



Fachbereich WD 5

Kritische Rohstoffe im Überblick

Kritische Rohstoffe im Überblick

Aktenzeichen: WD 5 - 3000 - 056/26
Abschluss der Arbeit: 11.06.2026
Fachbereich: WD 5: Wirtschaft, Energie und Klima

Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages unterstützen die Mitglieder des Deutschen Bundestages bei ihrer mandatsbezogenen Tätigkeit. Ihre Arbeiten geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste geben nur den zum Zeitpunkt der Erstellung des Textes aktuellen Stand wieder und stellen eine individuelle Auftragsarbeit für einen Abgeordneten des Bundestages dar. Die Arbeiten können der Geheimschutzordnung des Bundestages unterliegende, geschützte oder andere nicht zur Veröffentlichung geeignete Informationen enthalten. Eine beabsichtigte Weitergabe oder Veröffentlichung ist vorab dem jeweiligen Fachbereich anzuzeigen und nur mit Angabe der Quelle zulässig. Der Fachbereich berät über die dabei zu berücksichtigenden Fragen.

Inhaltsverzeichnis

1.	Kontext dieser Arbeit	4
2.	Kritische Rohstoffe gem. Critical Raw Materials Act	4
3.	Kritische Rohstoffe im Einzelnen	5
3.1.	Aluminium und Bauxit	6
3.2.	Antimon	7
3.3.	Arsen	7
3.4.	Baryt	7
3.5.	Beryllium	7
3.6.	Bismut	8
3.7.	Bor	8
3.8.	Feldspat	8
3.9.	Flussspat	9
3.10.	Gallium	9
3.11.	Germanium	9
3.12.	Graphit (natürlich)	10
3.13.	Hafnium	10
3.14.	Helium	10
3.15.	Kobalt	11
3.16.	Kokskohle	11
3.17.	Kupfer	11
3.18.	Lithium	12
3.19.	Magnesium	12
3.20.	Mangan	13
3.21.	Nickel	13
3.22.	Niob	13
3.23.	Phosphor und Phosphatgestein	14
3.24.	Platingruppenmetalle (PGM)	14
3.25.	Scandium	14
3.26.	Seltene Erden	15
3.27.	Silizium	15
3.28.	Strontium	16
3.29.	Tantal	16
3.30.	Titan	16
3.31.	Vanadium	17
3.32.	Wolfram	17
4.	Rohstoffe für Zukunftstechnologien	17

1. Kontext dieser Arbeit

Diese Dokumentation gibt einen Überblick über die kritischen Rohstoffe nach dem Critical Raw Materials Act der EU.¹ Neben Informationen zu diesen nichtenergetischen und nichtlandwirtschaftlichen Rohstoffen (Verwendung, Förderländer, Substitutionsmöglichkeiten) werden außerdem Studien vorgestellt, die sich mit den Rohstoffbedarfen beschäftigen, die sich durch die Entwicklung strategisch wichtiger Technologien ergeben.

2. Kritische Rohstoffe gem. Critical Raw Materials Act

Der Critical Raw Materials Act² (CRMA) soll den Zugang der EU zu einer sicheren und nachhaltigen Versorgung mit kritischen Rohstoffen gewährleisten.³ Der CRMA soll

- die europäischen Wertschöpfungsketten für kritische Rohstoffe stärken,
- die Einfuhren der EU diversifizieren, um strategische Abhängigkeiten zu verringern,
- die Fähigkeit der EU verbessern, Risiken von Versorgungsunterbrechungen bei kritischen Rohstoffen zu überwachen und zu mindern, sowie
- die Kreislaufwirtschaft und Nachhaltigkeit fördern.⁴

-
- 1 Diese Dokumentation arbeitet in erster Linie mit Literatur, die eine europäische Perspektive einnimmt. Grundsätzlich aber decken sich die deutschen und die europäischen Ziele und Interessen, vgl. hierzu z. B. den in Abschnitt 2 dieser Arbeit beschriebenen Critical Raw Materials Act mit der Rohstoffstrategie der Bundesregierung (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2020): Rohstoffstrategie der Bundesregierung – Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nichtenergetischen mineralischen Rohstoffen, <https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/rohstoffstrategie-der-bundesregierung.html>) oder mit einer im Auftrag der Deutschen Rohstoffagentur erstellten Studie zur Sicherung kritischer Rohstoffe (PricewaterhouseCoopers GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (2022): Securing raw material supply: Benchmarking of measures of foreign manufacturing companies and recommendations for action, https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Themen/Rohstoffsicherung/Unternehmensstrategien/unternehmensstrategien_node.html).
- 2 Verordnung (EU) 2024/1252 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. April 2024 zur Schaffung eines Rahmens zur Gewährleistung einer sicheren und nachhaltigen Versorgung mit kritischen Rohstoffen und zur Änderung der Verordnungen (EU) Nr. 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 und (EU) 2019/1020, <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1252/oj>.
- 3 Homepage der Europäischen Kommission zum Critical Raw Materials Act: https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials/critical-raw-materials-act_en.
- 4 Ebd.

Seit 2011 bewertet die Europäische Kommission Rohstoffe hinsichtlich ihrer Kritikalität.⁵ Die Ergebnisse der Bewertung aus dem Jahr 2023 sind auch in einer Studie zusammengefasst:

European Commission (2023): Study on the critical raw materials for the EU 2023 – Final report, https://single-market-economy.ec.europa.eu/publications/study-critical-raw-materials-eu-2023-final-report_en.

Demnach sind kritische Rohstoffe (critical raw materials) solche, die von großer wirtschaftlicher Bedeutung sind und bei denen ein gewisses Versorgungsrisiko besteht.⁶ Zusätzlich werden strategische Rohstoffe auch als kritisch eingestuft.⁷ Strategische Rohstoffe (strategic raw materials) sind solche, die für die ökologische oder digitale Transformation, die Rüstungsindustrie oder die Luft- und Raumfahrt von besonderer Bedeutung sind.⁸ Betrachtet werden nur nichtenergetische und nichtlandwirtschaftliche Rohstoffe.

Detaillierte Informationen zu den einzelnen kritischen Rohstoffen finden sich in den Steckbriefen (Abschnitt 3), die im Zuge der Bewertung erstellt wurden.

3. Kritische Rohstoffe im Einzelnen

Um deren Kritikalität zu bewerten, erstellte SCRREEN⁹ (Solutions for Critical Raw materials – a European Expert Network) Steckbriefe zu den einzelnen Rohstoffen:

SCREEN: Factsheets – CRM Factsheets directory, <https://screen3.flexx.camp/factsheets>.

Der Steckbrief zu jedem Rohstoff enthält:

- eine allgemeine Beschreibung,
- Informationen zur Situation auf dem Weltmarkt (Produzenten, Import und Export der EU, Preisentwicklung, usw.),
- Informationen zu Verwendungen (global und in der EU),
- Informationen zu Möglichkeiten der Substitution,
- Informationen zur Lieferkette,

5 Ebd.

6 European Commission (2023): Study on the critical raw materials for the EU 2023 – Final report, Seite 17 f., https://single-market-economy.ec.europa.eu/publications/study-critical-raw-materials-eu-2023-final-report_en.

7 Ebd., Seite 17 f.

8 Ebd., Seite 45.

9 Homepage SCRREEN: <https://screen.eu/>.

- Informationen zu Vorkommen (global und in der EU),
- Informationen zu Möglichkeiten des Recyclings,
- und weitere Aspekte je nach Rohstoff (z. B. gesundheitliche, ethische oder sozio-ökonomische Aspekte).

Die folgenden Abschnitte geben einen kurzen Überblick über die einzelnen kritischen Rohstoffe nach dem CRMA.¹⁰ Die Informationen sind den SCRREEN-Steckbriefen entnommen.

In den Steckbriefen finden sich zahlreiche weiterführende Literaturhinweise. Auch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) hat Steckbriefe zu einzelnen Rohstoffen erstellt.¹¹ Diese wurden aber im Rahmen dieser Dokumentation nicht ausgewertet.

3.1. Aluminium und Bauxit

Aluminium¹² wird vor allem in der Luftfahrt, im Fahrzeugbau, für Verpackungen und im Bauwesen verwendet. Die größten Produktionsländer von Aluminium sind China (58 %), Russland (8 %) und Indien (10 %). Die EU bezieht Aluminium hauptsächlich aus Norwegen (16 %), Russland (10 %) und Island (8 %).¹³

Die größten Produktionsländer von Bauxit^{14,15} sind Australien (27 %), Guinea (25 %) und China (10 %). Die größten Reserven befinden sich in Guinea (26 %), Australien (12 %) und Vietnam (11 %). Die EU bezieht Bauxit hauptsächlich aus Guinea (64 %), Brasilien (13 %) und Griechenland (9 %).

Aluminium kann beliebig oft recycelt werden. Als Substitute für Aluminium kommen z. B. Holz oder Stahl im Bauwesen infrage, Magnesium und Titan für Leichtbauanwendungen sowie Kunststoffe für Verpackungen.

10 Derzeit sind 34 Rohstoffe gelistet. Weil im Folgenden schwere und leichte Seltene Erden sowie Phosphor und Phosphatgestein zusammengefasst sind, ergeben sich 32 Unterpunkte.

11 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: Rohstoffwirtschaftliche Steckbriefe: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Rohstoffe/Produkte/Rohstoffsteckbriefe/rohstoffsteckbriefe_node.html.

12 SCRREEN-Steckbrief Aluminium: <https://screen3.flexx.camp/factsheet-3>.

13 Die Daten beziehen sich auf die Jahre 2019 bis 2023.

14 SCRREEN-Steckbrief Bauxit: <https://screen3.flexx.camp/factsheet-7>.

15 Das Aluminiumerz Bauxit ist die wichtigste Quelle für Aluminiumoxid, das zur Herstellung von Aluminium verwendet wird.

3.2. Antimon

Antimon¹⁶ wird vor allem als Flammschutzmittel, in Blei-Säure-Batterien sowie in der Kunststoffherstellung verwendet. Die größten Produktionsländer sind China (47 %), Tadschikistan (20 %) und Russland (16 %). Die größten Vorkommen befinden sich in China, Russland und Bolivien. Die EU importiert Antimon hauptsächlich aus der Türkei (78 %), Bolivien (14 %) und China (6 %).

Die Recyclingrate in der EU beträgt Schätzungen zufolge bis zu 28 %, wobei das recycelte Antimon hauptsächlich aus Blei-Säure-Batterien stammt. Die Substitution ist grundsätzlich bei den meisten Anwendungen möglich, kann aber (je nach Anwendung) mit höheren Kosten und schlechteren Eigenschaften einhergehen.

3.3. Arsen

Arsen¹⁷ findet u. a. Verwendung in der Produktion von Zinn, bei der Glasherstellung, in der chemischen Industrie, in Speziallegierungen und in Elektronikkomponenten (Halbleiter). Die größten Produktionsländer (verarbeitet) sind Peru (43 %), China (43 %) und Marokko (12 %). Die EU bezieht Arsen (verarbeitet) hauptsächlich aus Belgien (68 %) und China (31 %).

Arsen wird derzeit nicht recycelt. Als Substitute kommen Phosphor in Halbleitern und Antimontrioxid oder Kaliumantimonyltartrat bei der Zinnproduktion infrage. Für die chemische Industrie sind keine Substitute bekannt.

3.4. Baryt

Baryt¹⁸ wird vor allem in Bohrflüssigkeiten für die Öl- und Gasförderung, in der chemischen Industrie und als Füllstoff in Kunststoffen genutzt. Die größten Produktionsländer sind China (40 %), Indien (20 %) und die USA (15 %). Die EU importiert Baryt hauptsächlich aus China (50 %), Indien (30 %) und Marokko (10 %).

Baryt wird derzeit nicht recycelt. Es gibt verschiedene Stoffe, die abhängig von der Anwendung als Substitut dienen können, allerdings mit schlechteren Eigenschaften.

3.5. Beryllium

Beryllium¹⁹ wird in verschiedenen Legierungen in elektronischen Bauteilen u. a. in der Luft- und Raumfahrt, im Fahrzeugbau und im Energiesektor eingesetzt. Die größten Produktionsländer sind

16 SCREEN-Steckbrief Antimon: <https://screen3.flexx.camp/factsheet-71>.

17 SCREEN-Steckbrief Arsen: <https://screen3.flexx.camp/factsheet-4>.

18 SCREEN-Steckbrief Baryt (ältere Version): https://screen.eu/wp-content/uploads/2023/12/SCREEN2_factsheets_BARYTE_V1.pdf.

19 SCREEN-Steckbrief Beryllium: <https://screen3.flexx.camp/factsheet-679>.

die USA (64 %), China (27 %) und Mosambik (6 %). Die EU bezieht Beryllium vor allem aus Russland (37 %), der Ukraine (13 %) und Bolivien (13 %).

Recyceltes Beryllium bzw. recycelte Legierungen decken bis zu einem Viertel des Gesamtverbrauchs. Bei manchen Anwendungen (nicht bei allen) kann Beryllium zwar substituiert werden, allerdings ist dann mit Leistungseinbußen zu rechnen.

3.6. Bismut

Bismut²⁰ ist auch ein strategischer Rohstoff und wird vor allem in Pharmazeutika und in Futtermitteln verwendet. Die größten Produktionsländer sind China (69 %), Laos (9 %) und Vietnam (8 %). Bismut ist dabei ein Nebenprodukt bei der Blei- und Wolframproduktion. Die größten Vorkommen befinden sich in China, Vietnam und Bolivien. Die EU bezieht Bismut hauptsächlich aus China (50 %), Belgien (26 %) und Thailand (10 %).

Bismut wird derzeit nicht recycelt, vor allem, weil es hauptsächlich in Verbrauchsgütern (Medikamenten, Futtermitteln, Farbpigmenten) Verwendung findet. Bismut kann zumeist substituiert werden, allerdings zu höheren Kosten und bei geringerer Wirkung.

3.7. Bor

Bor²¹ ist auch ein strategischer Rohstoff und wird vor allem für Glasfaserdämmstoffe, Glasfasergeewebe, Borosilikatglas, Keramik und Düngemittel verwendet. Die größten Produktionsländer sind die Türkei (51 %), die USA (20 %) und Kasachstan (8 %). Die größten Vorkommen befinden sich in der Türkei, in den USA und Russland. Die EU importiert Bor nahezu ausschließlich aus der Türkei (99 %).

Bor wird derzeit nicht recycelt. In den meisten Anwendungen kann Bor nicht substituiert werden, ohne schlechtere Eigenschaften in Kauf zu nehmen.

3.8. Feldspat

Feldspat²² wird vor allem in der Keramik- und Glasherstellung verwendet. Die größten Produktionsländer sind die Türkei (32 %), Indien (20 %) und China (8 %). Die EU bezieht Feldspat hauptsächlich aus der Türkei (93 %) und Norwegen (6 %).

Feldspat, das in der Keramik- und Glasherstellung verwendet wurde, kann selbst nicht recycelt werden – das Glas bzw. die Keramik unter Umständen schon. Es gibt eine Vielzahl an Möglichkeiten zur Substitution.

20 SCREEN-Steckbrief Bismut (ältere Version): https://screen.eu/wp-content/uploads/2023/12/SCREEN2_factsheets_BISMUTH_V1.pdf.

21 SCREEN-Steckbrief Bor: <https://screen3.flexx.camp/factsheet-680>.

22 SCREEN-Steckbrief Feldspat (ältere Version): https://screen.eu/wp-content/uploads/2023/08/SCREEN2_factsheets_FELDSPAR-1.pdf.

3.9. Flussspat

Flussspat²³ wird vor allem in der Stahl- und Aluminiumproduktion und in der chemischen Industrie verwendet. Die größten Produktionsländer sind China (63 %), Mexiko (13 %) und die Mongolei (7 %). Die größten Reserven befinden sich in China, Mexiko und Südafrika. Die EU bezieht Flussspat hauptsächlich aus Mexiko (32 %), Spanien (25 %) und Südafrika (12 %).

Flussspat selbst wird kaum recycelt, da es bei seiner Verwendung (z. B. bei der Aluminiumproduktion) in der Regel verbraucht wird. Für einen Großteil der Verwendungen gibt es keine praktische Substitution.

3.10. Gallium

Gallium²⁴ ist auch ein strategischer Rohstoff und wird in erster Linie in Mikrochips verwendet, z. B. für Leistungselektronik und Hochfrequenzanwendungen (z. B. drahtlose Kommunikation, 5G-Infrastruktur) in den Bereichen Digital- und Telekommunikation, Verteidigung, Luft- und Raumfahrt sowie Automobilindustrie. Gallium ist auch in der Beleuchtungstechnik von Bedeutung (LEDs) und ist Bestandteil von Kupfer-Indium-Gallium-Selenid-Solarzellen, die einen hohen Wirkungsgrad bei der photovoltaischen Energieerzeugung bieten.

Das mit Abstand größte Produktionsland ist China (97 %). Die EU bezieht Gallium hauptsächlich aus China (87 %), Kanada (4 %) und Russland (3 %). Weil Gallium meist als Nebenprodukt der Aluminium- und Zinkproduktion anfällt, aber nicht systematisch aus allen Aluminium- und Zinkerzen gewonnen wird, lassen sich die globalen Vorkommen kaum beziffern.

Gallium wird hauptsächlich aus Produktionsabfällen recycelt, eine Rückgewinnung aus Elektroschrott ist aufgrund der sehr dünnen Schichtdicken unattraktiv. Aufgrund der spezifischen Eigenschaften galliumhaltiger Materialien, insbesondere bei hochfrequenten, hocheffizienten und spezialisierten optischen Anwendungen, sind die Möglichkeiten der Substitution begrenzt.

3.11. Germanium

Germanium²⁵ ist auch ein strategischer Rohstoff und wird vor allem in der Infrarotoptik und in der Glasfasertechnik eingesetzt. Die größten Produktionsländer (verarbeitet) sind China (87 %), Belgien (4 %) und Russland (4 %). Die EU bezieht Germanium hauptsächlich aus China (54 %), Belgien (24 %) und Deutschland (14 %). Weil Germanium meist als Nebenprodukt der Zink- und Kohleproduktion anfällt, sind Lagerstätten nicht explizit erfasst.

Schätzungen zufolge werden derzeit etwa 30 % des weltweiten Germaniumbedarfs durch Recycling gedeckt. Der Großteil des recycelten Metalls stammt aus Industrieschrott und nicht aus Altprodukten, weil Germanium in Endprodukten nur in sehr kleinen Mengen verwendet wird. Das Substitutionspotenzial bleibt insgesamt begrenzt. In vielen Anwendungen führen Ersatzstoffe wie

23 SCREEEN-Steckbrief Flussspat: <https://screen3.flexx.camp/factsheet-13>.

24 SCREEEN-Steckbrief Gallium: <https://screen3.flexx.camp/factsheet-685>.

25 SCREEEN-Steckbrief Germanium: <https://screen3.flexx.camp/factsheet-687>.

Silizium (in der Elektronik), Antimon oder Titan (in der Polymerisationskatalyse) oder Zinkselenid (in der Infrarotoptik) zu weniger Leistung, Haltbarkeit oder Effizienz.

3.12. Graphit (natürlich)

Natürlicher Graphit²⁶ ist auch ein strategischer Rohstoff und findet breite Verwendung, z. B. in feuerfesten Materialien, in der Stahlproduktion und für Metalllegierungen, als Schmiermittel und in Reibbelägen, in Batterien und Brennstoffzellen, Dichtungen, Folien und Flamschutzmitteln. Die größten Produktionsländer sind China (72 %), Mosambik (6 %) und Madagaskar (5 %). Die EU bezieht natürlichen Graphit hauptsächlich aus China (25 %), Norwegen (22 %) und Mosambik (17 %).

In verschiedenen Anwendungen können sowohl synthetischer Graphit als auch natürlicher Graphit verwendet oder auch gemischt werden. Synthetischer Graphit weist eine höhere Dichte sowie eine höhere thermische und elektrische Leitfähigkeit auf. Er ist chemisch reiner als Naturgraphit. Allerdings ist synthetischer Graphit sehr teuer und CO₂-intensiv. Grundsätzlich wird synthetischer Graphit für Anwendungen genutzt, die hohe Kohlenstoffgehalte und geringe Verunreinigungen erfordern, wie beispielsweise Batterien und Graphitformteile.

3.13. Hafnium

Hafnium²⁷ wird hauptsächlich in Speziallegierungen für die Luft- und Raumfahrtindustrie, beim Plasmaschneiden und in der Atomindustrie verwendet. Die größten Produktionsländer sind Frankreich (49 %), die USA (44 %) und China (3 %). Die größten Reserven befinden sich in Australien, Südafrika und Indien. Die EU bezieht Hafnium hauptsächlich aus Frankreich (47 %), den USA (19 %) und der Ukraine (16 %).

Hafnium selbst wird kaum recycelt, Speziallegierungen grundsätzlich schon. Die Substitution in Speziallegierungen ist in Abhängigkeit vom Anwendungsfall durch andere Metalle möglich.

3.14. Helium

Helium²⁸ wird vor allem für kontrollierte Atmosphären (z. B. in Obst- oder Blumenlagern in der Landwirtschaft), als Kühlmittel, für Ballone oder zum Schweißen genutzt. Die größten Produktionsländer sind die USA (54 %), Katar (30 %) und Algerien (9 %). Die größten Reserven befinden sich in den USA, Algerien und Russland. Die EU importiert Helium hauptsächlich aus Algerien (34 %), Katar (28 %) und den USA (22 %).

Helium wird vor allem bei großvolumigen Anwendungen kaum recycelt, da es in die Atmosphäre entweicht. Aufgrund seiner Eigenschaften kann Helium nur in sehr wenigen Fällen substituiert werden, z. B. durch Argon.

26 SCREEN-Steckbrief natürlicher Graphit: <https://screen3.flexx.camp/factsheet-32>.

27 SCREEN-Steckbrief Hafnium: <https://screen3.flexx.camp/factsheet-689>.

28 SCREEN-Steckbrief Helium: <https://screen3.flexx.camp/factsheet-688>.

3.15. Kobalt²⁹

Kobalt ist auch ein strategischer Rohstoff und wird vor allem in Lithium-Ionen-Batterien, Speziallegierungen für die Luftfahrt und in Hartmetallen eingesetzt. Die größten Produktionsländer sind die Demokratische Republik Kongo (69 %), Russland (6 %) und Indonesien (4 %). Die größten Reserven befinden sich in der Demokratischen Republik Kongo, in Australien und Indonesien. Die EU bezieht Kobalt hauptsächlich aus Russland (22 %), den USA (20 %) und Finnland (10 %).

Kobalt kann gesammelt und recycelt werden. Schätzungen zufolge stammten im Jahr 2016 22 % des jährlichen Kobaltverbrauchs der EU aus Altmetall. Nickel ist in den meisten Anwendungsbereichen wie Batterien, Superlegierungen, Hartmetallen, Oberflächenbehandlungen und Katalysatoren das wichtigste Substitut für Kobalt.

3.16. Koks-kohle

Koks-kohle³⁰ wird vor allem in der Stahlproduktion und in der chemischen Industrie verwendet. Die größten Produktionsländer sind China (53 %), Australien (18 %) und Russland (9 %). Die größten Reserven befinden sich in den USA, Indien und China. Die EU bezieht Koks-kohle hauptsächlich aus Polen (26 %), Australien (25 %) und den USA (21 %).

Koks-kohle selbst kann nicht recycelt werden, die hergestellten Produkte (z. B. Stahl) in der Regel schon.

3.17. Kupfer

Kupfer³¹ ist auch ein strategischer Rohstoff und einer der wichtigsten Werkstoffe für elektrisch leitfähige Komponenten in einer Vielzahl von Anwendungsbereichen – von der Stromerzeugung über die Stromübertragung bis hin zu Endgeräten jeder Größenordnung. Kupfer wird auch in Rohren, Ventilen, Formstücken usw. in Industriemaschinen, im Hochbau oder im Verkehrssektor eingesetzt. Die größten Produktionsländer sind Chile (26 %), Peru (11 %) und die Demokratische Republik Kongo (10 %). Die größten Vorkommen befinden sich in Chile (23 %), Australien (11 %) und Peru (9 %). Die EU bezieht Kupfer hauptsächlich aus Polen (20 %), Brasilien (12 %) und Chile (~10 %).

Kupfer ist eines der am meisten recycelten Metalle. In Europa deckt recyceltes Kupfer ca. 40 % des Bedarfs. Aufgrund seiner Eigenschaften, insbesondere seiner thermischen und elektrischen Leitfähigkeit, lässt sich Kupfer in vielen Anwendungsbereichen nur schwer ersetzen. Dennoch gibt es abhängig vom Anwendungsfall Möglichkeiten zur Substitution, z. B. Aluminium für Elektrokabel, Glasfaser in der Telekommunikation und Kunststoffe für Rohrleitungen.

29 SCREEN-Steckbrief Kobalt: <https://screen3.flexx.camp/factsheet-18>.

30 SCREEN-Steckbrief Koks-kohle (ältere Version): https://screen.eu/wp-content/uploads/2023/12/SCREEN2_factsheets_COKING_COAL_update.pdf.

31 SCREEN-Steckbrief Kupfer: <https://screen3.flexx.camp/factsheet-21>.

3.18. Lithium

Lithium³² ist auch ein strategischer Rohstoff und wird vor allem in Lithium-Ionen-Batterien, Keramik und Glas verwendet. Im Jahr 2020 entfielen 71 % des gesamten Lithiumbedarfs in der EU auf Batterien. Die größten Produktionsländer sind Australien (45 %), Chile (26 %) und China (17 %). Die größten Reserven befinden sich in Chile, Australien und Argentinien. Die EU bezieht Lithium aus Portugal bzw. verarbeitet aus China (63 %), Chile (24 %) und Argentinien (5 %).

Recyceltes Lithium spielt derzeit eine kleine, aber wachsende Rolle und kann zu ~10 % recycelt werden, vor allem aus Batterien. Der Großteil des recycelten Lithiums stammt derzeit aus Produktionsabfällen in Fabriken, während benutzte Altbatterien aufgrund ihrer langen Lebensdauer nur begrenzte Mengen beitragen (Tendenz steigend). Weltweit könnte das Batterierecycling bis 2030 rund 8 % des globalen Angebots decken, gegenüber nur 3 % im Jahr 2023 (weil dann z. B. mehr Elektrofahrzeuge das Ende ihrer Lebensdauer erreichen).

Das Substitutionspotenzial für Lithium in wiederaufladbaren Batterien ist derzeit noch sehr begrenzt. Alternativen mit anderer Zellchemie existieren zwar, bieten aber eine geringere oder bestenfalls vergleichbare Leistung. Langfristig wird jedoch erwartet, dass Batterien mit anderer Zellchemie Marktanteile gewinnen werden.

Mit unterschiedlichen Batterietypen³³ und den Herausforderungen des Batterierecyclings³⁴ haben sich die Wissenschaftlichen Dienste bereits in früheren Arbeiten auseinandergesetzt.

3.19. Magnesium

Magnesium³⁵ wird vor allem für Leichtbaulegierungen in der Automobil- und Luftfahrtindustrie, in der Verpackungsindustrie und im Bauwesen verwendet. Magnesium wird außerdem als Entschwefelungsmittel in der Stahlindustrie eingesetzt. Die größten Produktionsländer sind China (91 %), die USA (3 %) und Israel (2 %). Die globalen Vorkommen gelten als groß. Die EU importiert Magnesium hauptsächlich aus China (97 %), Israel (1 %) und dem Vereinigten Königreich.

Die Recyclingquote aus Endprodukten beträgt gut 10 %, aus Produktionsabfällen bis zu 50 %. Als Substitute kommen Aluminium für den Leichtbau und Kalzium für die Stahlschwefelung infrage.

32 SCREEN-Steckbrief Lithium: <https://screen3.flexx.camp/factsheet-693>.

33 Wissenschaftliche Dienste (2025): Primär- und Sekundärbatterien, WD 5 – 3000 – 076/25, <https://www.bundestag.de/resource/blob/1137620/WD-5-076-25.pdf>.

34 Wissenschaftliche Dienste (2024): Batterierecycling – Technische Aspekte und Recyclingkonzepte ausgewählter Länder, WD 5 – 3000 – 078/24, <https://www.bundestag.de/resource/blob/1014788/fb6a4f49c0ca148337fa972f3f4b634b/WD-5-078-24-pdf.pdf>.

35 SCREEN-Steckbrief Magnesium (ältere Version): https://screen.eu/wp-content/uploads/2024/02/SCREEN2_factsheets_MAGNESIUM_update.pdf.

3.20. Mangan

Mangan³⁶ ist auch ein strategischer Rohstoff und wird hauptsächlich in metallurgischen Prozessen, als Desoxidations- und Entschwefelungszusatz sowie als Legierungsbestandteil verwendet. Die Stahlproduktion macht etwa 85 – 90 % des Manganverbrauchs aus. Im Batteriebereich kommt es zudem bei der Herstellung von Trockenzellen und Lithium-Ionen-Batterien zum Einsatz. Die größten Produktionsländer sind Südafrika (33 %), Gabun (20 %) und Australien (16 %). Auf Südafrika, Australien, Brasilien und China entfallen zusammen 90 % der weltweiten Manganreserven. Die EU importiert Mangan hauptsächlich aus Gabun (46 %), Südafrika (38 %) und Brasilien (3 %).

Mangan selbst wird kaum recycelt, als manganhaltige Legierungen aber schon. Niob kann Mangan in kohlenstoffarmen Stählen teilweise ersetzen, Niob- oder Edelstahl sind in der Regel aber teurer als Manganstahl. Manganhaltige Batterien könnten durch Batterien mit anderer Zellchemie ersetzt werden (vgl. Abschnitt 3.18).

3.21. Nickel

Nickel³⁷ ist auch ein strategischer Rohstoff. Nickelhaltige Legierungen haben aufgrund ihrer Festigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Vielseitigkeit ein breites Anwendungsfeld von Konsumgütern über Industrieanlagen, Bau- und Verkehrswesen bis hin zu Elektronik und Energiespeicherung. Die größten Produktionsländer sind Indonesien (44 %), die Philippinen (12 %) und Russland (7 %). Die größten Vorkommen befinden sich in Indonesien, Australien und Brasilien. Die EU bezieht Nickel hauptsächlich aus Finnland (42 %), Kanada (18 %) und der Elfenbeinküste (15 %).

Nickel kann ohne Qualitätsverlust recycelt werden. Knapp 70 % des gesamten in Konsumgütern enthaltenen Nickels werden recycelt, weitere 15 % fließen in den Kreislauf für Kohlenstoffstahl ein. Nickel kann in den meisten Anwendungsbereichen substituiert werden. Die Alternativen sind zwar oft billiger, gehen aber mit Einbußen bei der Leistungsfähigkeit einher.

3.22. Niob

Niob³⁸ wird vor allem in Stahllegierungen (hochfeste Stähle) für das Bauwesen, in der Automobilindustrie, in Öl- und Gaspipelines und Werkzeugstählen verwendet. Die größten Produktionsländer sind Brasilien (93 %) und Kanada (6 %). Die Reserven befinden sich fast ausschließlich in diesen Ländern. Die EU importiert Niob (verarbeitet) dementsprechend aus Brasilien (86 %) und Kanada (13 %).

Niob wird kaum recycelt, niobhaltige Stahllegierungen aber schon. Ein teilweiser oder vollständiger Ersatz von Niob durch andere Mineralien ist abhängig von der Anwendung möglich, wäre

36 SCREEN-Steckbrief Mangan: <https://screen3.flexx.camp/factsheet-47>.

37 SCREEN-Steckbrief Nickel: <https://screen3.flexx.camp/factsheet-696>.

38 SCREEN-Steckbrief Niob: <https://screen3.flexx.camp/factsheet-49>.

jedoch mit einer verminderten Leistungsfähigkeit verbunden. Derzeit scheint es kaum Anreize zu geben, Niob in seinen Hauptanwendungsbereichen zu ersetzen.

3.23. Phosphor und Phosphatgestein

Elementarer Phosphor³⁹, der aus Phosphatgestein gewonnen wird, wird zur Herstellung von Chemikalien (z. B. Flammenschutzmittel, Öladitive, industrielle Wasseraufbereitung, Emulgatoren) und Düngemitteln verwendet. Die größten Produktionsländer von Phosphat sind China (44 %), Marokko (14 %) und die USA (10 %). Die größten Reserven an Phosphatgestein befinden sich in Marokko (70 %), China (5 %) und Ägypten (4 %). Die EU bezieht Phosphatgestein hauptsächlich aus Marokko (27 %), Russland (24 %) und Finnland (15 %), Phosphor dagegen aus Kasachstan, Vietnam und China.

Phosphor kann aus biogenen Abfallströmen (Gülle, Abwasser und Lebensmittelabfälle) zurückgewonnen werden. Eine Substitution in Düngemitteln und vielen anderen Anwendungen ist nicht möglich oder nicht verfügbar.

3.24. Platingruppenmetalle (PGM)

Platingruppenmetalle⁴⁰ sind Ruthenium, Iridium, Osmium, Palladium, Rhodium und Platin, die alle ähnliche chemische Eigenschaften aufweisen. Sie sind strategische Rohstoffe und werden hauptsächlich als Katalysatoren (z. B. Abgaskatalysatoren) verwendet, aber auch in der Elektronik, der chemischen Industrie und als Schmuck. Die größten Produktionsländer sind Südafrika und Russland, dort und in Simbabwe befinden sich zudem die größten Reserven. Die EU bezieht Platingruppenmetalle hauptsächlich aus Südafrika, Russland, den USA und dem Vereinigten Königreich.

Platingruppenmetalle können ohne Qualitätsverlust recycelt werden. Als Substitute kommen häufig andere Platingruppenmetalle oder Nickel, Kobalt und Gold in Frage. Da Platingruppenmetalle zumeist gemeinsam aus denselben Erzen gewonnen werden, ist das Angebot der verschiedenen Platingruppenmetalle miteinander verknüpft, sodass ihre Substituierbarkeit im Falle einer Versorgungsunterbrechung begrenzt ist.

3.25. Scandium

Scandium⁴¹ wird vor allem in Brennstoffzellen (Festoxid-Brennstoffzellen) und Speziallegierungen für die Luft- und Raumfahrt verwendet, außerdem auch in Bauteilen für den Mobilfunk. Die größten Produktionsländer sind China (67 %), Russland (17 %) und Kanada (4 %). Die größten Reserven sind nicht explizit erfasst, da Scandium meist als Nebenprodukt der Produktion von

39 SCREEN-Steckbrief Phosphor und Phosphatgestein (ältere Version): https://screen.eu/wp-content/uploads/2024/01/SCREEN2_factsheets_PHOSPHATE-update2.pdf.

40 SCREEN-Steckbrief Platingruppenmetalle: <https://screen3.flexx.camp/factsheet-64> und https://screen.eu/wp-content/uploads/2023/08/SCREEN2_factsheets_PGM.pdf.

41 SCREEN-Steckbrief Scandium (ältere Version): https://screen.eu/wp-content/uploads/2024/02/SCREEN2_factsheets_SCANDIUM_update.pdf.

Seltenen Erden und der Uranproduktion anfällt. Die EU bezieht Scandium hauptsächlich aus dem Vereinigten Königreich (92 %) und den USA (5 %).

Scandium wird kaum recycelt. Der Einsatz von Scandium dient in den meisten Anwendungsfällen dazu, die Leistung und die Eigenschaften bereits bestehender Endprodukte zu verbessern. Daher wird Scandium eher als Ersatz für andere Materialien betrachtet, und für fast alle seine Anwendungsbereiche gibt es Alternativen.

3.26. Seltene Erden

Seltene Erden sind auch strategische Rohstoffe. Seltene Erden sind eine Gruppe von 17 Elementen, die besondere elektronische, magnetische, katalytische und optische Eigenschaften aufweisen und damit die Leistungsfähigkeit komplexer technischer Systeme entscheidend beeinflussen. Die Seltenerdelemente werden üblicherweise in leichte und schwere Seltene Erden unterteilt, wobei es für diese beiden Gruppen keine einheitliche Definition gibt.

Im Rahmen der SCRREEN3-Steckbriefe zählen zu den leichten Seltenen Erden⁴² Lanthan, Cer, Praseodym, Neodym, Promethium, Samarium und Europium. Zu den schweren Seltenen Erden⁴³ zählen Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium, Lutetium und Yttrium.

Leichte und schwere Seltene Erden werden vor allem in Permanentmagneten, Katalysatoren, Batterien und Speziallegierungen verwendet. Die größten Produktionsländer sind China, die USA und Myanmar. Die größten Reserven befinden sich in China, Brasilien und Indien. Die EU importiert leichte Seltene Erden hauptsächlich aus China, Malaysia und Japan.

Das Recycling von Seltenen Erden aus Magneten ist technisch möglich, die Mengen sind aber noch gering, Demonstrationsanlagen sind in Betrieb. Die Substitutionsmöglichkeiten für Seltene Erden sind stark begrenzt.

3.27. Silizium

Silizium⁴⁴ ist auch ein strategischer Rohstoff und wird vor allem in der chemischen Industrie, für Aluminiumlegierungen, Halbleiter, Solarzellen und bei der Batteriefertigung verwendet. Die größten Produktionsländer sind China (77 %), Brasilien (7 %) und Norwegen (6 %). Die weltweiten Vorkommen sind groß. Die EU bezieht Silizium hauptsächlich aus Norwegen (38 %), Frankreich (19 %) und Brasilien (8 %).

Die meisten chemischen Anwendungen von Silizium betreffen Verbrauchsgüter, sodass kein Recycling möglich ist. Die Recyclingquote wird niedrig eingeschätzt. Der Industrie stehen zahlreiche Halbleitermaterialien zur Verfügung. Derzeit kann jedoch kein Material die technischen

42 SCRREEN-Steckbrief leichten Seltenen Erden: <https://screen3.flexx.camp/factsheet-5370>.

43 SCRREEN-Steckbrief schweren Seltenen Erden: <https://screen3.flexx.camp/factsheet-5371>.

44 SCRREEN-Steckbrief Silizium: <https://screen3.flexx.camp/factsheet-74>.

Anforderungen so effizient erfüllen wie Silizium. Für einige andere Anwendungen von Silizium sind keine Substitute bekannt.

3.28. Strontium

Strontium⁴⁵ hat viele Anwendungsgebiete, u. a. Permanentmagnete, Glas und Keramik, Speziallegierungen, Industriefarben für die Schiff- und Luftfahrt und Pyrotechnik. Die größten Produktionsländer sind Spanien (41 %), Iran (33 %) und China (15 %). Die größten Reserven befinden sich auch in diesen Ländern. Die EU bezieht Strontium fast ausschließlich aus Spanien.

Strontium wird kaum recycelt. Barium kann in Magneten unter Inkaufnahme einer reduzierten Temperaturbeständigkeit und höherer Kosten als Substitut für Strontium verwendet werden. In der Pyrotechnik ist eine Substitution schwierig.

3.29. Tantal

Tantal⁴⁶ wird hauptsächlich in Elektronikkomponenten, für Speziallegierungen (z. B. für die Luft- und Raumfahrt) und für Beschichtungen verwendet. Die größten Produktionsländer sind die Demokratische Republik Kongo (32 %), Brasilien (19 %) und Ruanda (17 %). Die größten Reserven befinden sich in China, Australien und Brasilien. Die EU bezieht Tantal hauptsächlich aus Spanien (75 %), dem Senegal (5 %) und den USA (5 %).

Die Recyclingquote von Tantal wird auf 30 % geschätzt. Großteils handelt es sich dabei um Speziallegierungen aus der Luftfahrt und Elektroschrott. Als Substitut für Elektronikkomponenten kommt z. B. Niob infrage, allerdings mit schlechterer Performance und Haltbarkeit. Weil Speziallegierungen mit Tantal oft für sehr spezielle Anwendungen (z. B. in Gasturbinen) mit bestimmten Leistungsanforderungen verwendet werden, ist eine Substitution hier schwierig.

3.30. Titan

Titan⁴⁷ ist auch ein strategischer Rohstoff und wird aufgrund seiner Eigenschaften (geringes Gewicht, hohe mechanische Festigkeit, hoher Schmelzpunkt, geringe Wärmeausdehnung) in einer Vielzahl von Bereichen eingesetzt, z. B. in der Luft- und Raumfahrtindustrie, im Fahrzeugbau, in der Medizintechnik oder bei Sportgeräten. Die größten Produktionsländer sind China (58 %), Japan (20 %) und Russland (11 %). Die größten Reserven befinden sich in China, Australien und Südafrika. Die EU importiert Titan hauptsächlich aus den USA (23 %), Russland (16 %) und Japan (16 %).

Die Recyclingquote von Produktionsabfällen in der Luftfahrtindustrie ist hoch. Die größten Herausforderungen beim Recycling von Titanschrott liegen in der Verunreinigung durch Sauerstoff und Eisen. Hochwertiger Titanschrott mit geringem Sauerstoff- und Eisengehalt eignet sich zum Umschmelzen zu Barren aus Titan und für Titanlegierungen. Titanschrott, der höhere Sauerstoff-

45 SCREEN-Steckbrief Strontium: <https://screen3.flexx.camp/factsheet-704>.

46 SCREEN-Steckbrief Tantal: <https://screen3.flexx.camp/factsheet-81>.

47 SCREEN-Steckbrief Titan: <https://screen3.flexx.camp/factsheet-85>.

und Eisengehalte aufweist, wird typischerweise als Rohstoff für die Stahlindustrie verwendet. Ein erheblicher Anteil des in EU-Produktionsstätten anfallenden Titanschrotts wird derzeit zur Wiederaufbereitung exportiert. Als Substitute kommen andere Metalle infrage, oft mit schlechteren Leistungsparametern.

3.31. Vanadium

Vanadium⁴⁸ wird hauptsächlich bei der Herstellung von Spezialstählen und Speziallegierungen verwendet, z. B. für Werkzeuge, Achsen, Kurbelwellen, Zahnräder oder Turbinen. Die größten Produktionsländer sind China (62 %), Russland (20 %) und Südafrika (11 %). Die größten Reserven befinden sich in China, Australien und Russland. Die EU importiert Vanadium hauptsächlich aus Kuwait (45 %), Mexiko (26 %) und Nigeria (17 %).

In der Regel wird Stahlschrott inklusive des darin enthaltenen Vanadiums recycelt. Schätzungen zufolge trägt Recycling ca. 44 % zur Vanadiumproduktion bei. Die Substitution von Vanadium ist bei allen Stahlsorten grundsätzlich möglich, jedoch weisen gängige Substitute oft schlechtere Eigenschaften auf.

3.32. Wolfram

Wolfram ist auch ein strategischer Rohstoff und wird aufgrund seiner hohen Verschleißfestigkeit bei hohen Temperaturen vor allem in Hartmetallen und Speziallegierungen in Werkzeugen (z. B. für die Automobilindustrie oder den Bergbau), in Elektronikkomponenten, Öfen und Kraftwerken, in der Luft- und Raumfahrt und in der Rüstungsindustrie verwendet. Die größten Produktionsländer sind China (80 %), Vietnam (10 %) und Russland (2 %). Mehr als die Hälfte der Wolframreserven befindet sich in China. Die EU bezieht Wolfram hauptsächlich aus Österreich (41 %), Portugal (23 %) und Spanien (22 %).

Wolfram wird in der Regel recycelt. Die Substitution von Wolfram ist für die meisten Anwendungen grundsätzlich möglich, geht aber mit höheren Kosten und schlechteren Eigenschaften einher.

4. Rohstoffe für Zukunftstechnologien

Im Auftrag der Deutschen Rohstoffagentur (DERA) erstellen das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) und das Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM) im Fünf-Jahres-Turnus Studien zu Rohstoffbedarfen, die durch die Entwicklung sogenannter Zukunftstechnologien entstehen. Eine neue Studie soll im Sommer 2026 veröffentlicht werden, die aktuell verfügbare stammt aus dem Jahr 2021:

48 SCREEN-Steckbrief Vanadium (ältere Version): https://screen.eu/wp-content/uploads/2024/01/SCREEN2_factsheets_VANADIUM-update2.pdf.

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) und das Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM) (2021): Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2021. – DERA Rohstoffinformationen, https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Themen/Rohstoffbedarfe/Zukunftstechnologien/zukunftstechnologien_node.html.

Betrachtet werden 33 Technologien aus den Clustern „Mobilität, Luft- und Raumfahrt“, „Digitalisierung und Industrie 4.0“, „Energietechnologien und Dekarbonisierung“, „Kreislauf- und Wasserwirtschaft“ sowie „Strom- und Datennetzwerke“⁴⁹ sowie die für diese Technologien benötigten Rohstoffe bzw. Rohstoffgruppen. In Kapitel 4 der Studie werden diese Rohstoffe anhand ihrer Eigenschaften, ihrer Vorkommen und ihrer Verwendung beschrieben. Außerdem wird der Rohstoffbedarf im Jahr 2040 anhand verschiedener Szenarien⁵⁰ geschätzt.

Die Autoren weisen darauf hin, dass der Rohstoffbedarf nicht nur von den betrachteten Technologien und ihrer zukünftigen Verbreitung (Marktdiffusion) abhängt, sondern auch von den betrachteten Szenarien (also gesellschaftlichen Entwicklungen).⁵¹

Begleitend zur Einschätzung der Kritikalität einzelner Rohstoffe gem. CRMA wurde zeitgleich vom Joint Research Centre (JRC) eine ergänzende Studie zu zukünftigen Bedarfen von Rohstoffen erstellt:

Joint Research Center (2023): Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU – A foresight study, <https://doi.org/10.2760/386650>.

Die Autoren bewerten 15 Schlüsseltechnologien in den fünf strategischen Sektoren (erneuerbare Energien, Elektromobilität, energieintensive Industrie, Digitalwirtschaft sowie Luft- und Raumfahrt/Verteidigung) bzgl. der Abhängigkeiten in den Lieferketten und der Materialbedarfe bis 2050 in der EU, anderen Wirtschaftsregionen und weltweit.⁵²

-
- 49 Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) und das Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM) (2021): Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2021. – DERA Rohstoffinformationen, https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Themen/Rohstoffbedarfe/Zukunftstechnologien/zukunftstechnologien_node.html; in Kapitel 3 der Studie werden die einzelnen Technologien beschrieben.
- 50 Als Szenarien werden drei „Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) genutzt, die im Rahmen des 5. Sachstandsberichts des Weltklimarates (IPCC) für klimapolitische Fragestellungen erstellt wurden“, nämlich SSP 1 (Nachhaltigkeit), SSP 2 (Mittelweg) und SSP 5 (Fossiler Pfad), vgl. ebd. Seite 20.
- 51 Ebd., Seite 20.
- 52 Joint Research Center (2023): Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU – A foresight study, Abstract, <https://doi.org/10.2760/386650>.