerbsfähigkeit. 	<p>Beschaffungsseitig:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hohe Abhängigkeit von kritischen Rohstoffen (i. e. mit gleichzeitig hoher Marktkonzentration und hoher Bedeutung für Zukunftstechnologien). - Hohe Abhängigkeit von Weltmarktpreisen für Rohstoffe, die aufgrund von Ereignissen mit Einfluss auf das beschränkte Angebot sehr volatil sein können. <p>Anwendungsseitig:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hohe Abhängigkeit von Transformationstrends und Anwenderindustrien (z. B. Elektromobilität: Automobilindustrie, Digitalisierung: Halbleiterindustrie, Energiewende: Fotovoltaikindustrie). - Geringe Diversifikationsmöglichkeiten und globaler Wettbewerbsdruck der Grundstoffchemie.
Chancen („Opportunities“)	Risiken („Threats“)
<p>Beschaffungsseitig:</p> <ul style="list-style-type: none"> + Diversifikation der Lieferländer durch Aufbau neuer Rohstoffpartnerschaften i. V. m. neuen Lieferverträgen. + Exploration/Exploitation heimischer Rohstoffvorkommen zur Steigerung der Unabhängigkeit. + Substitution kritischer Rohstoffe durch Werkstoffe mit vergleichbaren Eigenschaften/Kosten. <p>Anwendungsseitig:</p> <ul style="list-style-type: none"> + Globale Wettbewerbsvorteile der Chemieindustrie durch einzigartige Schlüsseltechnologien. + Wiederansiedlung von Anwenderindustrien der Schlüsseltechnologien (z. B. PV, Chipproduktion durch Infineon, Batterieherstellung/-recycling durch BASF). 	<p>Beschaffungsseitig:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Geopolitische Konflikte mit Handelssanktionen (Russland) und Spannungen (China) mit Exportbeschränkungen, Rohstoffverknappung, -verteuerung. - Fragilität globaler Lieferketten, die z. B. während der Pandemie zu Lieferengpässen führte. <p>Anwendungsseitig:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Standortbedingungen (z. B. Energiepolitik, Umweltauflagen, Regulierungen) bergen das Risiko der Abwanderung der Chemieindustrie ins Ausland. - Abwanderung letzter in Deutschland und in der EU verbliebener Anwenderindustrien ins Ausland (z. B. Fotovoltaik (PV), Windenergie, Halbleiter).

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Stiftung Arbeit und Umwelt der IGBCE 2021

4

4. Herausforderungen und Lösungsansätze

4.1 Importabhängigkeit und Diversifikationsmöglichkeiten (Länder)

Die Darstellung der branchenspezifischen Rohstoffrelevanz und -situation der Chemieindustrie in Deutschland in Abschnitt 3.1 hat gezeigt, dass die Importabhängigkeit bei einem Großteil der von der chemischen Industrie benötigten kritischen Rohstoffe bei 100 Prozent liegt. Diese Tatsache unterstreicht einerseits die Bedeutung einer hohen Versorgungssicherheit mit kritischen Rohstoffen aus dem Ausland und verdeutlicht andererseits das Risiko einer hohen Abhängigkeit von einem oder wenigen Lieferländern. Im Fall von externen Schocks wie militärischen Konflikten, zwischenstaatlichen Spannungen, Naturkatastrophen oder Pandemien können sich die globalen Lieferketten als fragil erweisen und die Gefahr abrupter Lieferkettenunterbrechungen bergen.

Am Beispiel der Seltenen Erden lässt sich das Problem der hohen und hoch konzentrierten Importabhängigkeit anhand von zwei Ereignissen in den vergangenen 15 Jahren verdeutlichen: Sowohl die Drosselung der Exporte von Seltenen Erden durch China im Jahr 2010 als auch die pandemiebedingten Lockdowns in China im Jahr 2020 offenbarten die Verletzlichkeit der europäisch-chinesischen Rohstofflieferketten.²³ Die Importabhängigkeit Deutschlands für Seltene Erden beträgt 100 Prozent. Gleichzeitig ist die Länderkonzentration bei dieser Rohstoffgruppe sehr hoch, aktuell bezieht Deutschland rund 66 Prozent seiner Importe aus China.²⁴ Auf China entfallen etwa 58 Prozent der globalen Förderung und 37 Prozent der globalen Reserven.

Die EU ist bei 14 von 30 kritischen Rohstoffen faktisch vollständig und bei drei weiteren kritischen Rohstoffen zu mehr als 95 Prozent von außereuropäischen Importen abhängig, vor allem von China. Deshalb verfolgt Deutschland als Teil der EU das Ziel, bis zum Jahr 2030

bei keinem der strategisch wichtigen Rohstoffe zu mehr als 65 Prozent von einem einzelnen Drittland abhängig zu sein.²⁵ Eine wirksame Maßnahme, um die hohe Importabhängigkeit von einzelnen Lieferländern zu reduzieren, ist es, neue Lieferquellen zu erschließen und damit die Rohstoffbezugsquellen zu diversifizieren.²⁶

Zur Sicherung des Zugangs zu kritischen Rohstoffen im intensiven globalen Wettbewerb und zur Reduzierung der hohen Importabhängigkeit von China haben die Bundesregierung und die EU beschlossen, neue strategische Partnerschaften im Rohstoffsektor aufzubauen und bestehende Lieferbeziehungen zu vertiefen.²⁷ Zusätzlich zur Sicherung einer resilienten Rohstoffversorgung durch die Diversifikation der Lieferketten verfolgen Deutschland und die EU das Ziel, hohe Umwelt- und Sozialstandards im Rahmen der neuen Rohstoffkooperationen zu etablieren. Vor diesem Hintergrund wird vorgeschlagen, verschiedene **Rohstoffkooperationsmodelle** im Rahmen einer strategischen Rohstoffaußenpolitik anzubieten, die Aspekte der Umwelt- und Menschenrechtsstandards in den Partner- und Kooperationsländern berücksichtigen.²⁸ Tabelle 5 veranschaulicht die Unterschiede und potenzielle Adressaten dieser Modelle.

Um die Interessen Deutschlands und der EU im globalen Rohstoffwettbewerb bestmöglich durchzusetzen, kann schließlich eine gemeinsame Rohstoffbeschaffung sinnvoll sein. In Abschnitt 4.5 wird dieser Vorschlag anhand einer beispielhaften EU-Rohstoffagentur detailliert erläutert.

4.2 Heimische Vorkommen und Explorationsmöglichkeiten (Bergbau)

Eine weitere Möglichkeit zur Erlangung einer größeren Unabhängigkeit von außereuropäischen Lieferländern ist, heimische Rohstoffvorkommen verstärkt zu nutzen.²⁹

²³ Vgl. Hanns-Seidel-Stiftung 2019 und SWP 2023b.

²⁴ Bezogen auf den Zeitraum 2020–2022. Vgl. auch im Folgenden Stiftung Arbeit und Umwelt der IGBCE 2023, S. 120.

²⁵ Vgl. Europäische Kommission 2023.

²⁶ Vgl. SWP 2022b. Die Länderbeispiele erheben als ergänzende Erläuterung keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

²⁷ Vgl. SWP 2022b.

²⁸ Vgl. SWP 2023a.

²⁹ Vgl. SWP 2022a; SWP 2022a und Fraunhofer-ISI 2015.

Die EU hat daher das Ziel, bekannte europäische Rohstoffvorkommen zu fördern und neue europäische Rohstoffvorkommen zu erkunden. Bis zum Jahr 2030 sollen mindestens 10 Prozent der von der EU benötigten kritischen Rohstoffe in der EU abgebaut werden.³⁰ Durch die Förderung des heimischen Rohstoffabbaus wird die EU ihre Importabhängigkeit zwar vermindern können, aber auch in Zukunft auf Importe kritischer Rohstoffe aus Drittländern angewiesen sein. Die Förderung des innereuropäischen Rohstoffabbaus flankiert die Diversifikation der Lieferländer (siehe Abschnitt 4.1).

Die EU verfügt über verschiedene Vorkommen kritischer Rohstoffe auf ihrem Territorium. Tabelle 6 zeigt

einen Überblick über diese Vorkommen nach Rohstoff und Land. Vor der Förderung dieser Rohstoffvorkommen müssen jedoch einige **Hürden** zeitlicher, wirtschaftlicher, ökologischer, sozialer und gesellschaftlicher Art überwunden werden – und daran kann die Förderung auch grundsätzlich scheitern, wie der Lithium-Streit in Serbien im Jahr 2021 verdeutlichte.³¹ Auch ist der Erkundungsbedarf immens.³²

Aus **zeitlicher Perspektive** können von der Entdeckung bis zur Förderung der Rohstoffe aufgrund der hohen Komplexität von Bergbauprojekten mehrere Jahre oder sogar Jahrzehnte vergehen. Im Fall des jüngst entdeckten Vorkommens Seltener Erden im schwedischen Kiru-

Tabelle 5: Rohstoffkooperationsmodelle im Rahmen einer strategischen Rohstoffaußenpolitik

Modell	Potenzielle Adressaten, Anmerkungen	Länderbeispiele
1. Rohstoffpartnerschaften	Ausgewählte Partner, mit denen hohe Nachhaltigkeits- und Menschenrechtsstandards realistisch umgesetzt werden können. Dient als Gütesiegel für vorbildliche Kooperationen.	<ul style="list-style-type: none"> • USA • Kanada • Australien • Südafrika (perspektivisch) • Chile (perspektivisch)
2. Punktuelle Kooperation im Rohstoffsektor	Länder, die rohstoffwirtschaftlich relevant, aber für Partnerschaften (noch) ungeeignet sind; die Voraussetzungen aber perspektivisch erfüllen könnten. Schwerpunkte möglicher Zusammenarbeit sind vielfältig (Ausbildung, Exploration, Recycling).	<ul style="list-style-type: none"> • Indien • Saudi-Arabien • China • Bolivien
3. Stärkung regionaler Kooperationsansätze	Eher schwierig einzubindende Länder; dienen dazu, das Risiko des sich verschärfenden Wettbewerbs zwischen rohstoffreichen Staaten bis hin zum Ressourcennationalismus zu verringern.	<ul style="list-style-type: none"> • Sambia • DR Kongo • Indonesien

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an SWP 2023a

Tabelle 6: Rohstoffvorkommen innerhalb der EU (Auszug)

Rohstoff	Länder	Anmerkungen und Besonderheiten
Antimon	Deutschland, Portugal, Schweden, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik	Spanien ist größter Antimonproduzent der EU.
Lithium	Deutschland, Finnland, Österreich, Portugal, Schweden, Serbien, Spanien	Im Oberrheingraben liegt Schätzungen zufolge das größte Lithiumvorkommen Europas.
Niob	Finnland, Norwegen, Schweden	Finnland verfügt über eines der größten (kommerziell nicht genutzten) Niobvorkommen Europas.
Wolfram	Österreich, Portugal, Spanien, Tschechische Republik	Angesichts wachsender Nachfrage und Knappheit ist der Wolfram-Bergbau in Europa wieder rentabel.
Seltene Erden	Finnland, Schweden	In Schweden wurde 2023 das vermutlich größte Vorkommen Seltener Erden in Europa entdeckt.

Quelle: Eigene Darstellung

³⁰ Vgl. Europäische Kommission 2023.

³¹ Vgl. mdr 2021.

³² Vgl. Werner 2012, S. 84 f. und Lewicka et al. 2021, S. 10 ff.

na werden von der Beantragung der Abbaukonzession bis zum Start des Rohstoffabbaus durch das schwedische Bergbauunternehmen LKAB schätzungsweise 10 bis 15 Jahre veranschlagt.³³

Eng hiermit verbunden ist die **wirtschaftliche Perspektive**, in deren Fokus die Größe des Rohstoffvorkommens, die Wertmineralgehalte des Rohstofflagers, sonstige geologische Rahmenbedingungen sowie technische Anforderungen stehen. Hinzu kommen behördliche Genehmigungsverfahren, die kompliziert und langwierig sein können. Derartige Aspekte sind entscheidend für die Frage der kommerziellen Rohstoffförderung und wirtschaftlichen Rentabilität. Bis die Rohstoffförderung aus potenziell interessanten Lagerstätten beginnen kann, sind erhebliche Investitionen unter anderem für die Erkundung der Rohstoffvorkommen, vor allem aber für die Errichtung und Inbetriebnahme der Infrastruktur zur Gewinnung und zur Aufbereitung erforderlich. Dies zeigt sich exemplarisch an der Erschließung von Lithiumvorkommen im Erzgebirge durch das britische Unternehmen Zinnwald Lithium und die niederländisch-amerikanische Advanced Metallurgical Group, die zusammen bereits über 30 Millionen Euro investiert haben. Mit dem Start des kommerziellen Abbaus rechnen die Unternehmen frühestens Ende 2026.³⁴

Neben zeitlichen und wirtschaftlichen Aspekten spielt die Einhaltung von **Nachhaltigkeitsstandards** eine wesentliche Rolle bei der (heimischen) Rohstoffförderung. Denn die außereuropäische Rohstoffförderung basiert im Vergleich zur innereuropäischen Rohstoffförderung häufig auf geringeren ökologischen und sozialen Standards. So erfüllen die Umwelt- und Sozialstandards Chinas, das als wichtigster Rohstofflieferant der EU gilt, die hohen Anforderungen des EU-Lieferkettensorgfaltspflichtengesetzes und des Europäischen Grünen Deals nicht.³⁵ Daher sollte der innereuropäische Bergbau, der den Einsatz umweltschonender Abbauverfahren und die Einhaltung von Arbeitsschutzstandards verspricht, gegenüber dem außereuropäischen Bergbau mit niedrigen Umwelt- und Sozialstandards bevorzugt und entsprechend gefördert werden.³⁶

Bei der beabsichtigten Intensivierung des innereuropäischen Rohstoffabbaus sind schließlich auch **gesellschaftliche Aspekte** zu berücksichtigen, da entsprechende Bergbauprojekte in der Regel mit Bedenken und Protesten

der Bevölkerung einhergehen und an deren Widerstand scheitern können.³⁷ Behörden und Betreiber der Bergbauprojekte müssen dies berücksichtigen und können hierauf durch transparente Kommunikation und die Einbindung regionaler und überregionaler Interessengruppen wie Bürgervereinigungen und Umweltverbänden reagieren.

Zur Steigerung der wirtschaftlichen Attraktivität der nationalen Rohstoffgewinnung und der Rohstoffsicherung im Bereich der strategisch wichtigen Rohstoffe kann der Einsatz geeigneter **staatlicher Instrumente** zielführend sein. Hierzu zählt die finanzielle Unterstützung von Unternehmen bei Rohstoffprojekten in Form einer Stärkung der Kapitalbasis durch Kreditvergaben oder Eigenkapitalanlagen. Denkbar, aufgrund der hohen Unsicherheiten allerdings schwierig umzusetzen, ist auch die Übernahme von Haftungsgarantien im frühen Projektverlauf bei Erkundungs- und Erschließungsprojekten im Gegenzug für vertraglich fixierte Versorgungsgarantien.³⁸ Zudem können eine Subventionierung der heimischen Rohstoffgewinnung oder Investitionsförderung im Bereich der Zukunftrohstoffe wichtige Impulse entfalten.³⁹

Öffentliche und privatwirtschaftliche Bergbauprojekte und -akteure können durch staatlich gegründete und verankerte Rohstoffagenturen eine ergänzende Unterstützung erfahren. Als operativ tätige Institutionen bieten Rohstoffagenturen verschiedenen Stakeholdergruppen ein Informations- und Beratungsangebot rund um das Thema Rohstoffversorgungssicherheit. Auch die Deutsche Rohstoffagentur (DERA) berät die deutsche Wirtschaft in Fragen der Verfügbarkeit und nachhaltigen Nutzung von Rohstoffen sowie zu aktuellen Marktentwicklungen.⁴⁰ Beispiele aus Ländern wie Japan zeigen, dass die Rolle der staatlichen Rohstoffagenturen weitreichend sein kann. In Abschnitt 4.5 wird das Potenzial einer gemeinschaftlichen EU-Rohstoffagentur evaluiert.

Die rohstoffgewinnende Industrie in Deutschland trägt ebenfalls zur Erhöhung der Rohstoffversorgungssicherheit, zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit und zum Erhalt durchgängiger Wertschöpfungsketten bei, verbunden mit der Sicherung von Beschäftigung und Produktion am Standort Deutschland. Der heimische Bergbau erfüllt als verlässlicher Ressourcenlieferant der weiterverarbeitenden Industrie eine Schlüsselfunktion. Gleichzeitig

³³ Vgl. LKAB 2023.

³⁴ Vgl. Zinnwald Lithium plc 2023, S. 1.

³⁵ Vgl. SWP 2023b.

³⁶ Vgl. EY 2022.

³⁷ Siehe z. B. zum Lithiumabbau in Deutschland Tagesschau 2022 oder in Serbien mdr 2021.

³⁸ In frühen Projektstadien ist die Informationslage bezüglich verfügbarer Mengen und Qualitäten meist zu schlecht, um Liefergarantien zu geben.

³⁹ Vgl. EY 2022.

⁴⁰ Vgl. DERA 2020.

benötigt er für seine bergbaulichen Aktivitäten unter anderem leistungsfähige Maschinen und qualifiziertes Personal. Neben den direkten Effekten auf Wertschöpfung, Produktion, Beschäftigung und Einkommen, die in der rohstoffgewinnenden Industrie selbst entstehen, sind indirekte Effekte in den bergbaulichen Zulieferbetrieben des Investitionsgüterproduzierenden Gewerbes sowie auf der Abnehmerseite in den weiterverarbeitenden Industriebetrieben von erheblicher Bedeutung.⁴¹

Aus den genannten Gründen ist es empfehlenswert, die zeitlichen und finanziellen, die umwelt- und sozialpolitischen sowie die institutionellen und genehmigungsrechtlichen Rahmenbedingungen am Standort Deutschland so zu gestalten, dass ein wettbewerbsfähiger Abbau von kritischen Rohstoffen durch die rohstoffgewinnende Industrie in Deutschland langfristig möglich ist und die dafür erforderlichen Technologien und Kompetenzen dauerhaft gesichert sind.⁴²

4.3 Substitutionsmöglichkeiten und Materialeinsatz (Rohstoffe)

Weitere naheliegende Ansätze zum Abbau von Abhängigkeiten betreffen den **effizienteren Umgang** mit Rohstoffen und die **Reduktion eingesetzter Mengen** bis hin zur **vollständigen Substitution** durch andere Materialien und Technologien.⁴³ Diese Ausweichstrategien

bergen jedoch je nach Ersatzrohstoff wiederum das Risiko neuer Abhängigkeiten, zusätzlicher Kosten und verminderter Qualitäten.⁴⁴ Ein erfolgreiches Beispiel der vergangenen Jahre ist die Umstellung von Energiesparlampen auf LEDs, die nur noch einen Bruchteil an Schweren Seltenen Erden benötigen. Auch die sukzessive Reduktion von Kobalt in Traktionsbatterien für Elektromobilität senkt die Nachfrage nach teuren, konfliktträchtigen Materialien.⁴⁵

Für die meisten Anwendungen in der Chemieindustrie sind allerdings bereits per Definition technisch und wirtschaftlich gleichwertige Ersatzstoffe **kaum bekannt oder konkurrenzfähig**. Tabelle 7 zeigt einige potenzielle Substitute für kritische Rohstoffe nach Anwendungsfall.

Sämtliche der genannten theoretischen Alternativen haben zum heutigen Stand eine erheblich schlechtere Qualität und/oder einen höheren Preis als der Originalrohstoff, weshalb ein Ersatz aktuell nicht wünschenswert ist. Hinzu kommt zum einen, dass mögliche Substitute teils selbst wiederum kritische Rohstoffe (bspw. Titan) und somit kaum besser verfügbar sind. Zum anderen ist der Ersatz in der Chemieindustrie gerade für den häufigen Anwendungsfall als Industriekatalysator aufgrund der hohen Spezifität der eingesetzten Materialien technisch äußerst schwierig.⁴⁶

Tabelle 7: Mögliche Substitute für Rohstoffe der chemischen Industrie nach Anwendungsfall

Rohstoff	Anwendungsfall	Potenzielle Substitute
Antimon	Flammschutzmittel	Aluminium-/Magnesiumhydroxid, Zink-/Boroxide
	Katalysatoren (bspw. PET-Produktion)	Titan
Flussspat	Flusssäure (Säurespat)	Hexafluoridkieselsäure, Natriumfluorid, Natriumhexafluorosilicat
Kobalt	Katalysatoren (bspw. PTA-Produktion)	Ruthenium, Molybdän, Nickel, Rhodium, Wolfram
Naturgraphit	feuerfeste Werkstoffe	Siliciumcarbid, Zirkonia, Silicium-Aluminiumoxid-Nitrid
Tantal	Anlagenbau	Niob, Glas, Platin, Titan, Zirconium
Titan	Anlagenbau	Aluminium, Nickel, Spezialstähle, Zirconium
Wolfram	Anlagenbau	Molybdän
PGM	Katalysatoren (vielfältig)	nur untereinander, theoretisch auch Nickel
Seltene Erden	Katalysatoren (vielfältig)	keine bekannt

Quelle: Stiftung Arbeit und Umwelt der IGBCE 2023, S. 45 ff., ergänzt um Espinoza et al. 2015, S. 5 ff.

⁴¹ Vgl. Hans-Böckler-Stiftung 2016.

⁴² Vgl. Hans-Böckler-Stiftung 2016.

⁴³ Vgl. umfangreich UBA 2019.

⁴⁴ Vgl. auch im Folgenden DERA 2014, S. 33 f.

⁴⁵ Vgl. Hanns-Seidel-Stiftung 2019, S. 37 f.

⁴⁶ Vgl. UBA 2019, S. 109.

Aus diesem Grund liegt der **Schwerpunkt der aktuellen Forschung** zur Substitution kritischer Rohstoffe der Chemieindustrie vor allem auf dem Ersatz fossiler Energierohstoffe wie Erdöl, Erdgas und Kohle durch **Wasserstoff** sowie auf der Nutzung von **Biomasse** als nachwachsendem Grundstoff zur stofflichen und energetischen Nutzung.⁴⁷ Für viele kritische Rohstoffe sind mit dem heutigen Stand der Technik andere Lösungsansätze unumgänglich, um die Versorgungssicherheit sinnvoll zu erhöhen: So ist beispielsweise im Bereich der Industriekatalysatoren Recycling vergleichsweise stark verbreitet.⁴⁸

Weitere Forschung zu möglichen Substituten bleibt damit auch in Zukunft erforderlich. In der Vergangenheit zeigte sich bei Themen mit hoher industriepolitischer Bedeutung (wie bei seltenen oder teuren Rohstoffen) durchaus eine Autonomie der Industrie hinsichtlich Effizienzsteigerungen und Substitutionsmöglichkeiten, die durch geeignete staatliche Forschungsförderung sinnvoll unterstützt werden könnte.⁴⁹ Um mit Blick auf die Zukunft mögliche Rohstoffengpässe vorwegzunehmen, erscheint es zudem naheliegend, auch für aktuell gut verfügbare Rohstoffe wie Naturgraphit bereits heute entsprechende Ausweichstrategien zu entwickeln und, soweit erforderlich, eine Zulassung für Ersatzprodukte zu beantragen.⁵⁰

4.4 Kreislaufwirtschaft und Recyclingmöglichkeiten (Lebenszyklus)

Aufgrund der endlichen Ressourcen in der Erdkruste sind wirkungsvolle Recyclingverfahren unabhängig vom genutzten Rohstoff langfristig unvermeidlich. So hat auch die EU jüngst das Ziel formuliert, bis zum Jahr 2030 mindestens 20 Prozent der von der EU benötigten kritischen Rohstoffe durch Wiederverwertung bereitzustellen.⁵¹

Hohe Recyclingquoten tragen maßgeblich dazu bei, Abhängigkeiten zu reduzieren und die Versorgungssicherheit zu erhöhen. Darüber hinaus sind sie auch aus ökologischer wie sozialer Perspektive gegenüber der Primärförderung aufgrund der in Abschnitt 4.2 genannten Gründe erstrebenswert.⁵² Insofern sollte unter **heimischer Versorgung** nicht nur Bergbau innerhalb der EU und in europäischen Drittländern verstanden werden, sondern auch die heimische Wiederverwertung bereits extrahierter (ursprünglich gegebenenfalls importierter) Materialien.

Um ein solches heimisches Recycling wettbewerbsfähig zu machen und erneute Abhängigkeiten auf dem Markt für Sekundärrohstoffe zu vermeiden, werden Maßnahmen wie Exportbeschränkungen diskutiert, beispielsweise in Form von Zöllen auf (Elektronik-)Schrott.⁵³

Ein wesentlicher Baustein des Transformationsprozesses ist die Berücksichtigung der Kreislaufwirtschaft bereits bei der Gestaltung von Produkten und bei der Nutzung in (chemischen) Prozessen, wo immer das technisch möglich ist.⁵⁴ Theoretisch lassen sich die meisten der kritischen Rohstoffe – teils sogar mit geringerem Energieaufwand – recyceln, da es sich im Allgemeinen um Gebrauchsgüter, und nicht um Verbrauchsgüter handelt.⁵⁵ Eine prominente Ausnahme stellen offensichtliche Energierohstoffe wie Kohle dar. Praktisch unterliegt das Recycling jedoch wirtschaftlichen und technischen Einschränkungen. Kritische Rohstoffe der Chemieindustrie lassen sich je nach Anwendung in vier Recycling-Kategorien einordnen:⁵⁶

- **Kategorie 1: Recycling technisch und wirtschaftlich möglich**
Recyclingverfahren sind gut bekannt, technisch beherrschbar und qualitativ wie wirtschaftlich konkurrenzfähig. Für manche Rohstoffe ist ein Recycling sogar mit erheblich geringerem Energieaufwand verbunden (je nach Ursprung etwa Aluminium oder Magnesiummetall). Je nach Situation auf dem Markt für Primärrohstoffe ist das Recycling mehr oder weniger stark verbreitet.
- **Kategorie 2: Recycling nicht wirtschaftlich**
Recyclingverfahren sind auch im industriellen Maßstab grundsätzlich bekannt, jedoch technisch anspruchsvoll, energieaufwendig oder aus anderen Gründen nicht wirtschaftlich. Beispielsweise kann der Recyclingaufwand im Verhältnis zum aktuellen Marktpreis zu hoch sein, etwa aufgrund geringer Masseanteile im Ausgangsmaterial. Recycling ist daher gegenüber der Primärrohstoffgewinnung je nach Marktlage teurer und damit nicht oder nicht immer wirtschaftlich. Weitere Forschung kann die Prozessabläufe unter Umständen optimieren und Recycling potenziell konkurrenzfähig machen.

⁴⁷ Vgl. VCI 2023, S. 25 ff.; BGR 2022, S. 35 f. und Fraunhofer-IMWS 2017, S. 35.

⁴⁸ Vgl. UBA 2019, S. 109.

⁴⁹ Vgl. UBA 2019, S. 145 f.

⁵⁰ Vgl. DERA 2014, S. 33.

⁵¹ Vgl. EU-Commission 2023, S. 15.

⁵² Vgl. auch im Folgenden SWP 2022a, Seite 5.

⁵³ Vgl. Lewicka et al. 2021, S. 17.

⁵⁴ Vgl. z. B. BMBF 2012, S. 39.

⁵⁵ Vgl. Werner 2012, S. 85.

⁵⁶ Eigene Überlegungen basierend auf bestehenden Recyclingverfahren und -möglichkeiten.

- **Kategorie 3: Recycling nur mit Qualitätsverlust (Downcycling)**

Recycling ist technisch grundsätzlich möglich. Allerdings weist der Sekundärrohstoff aufgrund verfahrensbedingter Verunreinigungen oder struktureller Unterschiede eine geringere Qualität oder andere negative Eigenschaften gegenüber dem Primärmaterial auf. Dieser Umstand lässt sich mit derzeit bekannten Verfahren gar nicht oder nur mit erheblichem Aufwand beseitigen.⁵⁷ Solche Sekundärrohstoffe können dennoch für bestimmte Einsatzzwecke geeignet sein. Sie werden dann allerdings unter Umständen mit Preisabschlägen gehandelt, was Recycling unwirtschaftlich machen kann. Weitere Forschung kann möglicherweise bessere Recyclingverfahren hervorbringen, die diese Nachteile nicht aufweisen.

- **Kategorie 4: keine (industriellen) Recyclingverfahren bekannt**

Es sind keine beziehungsweise keine im industriellen Maßstab anwendbaren Recyclingverfahren bekannt. Eine weitere intensive Forschung ist grundsätzlich aussichtsreich, sofern zumindest theoretische Verfahren bekannt und/oder im Labormaßstab durchführbar sind. In einigen Fällen ist Recycling jedoch nach heutiger Kenntnis nicht möglich, etwa bei nicht löslichen chemischen oder mineralischen Verbindungen.⁵⁸

Tabelle 8: Zuordnung von Rohstoffen zu Recyclingklassen

Kategorie	Rohstoffe	Besonderheiten
Kategorie 1: Recycling wirtschaftlich	<ul style="list-style-type: none"> • Antimonblei • Bismut aus niedrigschmelzenden Loten • Borate (borhaltige Gläser) • Fluorit aus der Herstellung von Primäraluminium • Kobalt • Lithium • Magnesiummetall aus Neuschrott • Naturgraphit • Platingruppenmetalle aus Autoabgaskatalysatoren • Siliciummetall aus PV-Modulen • Tantal aus Neuschrott • Vanadium aus chemischen Prozesskatalysatoren • Wolfram 	Der Energieaufwand für Magnesiummetall aus Neuschrott beträgt nur 3 % gegenüber Primärmagnesium.
Kategorie 2: Recycling nicht oder nur begrenzt wirtschaftlich	<ul style="list-style-type: none"> • Antimon aus Kunststoffen • Baryt (Bohrspülungen) • Bismut aus Arzneimitteln und Pigmenten • Borate (Nd-Fe-B-Permanentmagnete) • Niob • Platingruppenmetalle (sonstige Anwendungen) • Metalle der Seltenen Erden • Siliciummetall (sonstige Anwendungen) 	Aufgrund der hohen Langlebigkeit von niobhaltigen Stählen findet Recycling aktuell nur in geringem Maßstab statt, da viele dieser Stähle noch in ihrem ersten Lebenszyklus gebunden sind.
Kategorie 3: Downcycling	<ul style="list-style-type: none"> • Magnesiummetall aus Altschrott • Fluorit aus Uranabfällen, Erdölalkylierung und Stahl 	
Kategorie 4: kein Recycling möglich/bekannt	<ul style="list-style-type: none"> • Antimon aus metallurgischen Anwendungen • Baryt (sonstige Anwendungen) • Borate (sonstige Anwendungen) • Fluorit (sonstige Anwendungen) • Phosphor/Phosphat • Strontium 	Recycling-Verfahren für Phosphat sind in Entwicklung, wirtschaftliche Umsetzungen jedoch nicht in Aussicht.

Quelle: Stiftung Arbeit und Umwelt der IGBCE 2023, S. 45 ff.; DECHEMA 2015, S. 14 ff. und USGS 2023, S. 32 ff.

⁵⁷ Vgl. für einige Beispiele Werner 2012, S. 85.

⁵⁸ Vgl. zur Erläuterung Werner 2012, S. 85.

Eine Einordnung in diese Kategorien ist nicht nur vom Rohstoff, sondern auch vom Ausgangs- und Zielprodukt des Recyclings abhängig. So kann beispielsweise **Antimon** sehr gut in Form von Antimonblei von und für Bleiakkus wiederverwertet werden (Kategorie 1). Antimon aus Kunststoffen ist aufgrund der geringen Masseanteile nur schwierig zu recyceln (Kategorie 2). Für eventuelle zukünftige metallurgische Anwendungen wiederum ist aktuell kein Recyclingverfahren bekannt (Kategorie 4). Tabelle 8 zeigt, welcher der Kategorien kritische Rohstoffe der Chemieindustrie zugeordnet werden.⁵⁹

Für kritische Rohstoffe der Chemieindustrie, die nach aktuellem Stand der Technik nicht wiedergewonnen werden können, ist es auch in Zukunft unumgänglich, neue Lagerstätten zu erschließen und gegebenenfalls weitere Forschung (zu Recycling oder Substituten) zu betreiben.

Insbesondere für **Phosphor beziehungsweise Phosphate**, für die als Rohstoffe mit mengenmäßiger Bedeutung für die Chemieindustrie keine Substitutionsmöglichkeiten bekannt sind, sind effiziente Recyclingverfahren von hohem Interesse. Da Phosphate vielfältig in der Landwirtschaft eingesetzt werden, steht vor allem eine Rückgewinnung aus Klärschlamm im Fokus. Seit einer 2017 erfolgten Reform der Klärschlammverordnung ist in Deutschland auch per Gesetz „eine Rückgewinnung von Phosphor [...] in den Wirtschaftskreislauf anzustreben“.⁶⁰ Obwohl Rückgewinnungsverfahren bereits seit der Jahrtausendwende in Entwicklung sind, existieren bis heute lediglich Pilotanlagen.⁶¹

Über mögliche technische oder wirtschaftliche Einschränkungen hinaus muss für ein mengenmäßig bedeutendes Recycling vieler kritischer Rohstoffe nicht zuletzt der bestehende Kreislaufprozess dringend verbessert werden. Dies betrifft vor allem die Sammlung und damit den Einbezug von Gesellschaft und Konsumenten. Aktuell werden viele Rohstoffe (beispielsweise aus Haushaltsgeräten) über den Müll entsorgt und damit einem möglichen Recyclingprozess gar nicht erst zugeführt.⁶² Ungeachtet der vielfältigen aktuellen Probleme und Herausforderungen ist ein wirkungsvolles Recycling (nicht nur) wertvoller Rohstoffe im Sinne einer nachhaltigen Wirtschaft langfristig jedoch schlicht alternativlos.

4.5 Bündelung der Anstrengungen in einer EU-Rohstoffagentur

Im Zusammenhang mit der staatlichen Rohstoffstrategie und -außenpolitik der EU und ihrer Mitgliedstaaten wird aktuell eine Debatte in Fach- und Politikkreisen geführt, in deren Mittelpunkt die Frage steht, wie sich die strategischen Rohstoffinteressen und -initiativen der EU und ihrer Mitgliedsstaaten im intensiven globalen Wettbewerb bestmöglich durch- und umsetzen lassen.⁶³

Hierbei steht auch die Etablierung eines **eigenständigen Akteurs** auf EU-Ebene im Fokus. Ein solcher Akteur müsste, um wirksam handeln zu können, mit einem (rohstoff-)politischen Handlungsauftrag, einem rechtlichen Mandat, einer zweckdienlichen Organisationsstruktur und finanziellen und personellen Ressourcen ausgestattet und auf den globalen Rohstoffmärkten tätig sein.⁶⁴

Die japanische Rohstoffagentur **Japan Organization for Metals and Energy Security (JOGMEC)** wird regelmäßig als Vorbild einer solchen **EU-Rohstoffagentur** erwähnt. Die JOGMEC sichert im Auftrag und in enger Abstimmung mit dem Staat und internationalen Partnern weltweit die für Japans Industrie erforderlichen Rohstoffe und ist an der Entwicklung von Rohstoffprojekten beteiligt.⁶⁵ Hierfür betätigt sie sich in verschiedenen Bereichen:⁶⁶

- Durchführung und Unterstützung geologischer Untersuchungen potenzieller Lagerstätten,
- Unterstützung der Exploration und Entwicklung heimischer Unternehmen durch die Bereitstellung von Eigenkapital und Haftungsgarantien,
- technologische Entwicklung und technische Unterstützung in allen Phasen der Rohstoffschließung,
- Betreuung nationaler Bevorratungsprogramme als Schutz vor Versorgungsunterbrechungen mit seltenen Metallen, die regional ungleichmäßig verteilt sind, und
- Entwicklung von Umweltschutzmaßnahmen und Projekten zur Verhinderung von Minenverschmutzung.

⁵⁹ Diese Einordnung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, der Übergang ist je nach Marktsituation fließend. Die dargestellten Rohstoffe basieren auf der EU-Liste kritischer Rohstoffe mit Stand 2020.

⁶⁰ § 3 Abs. 1 AbfKlärV.

⁶¹ Vgl. im Folgenden umfangreich DECHEMA 2017, S. 10 ff. sowie im Überblick DECHEMA 2015, S. 45 f. Zu Pilotanlagen siehe bspw. Phosphornetzwerk Schweiz (o. J.).

⁶² Vgl. auch im Folgenden Hanns-Seidel-Stiftung 2019, S. 39 ff.

⁶³ Vgl. Kullik, Gutzmer & Gramlich 2023.

⁶⁴ Vgl. Kullik, Gutzmer & Gramlich 2023.

⁶⁵ Vgl. JOGMEC 2023a; Kullik, Gutzmer & Gramlich 2023 und Hanns-Seidel-Stiftung 2019.

⁶⁶ Vgl. im Folgenden JOGMEC 2023b.

Als Umsetzungsvehikel leisten national verankerte und international agierende Rohstoffagenturen, die über entsprechende Kompetenzen und die erforderlichen personellen und finanziellen Ressourcen verfügen, einen wesentlichen Beitrag zur Steigerung der Versorgungssicherheit.⁶⁷

Dem Modell der JOGMEC folgend, könnte eine EU-Rohstoffagentur auf allen Stufen der Rohstoffwertkette tätig sein und je nach Ausprägung eine Vielzahl potenzieller Aufgabengebiete abdecken.⁶⁸ Abbildung 3 veranschaulicht mögliche Aufgabengebiete und ihre Zusammenhänge im Überblick.

Zentraler Ausgangspunkt für alle weiteren Aufgabengebiete ist die **Informationsgewinnung, -aufbereitung und -bereitstellung** für eigene Zwecke, Staat, Industrie und sonstige Interessensgruppen. Diese Tätigkeit umfasst zumindest die Marktbeobachtung relevanter Rohstoffe und Bedarfsanalysen für die versorgten Staaten und Industrien. Darüber hinaus würde die Aufnahme flächendeckender geophysikalischer und geochemischer Daten der EU weiteren möglichen Aufgabenfeldern (intern oder extern) dienen. Ebenso kann die Wissensgenerierung durch eigene Forschung und Entwicklung dazu zählen, etwa bezüglich effizienterer Rohstoffnutzung und -erschließung, Recycling- oder Substitutionsmöglichkeiten.

Auf Basis zuverlässiger Informationen können weitere Aufgabenfelder wie die Versorgung der EU-Staaten mit

Rohstoffen abgedeckt werden. So ist beispielsweise eine **gemeinsame Rohstoffbeschaffung** für alle EU-Staaten denkbar. Über den Einkauf (Import) hinaus könnte zudem eigenständige Projektentwicklung betrieben werden. Darunter fällt die Beurteilung und Begleitung **weltweiter Rohstoffprojekte** bereits ab der Erkundungsphase. Für vielversprechende Projekte kann eine Investition oder die Vermittlung von Beteiligungen in Betracht kommen,⁶⁹ weitere Projektunterstützung kann in Form von Beratung stattfinden. Damit die EU-Industrien von einer solchen Projektbegleitung profitieren, umfasst sie auch die Vermittlung von Lieferverträgen. Die Projektentwicklung kann sich außerdem auf die **Erschließung heimischer Lagerstätten** mit allen relevanten Teilbereichen wie Prospektion, Exploration, Gewinnung und Weiterverarbeitung erstrecken.

Diese koordinierte Rohstoffversorgung kann sinnvoll von **Vorratsbewirtschaftung** und beschaffungsbeziehungsweise projektnahem **ESG-Management** (Monitoring und Weiterentwicklung) flankiert werden. Aufgrund der hohen Kompetenz und angestrebten Informationskonzentration in einer solchen EU-Rohstoffagentur würden begleitende Tätigkeiten wie **Schulung und Beratung** (für EU-Organe, Nationalstaaten, Industrie), **Aus- und Weiterbildung** (an Hochschulen und in beruflicher Fortbildung), ein **Wiederverwertungsmanagement** oder auch die **Koordination** und Bündelung aller rohstoffbezogenen politischen Initiativen, Strategien und Maßnahmen das Aufgabenfeld abrunden.

Abbildung 3: Potenzielle Aufgabengebiete einer EU-Rohstoffagentur



Quelle: Eigene Darstellung

⁶⁷ Vgl. EY 2022.

⁶⁸ Vgl. im Folgenden Kullik, Gutzmer & Gramlich 2023 und Hanns-Seidel-Stiftung 2019, ergänzt um eigene Ansätze.

⁶⁹ Zu weiteren Möglichkeiten der (staatlichen) Unterstützung siehe auch Abschnitt 4.2.

Die genaue Ausgestaltung einer solchen EU-Rohstoffagentur nach japanischem Vorbild wie auch die politische Unterstützung für ein solches Vorhaben wären entsprechend zu evaluieren.⁷⁰ Insbesondere zur Umsetzung einer gemeinsamen Rohstoffbeschaffung müssen zunächst **vielfältige Fragestellungen** geklärt werden.⁷¹ Die Rahmenbedingungen für eine gemeinschaftliche EU-Rohstoffagentur erscheinen derzeit jedoch günstig, zumal die EU-Kommission bereits einige der genannten Aktivitäten plant und zugleich schon heute eine (in der Regel projektbezogene) Kooperation von EU-Rohstoffagenturen stattfindet.⁷²

Vor allem die gemeinsame Projektentwicklung und Rohstoffbeschaffung könnte nicht nur aufgrund der konzentrierten Marktmacht eine günstigere Verhandlungsposition und einen besseren Zugang zu Rohstoffen mit sich bringen. In diesem Kontext ist ein zentrales ESG-Management sinnvoll. Auch EU-weit einheitliche Informationssysteme, eine gemeinsame Forschung und Entwicklung sowie ein zentrales Wiederverwertungsmanagement bergen potenziell erhebliche Synergieeffekte, die die Rohstoffsicherheit erhöhen können. Vor dem Hintergrund deutlich unterschiedlicher Bedarfe der einzelnen Mitgliedsstaaten ist eine nationale Vorratsbewirtschaftung gegenüber einer EU-weiten Planung allerdings unter Umständen zielführender.

Ergänzend zu einer übergeordneten EU-Rohstoffagentur ist die Einrichtung untergeordneter **Rohstoffbüros** in den Mitgliedsstaaten naheliegend, die sich in erster Linie nationalen oder regionalen Aufgaben wie Informationsgewinnung und Bedarfsanalysen, Lagerhaltung sowie der Umsetzung nationaler Strategien und Interessen widmen. Für diesen Zweck könnten bestehende Einrichtungen wie die Deutsche Rohstoffagentur (DERA) auf- und ausgebaut werden.⁷³ Die DERA deckt bereits heute einige der genannten Aufgabenfelder ab, sie besitzt allerdings noch **keinen Handlungsauftrag**, der es ihr beispielsweise erlauben würde, auf den globalen Rohstoffmärkten eigenständig tätig zu werden.⁷⁴ Eine Koordination der einzelnen Rohstoffbüros durch die übergeordnete EU-Rohstoffagentur kann das Risiko vermeiden, dass Aktivitäten einzelner Staaten den Interessen anderer EU-Länder entgegenlaufen und den Rohstoffwettbewerb innerhalb der EU noch verschärfen.

⁷⁰ Vgl. dazu bspw. EY 2022, S. 100 ff.

⁷¹ Neben anderen Aspekten sind insbesondere die Planung der zu beschaffenden Rohstoffe, Mengen, Qualitäten und Verarbeitungsstufen nebst Preisen, potenziellen Abnehmern sowie Haftungs- und Finanzierungsfragen zu klären.

⁷² Vgl. auch im Folgenden EU-Kommission 2023a. Zur Kooperation von Rohstoffagenturen siehe bspw. BGR 2023.

⁷³ Die DERA wurde im Auftrag der Bundesregierung in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) im Oktober 2010 gegründet und ist die zentrale Inhouse-Forschungs- und Beratungseinrichtung der Bundesregierung im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).

⁷⁴ Vgl. Kullik, Gutzmer & Gramlich 2023.

5

5. Zusammenfassung

Die deutsche Industrie im Allgemeinen und die Chemieindustrie im Speziellen sind für ihre Prozesse und Produkte in hohem Maße auf Rohstoffe angewiesen. Gerade für viele Schlüsseltechnologien der Zukunft sind sogenannte kritische Rohstoffe zwingend erforderlich. Aus diesem Grund ist die globale Nachfrage nach diesen Rohstoffen perspektivisch als hoch einzustufen, wohingegen das Angebot an Primärrohstoffen nicht beliebig gesteigert werden kann.

Viele dieser Rohstoffe sind in Deutschland und der EU nicht oder nur in geringen Mengen vorhanden, was eine unabhängige Versorgung erschwert oder gar unmöglich macht. Hinzu kommt, dass die wenigen auch hierzulande verfügbaren Rohstoffe in der Vergangenheit aus unterschiedlichsten Gründen von außereuropäischen Partnern gegenüber dem heimischen Abbau günstiger oder in größeren Mengen angeboten und daher häufig bevorzugt wurden. Heimische Rohstoffprojekte wurden aufgrund der guten Verfügbarkeit günstiger Importe lange Zeit vernachlässigt oder waren nicht konkurrenzfähig.

Aus dieser Situation haben sich **umfangreiche Abhängigkeitsverhältnisse** entwickelt, die nicht selten auf nur wenigen Lieferanten fußen. Die Auswirkungen möglicher Lieferengpässe oder gar -embargos auf die Branchen der IGBCE wären enorm. Die COVID-19-Pandemie und weitere Krisen der jüngeren Vergangenheit verdeutlichten die Gefahren schwach diversifizierter Lieferketten.

Um das Beschaffungsrisiko kritischer Rohstoffe effektiv zu senken, kommt unbestritten nur eine eng verflochtene **Kombination der in dieser Studie aufgezeigten Lösungsansätze** infrage, deren Umsetzung **Staat wie Industrie Hand in Hand** vorantreiben müssen.⁷⁵ Eine wesentliche Herausforderung ist ohne Frage die gesellschaftliche und politische Akzeptanz heimischer Rohstoffprojekte.⁷⁶

Da heimische Reserven jedoch in keinem Szenario die gesamte projizierte Nachfrage decken können werden,

müssen auch angebotsseitige Maßnahmen zur Diversifikation der Lieferquellen ergriffen sowie rasch ein umfangreiches und funktionsfähiges Recyclingsystem etabliert werden. Weitere Forschung an Recycling- und Substitutionsmöglichkeiten sowie Effizienzsteigerungen sind unumgänglich, um diese Transformation der Rohstoffversorgung mittel- bis langfristig abzusichern.⁷⁷ Die EU-weite Bündelung all dieser Anstrengungen kann dabei erhebliche Synergieeffekte freisetzen und beinhaltet für alle beteiligten Länder und Industriezweige ein großes Potenzial zur Absicherung künftiger Rohstoffbedarfe, sodass die Gründung einer gemeinsamen **EU-Rohstoffagentur** nur empfohlen werden kann.

Sofern die in dieser Studie vorgestellten Lösungsansätze konsequent umgesetzt und bei Bedarf weiterentwickelt werden, erscheint es trotz vieler Herausforderungen möglich, die aktuell bestehenden Abhängigkeiten und Schwachstellen bei der Versorgung mit kritischen Rohstoffen mittel- bis langfristig spürbar zu reduzieren und die Versorgungssicherheit für die deutsche und europäische Industrie zu erhöhen.

⁷⁵ Vgl. auch iwd 2019.

⁷⁶ Vgl. BDI 2022.

⁷⁷ Für einen Überblick über Forschung zu Ressourcentechnologien in Deutschland siehe BMBF 2012, S. 13 ff.

Literaturverzeichnis

BDI (2022): Rohstoffe Made in Germany – Schlüssel für eine nachhaltige Wirtschaft. Berlin. <https://bdi.eu/artikel/news/rohstoffe-made-in-germany-schluesel-fuer-eine-nachhaltige-wirtschaft/>

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2022): Deutschland – Rohstoffsituation 2021. Hannover. https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/rohsit-2021.pdf;jsessionid=A6E451FF1365344F7DD58BE281A0D157.internet011?__blob=publicationFile&v=4

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2023): Seltene Erden: BGR an Untersuchungen in Kiruna beteiligt. Hannover. <https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Nachrichten/Aktuelles/2023/2023-01-18-seltene-erden-bgr-an-untersuchungen-in-kiruna-beteiligt.html>

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2012): Wirtschaftsstrategische Rohstoffe für den Hightech-Standort Deutschland. Bonn.

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2023): Gewinnung heimischer Rohstoffe / Bergrecht. Artikel Rohstoffe und Ressourcen vom 06.04.2023. <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Textsammlungen/Industrie/gewinnung-heimischer-rohstoffe.html>

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2021): Rohstoffe: Bergbau, Recycling, Ressourceneffizienz – wichtig für Wohlstand und Arbeitsplätze. München. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/rohstoffe-bergbau-recycling-ressourceneffizienz.pdf?__blob=publicationFile&v=18

Bundesregierung (2019): Rohstoffstrategie der Bundesregierung – Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nichtenergetischen mineralischen Rohstoffen. Berlin. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/rohstoffstrategie-der-bundesregierung.pdf?__blob=publicationFile&v=4

DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e. V. (2015): Anorganische Rohstoffe – Sicherung der Rohstoffbasis von morgen. Frankfurt am Main. https://dechema.de/dechema_media/Downloads/Positionspapiere/PP_Anorg_Rohstoffe_2015_11_FINAL_ezl-p-20001405.pdf

DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e. V. (2017): Phosphatrückgewinnung – Statuspapier der ProcessNet-Fachgruppe „Rohstoffe“. Frankfurt am Main. https://dechema.de/dechema_media/Downloads/Positionspapiere/Statuspap_Phosphat_2017_FINAL_NOV-p-20003290.pdf

Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2014): DERA-Rohstoffliste 2014. Berlin. https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-24.pdf?__blob=publicationFile&v=3

Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2016): Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2016. Berlin. https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/Studie_Zukunftstechnologien-2016.pdf?__blob=publicationFile&v=5

Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2020): 10 Jahre Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Berlin. https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/10-Jahre-DERA.pdf?__blob=publicationFile&v=6

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

(2021): Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2021. Berlin. https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-50.pdf?__blob=publicationFile&v=4

Dill, H. G./Röhling, S. (2007): Bodenschätze der Bundesrepublik Deutschland. Hannover. https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Nachrichten/Neuerscheinungen/2008_09_09_BSK1000.html?nn=1797618

Espinoza et al. (2015): CRM InnoNet substitution of critical raw materials. Brüssel. DOI: 10.24406/publica-fhg-298436. <https://doi.org/10.24406/publicafhg-298436>

Europäische Kommission (2020): Widerstandsfähigkeit der EU bei kritischen Rohstoffen: Einen Pfad hin zu größerer Sicherheit und Nachhaltigkeit abstecken. Brüssel. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0474&from=EN>

Europäische Kommission (2022): EU geht gegen Stahlsubventionen durch Ausfuhrbeschränkungen für Rohstoffe und gegen transnationale Subventionen Chinas vor. Brüssel. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/de/ip_22_1774/IP_22_1774_DE.pdf

Europäische Kommission (2023a): Kritische Rohstoffe: Sichere und nachhaltige Lieferketten für die grüne und die digitale Zukunft der EU gewährleisten. Brüssel. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/IP_23_1661

Europäische Kommission (2023b): Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Rahmens zur Gewährleistung einer sicheren und nachhaltigen Versorgung mit kritischen Rohstoffen und zur Änderung der Verordnungen (EU) 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 und (EU) 2019/1020. Brüssel. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52023PC0160>

European Commission (2020): Critical raw materials for strategic technologies and sectors in the EU – a foresight study. Publications Office of the European Union. Luxembourg. https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/CRMs_for_Strategic_Technologies_and_Sectors_in_the_EU_2020.pdf

European Commission (2023): 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. Brüssel. <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-10575-2023-INIT/en/pdf>

Ernst & Young GmbH (EY) (2022): Staatliche Instrumente zur Erhöhung der Versorgungssicherheit von mineralischen Rohstoffen. Ohne Ortsangabe. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/studie-staatliche-instrumente-versorgungssicherheit.pdf?__blob=publicationFile&v=4

Fraunhofer-IMWS – Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen (2017): Zukunftssicherung der chemischen Industrie unter besonderer Berücksichtigung sich verändernder Rahmenbedingungen / Rohstoffbezogene Handlungsszenarien – Optionen für die chemische Industrie in Sachsen-Anhalt. Halle (Saale). https://www.materials-economics.com/content/dam/imws/materials-economics/documents/2017%2012%2015_Studie%20Zukunftssicherung_final.pdf

Fraunhofer-ISI – Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (2015): Erhöhung der Rohstoff-Versorgungssicherheit durch die Arbeiten in der Fördermaßnahme r³. Karlsruhe. <https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/4dc7320e-04de-474a-8aac-37e014dc7c6b/content>

Fraunhofer-ISI – Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (2009): Rohstoffe für Zukunftstechnologien: Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffbedarfs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage. Karlsruhe. https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccn/2009/Schlussbericht_lang_20090515.pdf

Hanns-Seidel-Stiftung (2019): Versorgungssicherheit bei Kritischen Rohstoffen – Neue Herausforderungen durch Digitalisierung und Erneuerbare Energien. Aktuelle Analysen 73: München. https://www.hss.de/download/publications/AA_73_Versorgungssicherheit.pdf

Hans-Böckler-Stiftung (2016): Branchenanalyse Rohstoffindustrie. Study Nr. 315: Düsseldorf. https://www.boeckler.de/de/faust-detail.htm?sync_id=HBS-006299

- Hans-Böckler-Stiftung (2018):** Branchenanalyse Chemieindustrie. Study Nr. 395: Düsseldorf. https://www.boeckler.de/fpdf/HBS-006956/p_study_hbs_395.pdf
- Hoppenhaus, K. (2021):** Unterwegs in die Kreislaufwirtschaft: Phosphor-Recycling aus Klärschlamm. Ohne Ortsangabe. <https://www.riffreporter.de/de/umwelt/phosphor-recycling-klärschlamm>
- ifo-Institut (2022):** Wie abhängig ist Deutschland von Rohstoffimporten? Eine Analyse für die Produktion von Schlüsseltechnologien. München. https://www.ifo.de/DocDL/ifo-Studie_Rohstoffimporte.pdf
- Informationsdienst des Instituts der deutschen Wirtschaft (iwd) (2019):** Rohstoffversorgung – Deutschland braucht eine Rohstoffstrategie. Artikel vom 16.12.2019. <https://www.iwd.de/artikel/deutschland-braucht-eine-rohstoffstrategie-453865/>
- Institut der Deutschen Wirtschaft (IW) (2022):** Branchenportrait der Chemischen Industrie in Deutschland. Köln. https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Report/PDF/2022/IW-Report_2022-Chemie_Branchenportrait-neu.pdf
- Japan Organization for Metals and Energy Security (JOGMEC) (2023a):** Corporate Profile. Tokyo. <https://www.jogmec.go.jp/content/300382557.pdf>
- Japan Organization for Metals and Energy Security (JOGMEC) (2023b):** Metals. Tokyo. <https://www.jogmec.go.jp/english/metal/index.html>
- Kullik, J.; Gutzmer, J.; Gramlich, L. (2023):** Eine EU-Rohstoffagentur – Sinnvolles Instrument für die europäische Rohstoffsicherheit. In: SIRIUS – Zeitschrift für Strategische Analysen, Vol. 7, Nr. 2, 2023, S. 133–149. <https://doi.org/10.1515/sirius-2023-2003>
- Lewicka, E.; Guzik, K.; Galos, K. (2021):** On the Possibilities of Critical Raw Materials Production from the EU's Primary Sources., In: Resources 2021, Volume 10, Issue 5. DOI: 10.3390/resources10050050. <https://doi.org/10.3390/resources10050050>
- Luossavaara-Kiirunavaara Aktiebolag (LKAB) (2023):** Europe's largest deposit of rare earth metals is located in the Kiruna area. Artikel vom 12.01.2023. <https://lkab.com/en/press/europes-largest-deposit-of-rare-earth-metals-is-located-in-the-kiruna-area/>
- mdr (2021):** Lithium-Streit in Serbien: Präsident Vučić macht Rückzieher. Artikel vom 11.12.2021. <https://www.mdr.de/nachrichten/welt/osteuropa/politik/serbien-proteste-strassenblockaden-umweltschutz-lithium-100.html>
- Phosphornetzwerk Schweiz (o. J.):** Projekte. Ohne Ortsangabe. <https://pxch.ch/projekte.html>
- Stiftung Arbeit und Umwelt der IGBCE (2021):** Branchenausblick 2030+: Die Chemieindustrie. Berlin. https://www.arbeit-umwelt.de/wp-content/uploads/211025_ig_publicationen_Studie_Chemieindustrie_web.pdf
- Stiftung Arbeit und Umwelt der IGBCE (2023):** Zukunftsperspektiven Transformation – Rohstofflage in den IGBCE-Branchen. Berlin. https://www.arbeit-umwelt.de/wp-content/uploads/StAuU_Zukunftsperspektiven_Transformation_Rohstoffe.pdf
- SWP – Stiftung Wissenschaft und Politik (2022a):** Das Rennen um die Rohstoffe. SWP-Zeitschriftenschau 1. Berlin. https://www.swp-berlin.org/publications/products/zeitschriftenschau/2022ZS01_RennenUmRohstoffe.pdf
- SWP – Stiftung Wissenschaft und Politik (2022b):** Von der Rohstoffkonkurrenz zur nachhaltigen Rohstoffaußenpolitik – Politikansätze für deutsche Akteure. SWP-Studie 13. Berlin. https://www.swp-berlin.org/publications/products/studien/2022S13_nachhaltige_rohstoffaussenpolitik.pdf
- SWP – Stiftung Wissenschaft und Politik (2023a):** Auf Partnersuche: neue Allianzen im Rohstoffsektor. 360 Grad: Berlin. <https://www.swp-berlin.org/publikation/auf-partnersuche-neue-allianzen-im-rohstoffsektor>
- SWP – Stiftung Wissenschaft und Politik (2023b):** Die Zukunft europäisch-chinesischer Rohstofflieferketten. SWP-Aktuell 15. Berlin. https://www.swp-berlin.org/publications/products/aktuell/2023A15_Rohstofflieferketten.pdf
- Tagesschau (2022):** Lithiumförderung am Rhein: Zwischen Erdbebengefahr und Goldgräberstimmung. Artikel vom 13.10.2022. <https://www.tagesschau.de/wissen/technologie/lithium-oberrhein-101.html>
- U. S. Geological Survey (USGS) (2023):** Mineral Commodity Summaries 2023. St. Louis. <https://doi.org/10.3133/mcs2023>

Umweltbundesamt (UBA) (2019): Substitution als Strategie zur Minderung der Kritikalität von Rohstoffen für Umwelttechnologien – Potentialermittlung für Second-Best-Lösungen. Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-01-14_texte_03-2019_subskrit_abschlussbericht.pdf

Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI) (2023): Wie die Transformation der Chemie gelingen kann. Frankfurt am Main. <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/publikation/broschueren-und-faltblaetter/final-c4c-broschure-langfassung.pdf>

Volkswagen (2021): Volkswagen schließt strategische Partnerschaft zur Industrialisierung der Batterietechnologie. Wolfsburg. <https://www.volkswagen-newsroom.com/de/pressemitteilungen/volkswagen-schliesst-strategische-partnerschaften-zur-industrialisierung-der-batterietechnologie-7680>

Werner, W. (2012): Schätze unter dem Boden: Was wissen wir über die tiefliegenden Rohstoffe in Baden-Württemberg? In: Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg, Nr. 102, S. 37–92. Freiburg. https://www.zobodat.at/pdf/Berichte-naturf-Ges-Freiburg-Br_102_0037-0091.pdf

Zinnwald Lithium plc. (2023): Annual Report and Financial Statements for the Year ended 31 December 2022. London. <https://wp-zinnwald-lithium-2020.s3.eu-west-2.amazonaws.com/media/2023/03/ZLP-AFS-2022-Full-report-Final-Fully-signed.pdf>

Glossar

Importabhängigkeitsquote (IR)

- Die „Importabhängigkeitsquote“ (engl. Import Reliance, IR) berücksichtigt die weltweite Versorgung und die tatsächlichen Quellen der EU bei der Berechnung des Versorgungsrisikos.
- Sie wird wie folgt berechnet:

$$\bullet \frac{\text{EU-Nettoimporte}}{\text{EU-Nettoimporte} + \text{heimische Produktion (EU)}}$$

bzw.

$$\bullet \frac{\text{Einfuhr} - \text{Ausfuhr}}{\text{Einfuhr} - \text{Ausfuhr} + \text{Inlandsproduktion}}$$

End-of-Life-Recycling-Einsatzquote (EoL-RIR)

- Die „End-of-Life-Recycling-Einsatzquote oder -Inputrate“ (EoL-RIR) ist der Prozentsatz der Gesamtnachfrage, der durch Sekundärrohstoffe („Post-Consumer-Rohstoffe“) gedeckt wird.
- Die EoL-RIR misst das Verhältnis der Wiederverwertung von Schrott (aus der EU) zur EU-Nachfrage nach einem bestimmten Rohstoff, wobei Letztere der primären und sekundären Rohstoffversorgung in der EU entspricht.
- Die EoL-RIR stellt den Ist-Zustand des Recycling-Einsatzes eines Rohstoffs dar.

Ersetzbarkeitsindex (SI, SI_{EI}, SI_{SR})

- Der „Ersetzbarkeitsindex“ (engl. Substitutionsindex, SI) ist ein für alle Anwendungszwecke bewertetes und gewichtetes Maß für die Schwierigkeit, einen Rohstoff zu ersetzen. Die Werte liegen im Bereich von 0 bis 1, wobei 1 die schwierigste Ersetzbarkeit ist.
- Die wirtschaftliche Bedeutung (Economic Impact, EI) wird durch den Teilindex SI_{EI} ausgedrückt. Er spiegelt die technische Leistung und die Kosten möglicher Ersatzstoffe im Vergleich zum Originalrohstoff wider.
- Das Versorgungsrisiko (Supply Risk, SR) wird durch den Teilindex SI_{SR} ausgedrückt. Er spiegelt die weltweite Produktion, die Kritikalität und die Ko-/Nebenproduktion möglicher Ersatzstoffe wider.

Seltene Erden (Rare Earth Elements, REE)

- Als Seltenerdmetalle werden die Elemente der dritten Nebengruppe des Periodensystems sowie Lanthanoide zusammengefasst:
 - Leichte Seltene Erden: Scandium, Lanthan, Cer, Praseodym, Neodym, Promethium, Samarium, Europium
 - Schwere Seltene Erden: Dysprosium, Erbium, Gadolinium, Holmium, Lutetium, Terbium, Thulium, Ytterbium, Yttrium
- Diese 17 Elemente kommen aufgrund ihrer ähnlichen Eigenschaften stets vergesellschaftet vor und können auch nur gemeinsam abgebaut werden.
- In der Literatur ist die Unterscheidung zwischen leichten (LREE = Light Rare Earth Elements) und schweren (HREE = Heavy Rare Earth Elements) Seltene Erden im Detail teilweise uneinheitlich.

Platingruppenmetalle (Platin Group Metals, PGM)

- Unter dem Begriff der Platingruppenmetalle werden chemisch sehr ähnliche Metalle zusammengefasst.
- Ruthenium, Rhodium und Palladium werden aufgrund ihrer im Vergleich geringeren Atommasse als „Leichte“ Platinmetalle bezeichnet.
- Osmium, Iridium und Platin werden den „Schweren“ Platinmetallen zugeordnet.
- Alle Platinmetalle sind Edelmetalle mit einer hohen Dichte und fallen bei der Kupfer- und Nickelherstellung als Nebenprodukt an.

Ihre Meinung zu unserer Broschüre interessiert uns sehr. Bitte nehmen Sie sich die Zeit, uns eine kurze Rückantwort zu senden. Scannen Sie einfach den QR-Code oder klicken Sie auf den nachstehenden Link.

Vielen Dank.

<https://viewer.reaction.link/j/clk28gomi00003n6euanxdkpl/polls>



**Stiftung Arbeit und Umwelt
der Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie**

Inselstraße 6
10179 Berlin
Telefon +49 30 2787 1325

Königsworther Platz 6
30167 Hannover
Telefon +49 511 7631 472

E-Mail: arbeit-umwelt@igbce.de
Internet: www.arbeit-umwelt.de

