



**HAL**  
open science

# Die Rolle der kritischen Metalle bei der Energiewende: Herausforderungen und Strategien

Gilles Lepasant

► **To cite this version:**

Gilles Lepasant. Die Rolle der kritischen Metalle bei der Energiewende: Herausforderungen und Strategien. 2021. halshs-03364930

**HAL Id: halshs-03364930**

**<https://shs.hal.science/halshs-03364930>**

Preprint submitted on 5 Oct 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



## Die Rolle der kritischen Metalle bei der Energiewende: Herausforderungen und Strategien

09/09/2021

Autor: Gilles Lepasant, Forschungsdirektor am nationalen Zentrum für wissenschaftliche Forschung (CNRS) und Centre Marc Bloch, [gilles.lepasant@sciencespo.fr](mailto:gilles.lepasant@sciencespo.fr)  
Kontakt: Anna Brehm, DFBEW - [anna.brehm.extern@bmwi.bund.de](mailto:anna.brehm.extern@bmwi.bund.de)

Soutenu par :



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

Soutenu par :



MINISTÈRE  
DE LA TRANSITION  
ÉCOLOGIQUE  
*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



## Disclaimer

Der vorliegende Text ist eine Übersetzung des Deutsch-französischen Büros für die Energiewende (DFBEW). Sein Inhalt wurde nicht durch das DFBEW verfasst. Die darin getroffenen Aussagen sind deshalb nicht als Standpunkt des DFBEW, seiner Mitarbeiter, Mitglieder oder Partner, aufzufassen. Die Übersetzung erfolgte mit der größtmöglichen Sorgfalt. Das DFBEW übernimmt allerdings keine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Informationen.

Alle textlichen und graphischen Inhalte unterliegen dem deutschen Urheber- und Leistungsschutzrecht. Sie dürfen, teilweise oder gänzlich, nicht ohne schriftliche Genehmigung seitens des Verfassers und Herausgebers weiterverwendet werden. Dies gilt insbesondere für die Vervielfältigung, Bearbeitung, Übersetzung, Verarbeitung, Ein-speicherung und Wiedergabe in Datenbanken und anderen elektronischen Medien und Systemen.

Das DFBEW hat keine Kontrolle über die Webseiten, auf die die in diesem Dokument sich befindenden Links führen. Für den Inhalt, die Benutzung oder die Auswirkungen einer verlinkten Webseite kann das DFBEW keine Verantwortung übernehmen.

## Angaben zur Veröffentlichung und zum Autor

Im vorliegenden Text werden die verschiedenen wirtschaftlichen, politischen, sozialen und ökologischen Aspekte der für die Energiewende erforderlichen Metalle präsentiert. Dabei wird vor allem auf einschlägige Literatur sowie auf verschiedene von Fachinstituten herausgegebene Statistiken eingegangen.

Das Centre Marc Bloch ist ein deutsch-französisches Forschungszentrum für Sozial- und Geisteswissenschaften in Berlin. An seiner Arbeitsgruppe Energie und Klima sind Forscher verschiedener Fachrichtungen beteiligt. Gilles Lepesant ist Forschungsdirektor am nationalen Zentrum für wissenschaftliche Forschung (CNRS) und Geograf. Er ist seit 2018 an das Zentrum entsandt.

## Zusammenfassung

Das Fortschreiten der Energiewende wird zu einer erheblichen Nachfrage nach Metallen und Mineralien führen, von denen die meisten in Europa entweder nicht vorkommen oder nicht abgebaut werden. Für Windenergieanlagen werden Basismetalle wie Stahl, Nickel und Kupfer in großen Mengen sowie teilweise auch seltene Erden benötigt. Diese sind ebenfalls in den Motoren von Elektrofahrzeugen zu finden, deren Batterien zudem Nickel, Lithium, Graphit, Mangan und Kobalt enthalten können. Hinzu kommt, dass der Bedarf an Metallen im Zuge der voranschreitenden Elektrifizierung generell wächst; insbesondere die Nachfrage nach Kupfer, das für den Aufbau zusätzlicher Stromnetze benötigt wird, könnte sich bis 2040 verdoppeln.

Dem gegenüber steht ein von starken Unsicherheiten geprägtes Angebot: Geopolitische Spannungen, wirtschaftliche und soziale Krisen sowie Pandemien und staatliche Strategien können zeitweise starke Schwankungen auslösen. Zum einen sind die Wertschöpfungsketten komplex und die wenig transparente Funktionsweise der Märkte unterliegt einer hohen Volatilität. Gleichzeitig gibt es nur wenige Erzeugerländer. Bei Lithium, Kobalt und seltenen Erden beherrschen die drei größten Akteure über drei Viertel der weltweiten Produktion. Die Frage der Versorgungssicherheit darf daher nicht vernachlässigt werden. Eine rein geopolitische Auslegung des Themas kritische Metalle erscheint dennoch nicht unbedingt sinnvoll denn auch die technologischen, sozialen und ökologischen Aspekte der kritischen Metalle sind zu berücksichtigen. Der starke Flächenbedarf der Bergwerke, die Spannungen bezüglich der Wasserversorgung und die fehlende Achtung der Menschenrechte in bestimmten Ländern werfen die Frage nach dem Mehrwert der Energiewende im Hinblick auf den Umweltschutz und die Achtung von lokalen Bevölkerungen auf.

Die Europäische Union verfügt in diesem Zusammenhang über eine Reihe einander nicht ausschließender Möglichkeiten: Verbesserung der Rückverfolgbarkeit, verstärkter Abbau von Metallen in den Mitgliedstaaten, Ermittlung alternativer Ressourcen und Recycling. Problematisch gestalten sich hierbei allerdings die gesellschaftliche Akzeptanz sowie Fragen der Umweltrisiken und der Wirtschaftlichkeit. Der aktuelle Neuaufschwung der Bergbautätigkeit in den nordeuropäischen Ländern könnte zwar die Ansiedlung industrieller Zentren für die Batterieproduktion erleichtern; dabei dürfen jedoch die ökologischen Herausforderungen nicht vernachlässigt werden. Vor diesem Hintergrund erscheint das Recycling als vielversprechende Perspektive.

In Europa werden Metalle wie Eisen, Zink und Platin zu über 50 % recycelt. Damit können 25 % des Verbrauchs der EU gedeckt werden. Bei verschiedenen anderen Metallen ist die Recyclingquote jedoch ausgesprochen niedrig; so wird Kobalt aus Batterien zu 32 % recycelt, Lithium hingegen nur selten. Die Schwierigkeit liegt in der Zusammensetzung der Batterien und der mit ihrer Entsorgung verbundenen Explosions- und Brandgefahr. Auch in wirtschaftlicher Hinsicht gestaltet sich das Recycling von Metallen aus Geräten aufgrund ihrer geringen Mengen und der Tatsache, dass die Metalle mit anderen Materialien verbunden sind, schwierig.

Angesichts der Herausforderungen, die sich daher mit Blick auf die Versorgungssicherheit und die Nachhaltigkeit der Energiewende stellen, hat die EU insbesondere im Batteriebereich ihre Rechtsvorschriften verschärft. Damit sollen die europäische Autarkie verstärkt und die europäischen Standards über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg erhöht werden. Ziel ist es, die Rückverfolgbarkeit der Metalle zu verbessern, den Anteil der recycelten Metalle in Batterien nach und nach zu erhöhen und den Aufbau von Wertschöpfungsketten auf europäischem Boden zu erleichtern, damit die EU von den positiven Auswirkungen der Energiewende auf Beschäftigung und Innovation profitieren kann.



## Inhalt

|   |    |
|---|----|
| Disclaimer  | 2  |
| Angaben zur Veröffentlichung und zum Autor  | 2  |
| Zusammenfassung   | 3  |
| I. Einführung   | 5  |
| II. Nachfragedynamik und Beschaffungsrisiken  | 6  |
| II.1 Unterschiedliche Definitionen der „kritischen“ Eigenschaft von Metallen                      | 6  |
| II.2 Ein abzusehender starker Anstieg der Metallnachfrage   | 8  |
| II.3 Geografische Verteilung der weltweiten Vorkommen und Reserven                                | 10 |
| III. Wichtige Herausforderungen in Bezug auf nachhaltige Entwicklung und technologische Kompetenz | 13 |
| III.1 Die geopolitischen und geökonomischen Herausforderungen der seltenen Erden                  | 13 |
| III.2 Der Nachhaltigkeitsaspekt der Energiewende  | 14 |
| III.3. Strategien zur Diversifizierung der Beschaffung zeichnen sich ab                           | 15 |
| III. Eine europäische Antwort basierend auf dem Produktlebenszyklus                               | 18 |
| IV.1 Die Suche nach einer zuverlässigen Rückverfolgbarkeit  | 18 |
| IV.2 Die bisher wenig erfolgreiche Suche nach alternativen Materialien                            | 19 |
| IV.3. Die Wiederbelebung des Bergbaus in Europa: möglich, aber unwahrscheinlich                   | 19 |
| IV.4. Die Recycling-Option  | 22 |
| Abkürzungen   | 26 |
| Literaturhinweise   | 27 |

## I. Einführung

Das Vorschreiten der Energiewende wird zu einer erheblichen Nachfrage nach Metallen und Mineralien führen (Abbildung 1), von denen die meisten in Europa entweder nicht vorkommen oder nicht abgebaut werden. Laut einer Untersuchung der IEA wird sich selbst unter Beibehaltung der aktuellen Klimapolitik die diesbezügliche Nachfrage nach Metallen bis 2040 verdoppeln. Sollten die Beschlüsse des Pariser Abkommens umgesetzt werden, könnte sich die Nachfrage sogar versechsfachen<sup>1</sup>. Zwar können erneuerbare Energien und Speichertechnologien theoretisch dazu beitragen, die Energieabhängigkeit Europas zu verringern; gleichzeitig aber wird der Bedarf an Rohstoffen für die Entwicklung der erforderlichen Infrastrukturen und Ausrüstung zu neuen Importabhängigkeiten führen.

So werden beispielsweise für Windenergieanlagen große Mengen an Basismetallen wie Stahl, Nickel und Kupfer und in manchen Fällen seltene Erden benötigt. Diese sind auch in den Motoren von Elektrofahrzeugen zu finden, deren Batterien zudem Nickel, Lithium, Graphit, Mangan und Kobalt enthalten können. Die für die Herstellung und Speicherung von Wasserstoff erforderlichen Elektrolyseure und Brennstoffzellen bestehen unter anderem aus Nickel und Platin. Nicht zu vergessen ist der generelle Bedarf an Metallen aufgrund der fortschreitenden Elektrifizierung, insbesondere Kupfer für den Aufbau zusätzlicher Stromnetze.

Die Energiewende trägt daher keineswegs zur Besänftigung der internationalen Beziehungen bei; vielmehr könnte sie zu neuen Spannungen führen, da die benötigten Metalle aus einer begrenzten Anzahl von Ländern und insbesondere aus China stammen. Weltweit haben verschiedene Länder, darunter die Vereinigten Staaten, Japan und Australien, Listen mit als kritisch eingestuften Metallen für vielfältige Einsatzbereiche erstellt und Strategien entwickelt, um ihre Abhängigkeit von den wenigen vorhandenen Anbietern zu verringern.

Auf Seiten der EU rief der europäische Kommissar Maros Šefčovič 2018 zu „großer Wachsamkeit“ auf, um sicherzustellen, dass die Abhängigkeit im Bereich Öl und Gas nicht langfristig durch eine Abhängigkeit bei den für die Energiewende erforderlichen Metallen abgelöst wird. Jenseits der Frage nach der Kontrolle der betroffenen Ressourcen stellen deren Raffinierung und Integration in Industrieprozesse eine erhebliche Herausforderung für eine nach strategischer Unabhängigkeit strebende EU dar.

|                                | Kupfer | Kobalt | Nickel | Lithium | Seltene Erden | Chrom | Zink | Platin | Aluminium |
|--------------------------------|--------|--------|--------|---------|---------------|-------|------|--------|-----------|
| Photovoltaik                   | ●      | ●      | ○      | ○       | ○             | ○     | ○    | ○      | ●         |
| Windenergie                    | ○      | ○      | ●      | ○       | ○             | ●     | ●    | ○      | ●         |
| Wasserkraft                    | ●      | ○      | ○      | ○       | ○             | ●     | ●    | ○      | ●         |
| CSP                            | ●      | ○      | ○      | ○       | ○             | ●     | ●    | ○      | ●         |
| Netze                          | ●      | ○      | ○      | ○       | ○             | ○     | ○    | ○      | ●         |
| Batterien und Elektrofahrzeuge | ●      | ●      | ●      | ●       | ●             | ○     | ○    | ○      | ●         |
| Wasserstoff                    | ○      | ○      | ●      | ○       | ●             | ○     | ○    | ●      | ●         |

Hoher Bedarf    
  Erheblicher Bedarf    
  Geringer Bedarf

Abbildung 1 – Bedarf an Metallen nach Technologien Quelle: IEA 2021, [The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions – World Energy Outlook Special Report](#), S. 45. (auf Englisch). Darstellung: DFBEW

<sup>1</sup> IEA 2021, [The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions – World Energy Outlook Special Report](#) (auf Englisch). Stand 10. Juli 2021.

Die Prognosen fallen je nach Autor unterschiedlich aus und können zudem jederzeit durch technologische Fortschritte in Frage gestellt werden. Sicher scheint, dass der Bedarf an verschiedenen Metallen innerhalb weniger Jahre stark zunehmen wird. Nach Angaben der Europäischen Kommission könnte der Lithiumbedarf der EU für Elektrofahrzeuge und Speichersysteme bis 2030 um das 18-fache (bis 2050 um das 60-fache) und der Kobaltbedarf um das 5-fache (bis 2050 um das 15-fache) steigen. Auch der Bedarf an seltenen Erden wird sich bis 2050 voraussichtlich verzehnfachen<sup>2</sup>. Für diese Metalle ist die EU einerseits von anderen Ländern abhängig, andererseits ist die Zahl der Erzeugerländer beschränkt und die dortige Umwelt- und Sozialgesetzgebung oft unzureichend.

Das Thema verdient umso mehr Aufmerksamkeit, da der Materialbedarf der erneuerbaren Energien in ihrem derzeitigen Entwicklungsstand bei gleicher Nennleistung über dem der konventionellen Energien liegt. Dabei führen das demografische Wachstum, der steigende Lebensstandard in den sogenannten Schwellenländern und die Verbrauchsgewohnheiten in den Industrieländern bereits zu Spannungen auf den Metallmärkten.

Allerdings erscheint eine Entwicklung von Szenarien zu den für die Energiewende benötigten Rohstoffen aufgrund der zahlreichen zu berücksichtigenden Faktoren (Entwicklung der Nachfrage, Strategie Chinas, geopolitische Spannungen, Spekulation, Widerstand der lokalen Bevölkerung, Umweltvorschriften usw.) und der Tatsache, dass technologische Entwicklungen plötzlich eintreten können, sehr schwierig.

Vor allem aber stellen die kritischen Metalle unabhängig von den möglichen Risiken für die Versorgungssicherheit einen zentralen Aspekt der sozialen und ökologischen Nachhaltigkeit der Energiewende dar. Umso wichtiger ist es, dass die europäischen Länder ihre Recyclingkapazitäten und eine effiziente Rückverfolgbarkeit ausbauen oder sogar den heimischen Bergbau wiederbeleben.

Im vorliegenden Hintergrundpapier wird zunächst ein Überblick über den aktuellen Stand von Angebot und Nachfrage der sogenannten kritischen Metalle im Rahmen der Energiewende gegeben. Anschließend werden die verschiedenen Herausforderungen im Zusammenhang mit diesen Metallen erläutert und die Vor- und Nachteile der Optionen dargelegt, die auf europäischer Ebene zur Verfügung stehen.

## II. Nachfragedynamik und Beschaffungsrisiken

Einige der für die modernen Volkswirtschaften wesentlichen Metalle sind sowohl für die Erneuerbare-Energien-Branche als auch für die Herstellung von Batterien unverzichtbar. Der häufig für sie verwendete Begriff „kritisch“ muss dabei genauer beleuchtet werden.

### II.1 Unterschiedliche Definitionen der „kritischen“ Eigenschaft von Metallen

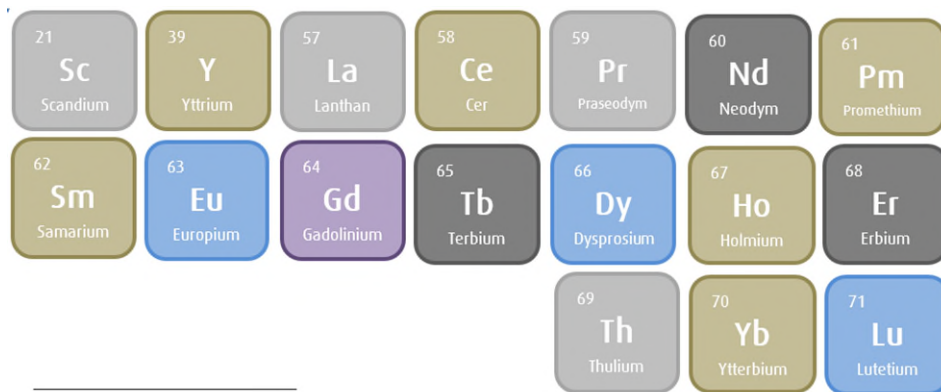
Für die „kritischen“ Eigenschaften der betreffenden Metalle gibt es keine wissenschaftliche Definition; lediglich die Kategorie der seltenen Erden ist wissenschaftlich abzugrenzen. Dazu zählen Scandium, Yttrium, Lanthan sowie die 14 Elemente, die im Periodensystem auf Lanthan folgen (Abbildung 2)<sup>3</sup>. Die meisten dieser sogenannten seltenen Erden sind weltweit reichlich vorhanden. Aber ihr Konzentrationsgrad im Boden ist niedrig und die Trennung der Elemente erfordert spezielle und kapitalintensive Technologien.

---

<sup>2</sup> Europäische Kommission 2020, *Widerstandsfähigkeit der EU bei kritischen Rohstoffen: Einen Pfad hin zu größerer Sicherheit und Nachhaltigkeit abstecken*, Stellungnahme der Kommission für das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, COM(2020) 474 final, 3. September 2020, S. 5.

<sup>3</sup> ICMM 2021, *Que sont les minéraux et les métaux ?* (auf Französisch), ICMM. Stand 10. Juni 2021.





**Abbildung 2** – Übersicht der 17 seltenen Erden. Quelle: Französische Agentur für ökologischen Wandel (*Agence de la transition écologique*, ADEME) 2020, [Les métaux : des ressources qui pourraient manquer ?](#) (auf Französisch). Darstellung: DFBEW

Vor allem zur Verbesserung der Hochtemperaturleistung der Metalle, mit denen sie verbunden sind, sind seltene Erden von entscheidender Bedeutung. Sowohl in der militärischen als auch zivilen Ausrüstung<sup>4</sup> kommen sie in zahlreichen Anwendungen zum Einsatz. Mit Bezug auf die Energiewende sind sie in Permanentmagneten zu finden, die teilweise für die Motoren von Elektrofahrzeugen und Windkraftanlagen benötigt werden (siehe unten).

Bei anderen Metallen hängt die Verwendung des Adjektivs „kritisch“ oder „strategisch“ von verschiedenen objektiven und subjektiven Faktoren ab. In den vergangenen Jahren wurden verschiedene Listen mit sogenannten „kritischen“ Metallen aufgestellt. Die EU erstellte 2011 eine erste Liste. Von ursprünglich 14 Metallen<sup>5</sup> wurde diese 2014 auf 20<sup>6</sup>, 2017 auf 27<sup>7</sup> und 2020<sup>8</sup> auf 30 Metalle erweitert (siehe Abbildung 3). Diese Metalle werden als kritisch eingestuft, da sie eine herausragende Rolle in der Wertschöpfungskette spielen, von nur wenigen Ländern geliefert werden, schwer zu ersetzen sind, keine signifikante Recyclingquote aufweisen und ihre Nachfrage voraussichtlich stark zunehmen wird (laut EU-Definition sind die ermittelten kritischen Rohstoffe von hoher wirtschaftlicher Bedeutung und gleichzeitig einem Beschaffungsrisiko ausgesetzt, siehe Abbildung 4). Die Liste der Vereinigten Staaten von 2018 umfasst 35 Metalle<sup>9</sup>; die japanische Liste von 2012 stuft 30 Mineralien als strategisch ein, darunter seltene Erden, wenig verbreitete Metalle wie Indium und Platin und Basismetalle (Eisen, Kupfer, Blei) (Hatayama, Tahara, 2015). Die unterschiedliche Bewertung von Metallen dieser Länder ist durch die im jeweiligen Land verfügbaren Reserven und durch die Wahrnehmung der Beschaffungsrisiken im Verhältnis zum geschätzten Bedarf bedingt.

|           |                       |                       |                |           |
|-----------|-----------------------|-----------------------|----------------|-----------|
| Antimon   | Kokskohle             | Leichte seltene Erden | Platinoide     | Wolfram   |
| Baryt     | Flussspat             | Indium                | Rohphosphat    | Vanadium  |
| Beryllium | Gallium               | Magnesium             | Phosphor       | Bauxit    |
| Bismut    | Germanium             | Naturgraphit          | Scandium       | Lithium   |
| Borat     | Hafnium               | Naturkautschuk        | Siliziummetall | Titan     |
| Kobalt    | Schwere seltene Erden | Niobium               | Tantal         | Strontium |

**Abbildung 3** – EU-Liste der kritischen Rohstoffe von 2020 Quelle: Europäische Kommission 2020, [COM\(2020\) 494](#) . Darstellung: DFBEW

<sup>4</sup> Beispiele für Permanentmagneten: Katalysatoren, Laser, Glas- und Keramiksektor, medizinische Bildgebung usw.

<sup>5</sup> Europäische Kommission 2011, *Stellungnahme der Europäischen Kommission, Grundstoffmärkte und Rohstoffe: Herausforderungen und Lösungsansätze*, COM(2011) 25.

<sup>6</sup> Europäische Kommission 2014, *Mitteilung über die Überprüfung der Liste kritischer Rohstoffe für die EU und die Umsetzung der Rohstoffinitiative*, COM(2014) 297.

<sup>7</sup> Europäische Kommission 2017, *Mitteilung der Europäischen Kommission über die Liste kritischer Rohstoffe für die EU 2017*, COM(2017) 490.

<sup>8</sup> Europäische Kommission 2020, *Stellungnahme der Europäischen Kommission, Widerstandsfähigkeit der EU bei kritischen Rohstoffen: Einen Pfad hin zu größerer Sicherheit und Nachhaltigkeit abstecken*, COM(2020) 494.

<sup>9</sup> US Department of the Interior 2018, *Final List of Critical Minerals 2018* (auf Englisch), in *Federal Register*, Vol. 83, No. 97 (18. Mai 2018), S. 23295-23296. Stand 12. Juni 2020.



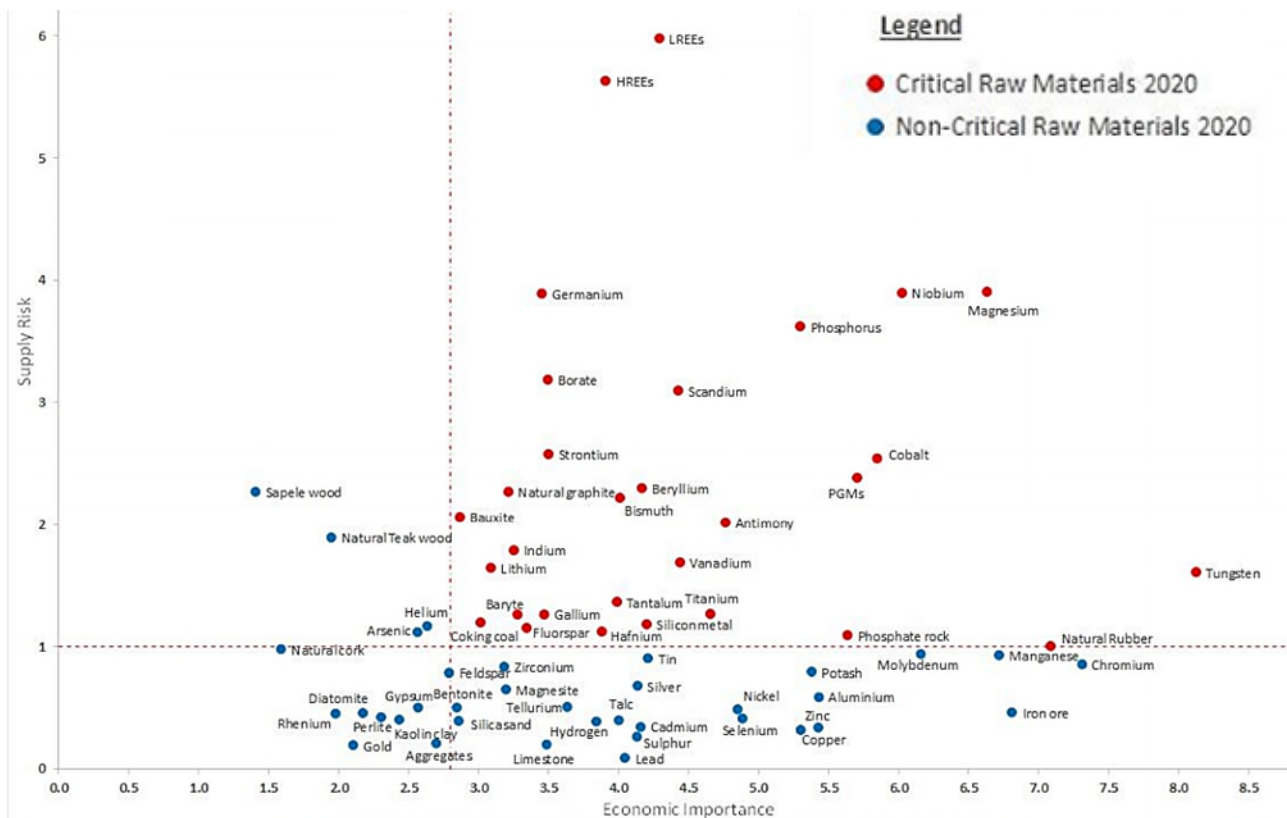


Abbildung 4 - Wirtschaftliche Bedeutung und Beschaffungsrisiko der von der EU ausgewiesenen kritischen Metalle (Bewertung der kritischen Eigenschaften von 2020): Europäische Kommission 2020, [Study on the EU's list of Critical Raw Materials](#) (auf Englisch).

## II.2 Ein abzusehender starker Anstieg der Metallnachfrage

Die steigende Bedeutung von erneuerbaren Energien und Elektrofahrzeugen wird zu einer Verringerung des Anteils an fossilen Brennstoffen führen. Gleichzeitig wird der Metallverbrauch mit den Fortschritten der Energiewende wachsen. Unter der Voraussetzung der Umsetzung der wichtigsten Verpflichtung des Pariser Abkommens (ein Temperaturanstieg von deutlich unter 2° C) wird sich der Metallverbrauch bis 2040 vervierfachen. Bei Erreichen der Klimaneutralität bis 2050 würde sich dieser Verbrauch bis 2040 versechsfachen (IEA, 2021).

Allerdings kann die Entwicklung der Nachfrage nur schwer vorausgesagt werden. Die IEA (2021) schätzt, dass der Kobaltbedarf je nach Effizienz der Klimapolitik und technologischer Entwicklung auf das 6- bis 30-fache des derzeitigen Bedarfs ansteigen könnte. Die Nachfrage nach seltenen Erden könnte sich aus den gleichen Gründen um das 3- bis 7-fache erhöhen.

Elektrofahrzeuge, auf die der steigende Verbrauch von Metallen größtenteils zurückzuführen ist, haben aktuell noch einen geringen Marktanteil (4 % im Jahr 2021<sup>10</sup>); allerdings können sie von einem begünstigendem Umfeld profitieren. Wurden 2018 weltweit noch rund zwei Millionen Elektrofahrzeuge verkauft, könnte diese Zahl auf 20 bis 38 Millionen jährlich ansteigen (IEA, 2020). Bei den Motoren kommen manche Technologien ohne Permanentmagneten (und damit ohne seltene Erden) aus, wie beispielsweise der in den 1920er Jahren von Nikola Tesla entwickelte Induktionsmotor<sup>11</sup>.

<sup>10</sup> IEA 2021, [Global EV Outlook 2021](#) (auf Englisch). Stand 28. Juni 2020.

<sup>11</sup> Manche Modelle verwenden einen schaltbaren Reaktionsgenerator, der seltene Erden enthält.



Einige Hersteller haben sich für einen Synchronmotor mit gewickeltem Rotor entschieden, der ebenfalls keine seltenen Erden benötigt. Die übrigen Hersteller sind auf asiatische Anbieter von seltenen Erden oder Permanentmagneten angewiesen, zumal auch die derzeit im Automobilsektor vorherrschenden Bleibatterien nicht die erforderlichen Eigenschaften für Elektrofahrzeuge ausweisen. Für sie ist der Einsatz von Lithium-Ionen-Akkumulatoren unumgänglich. Kobalt, Lithium, Nickel und Graphit sind hier wichtige Bestandteile, kommen allerdings je nach Technologie in unterschiedlichen Anteilen vor<sup>12</sup>.

Da die Automobilindustrie um Zulieferer herum strukturiert ist, wurde auch die Frage der kritischen Metalle zumeist deren Initiative überlassen. Dies führte dazu, dass einer kurzfristigen Kostenwettbewerbsfähigkeit Vorrang gegenüber einer langfristigen strategischen Gesamtvision eingeräumt wurde. Zwar treten die benötigten Komponenten für Batterien bereits in verschiedenen mobilen Geräten auf, die Elektromobilität wird jedoch zu neuen Voraussetzungen führen, da die erforderlichen Mengen nicht mit der aktuellen Nachfrage vergleichbar sind. Dies ist nicht nur auf die Elektrofahrzeugbranche, sondern auch auf Fortschritte bei den ortsfesten Speichersystemen zurückzuführen. Hier stehen vielfältige Technologien zur Verfügung. Am weitesten verbreitet ist wie bei den Batterien für Elektrofahrzeuge auch hier die Lithium-Ionen-Lösung, obwohl sich die wiederaufladbare Redox-Flow-Batterie bei der Langzeitspeicherung als vorteilhaft erweist.

Auch der Aufschwung der erneuerbaren Energien wird bei der Windenergie- oder der Photovoltaik zu einem steigenden Verbrauch von Metallen beitragen. Neben dem Nichtmetall Beton werden für mit Permanentmagneten ausgestattete Windenergieanlagen Stahl, Eisen, Aluminium, Kupfer, Zink und seltene Erden (insbesondere Neodym und Dysprosium) benötigt. Derzeit wird der Markt zu 70 % von Windenergieanlagen ohne Permanentmagneten beherrscht, allerdings ist der Marktanteil der Anlagen mit Permanentmagneten zwischen 2010 und 2020 von 10 % auf 20 % gestiegen. Diese sind insbesondere bei der Offshore-Windenergie vorherrschend, wo für die kommenden Jahre ein starker Ausbau zu erwarten ist<sup>13</sup>.

Die Photovoltaikbranche ist von der Problematik der kritischen Metalle weniger betroffen. Dennoch sollte sie nicht außer Acht gelassen werden, da sich ihr spektakuläres Wachstum durchaus auf die Metallnachfrage auswirken kann. Die IEA geht in ihren beiden Szenarien STEPS und SDS<sup>14</sup> davon aus, dass 45 % der bis 2040 hinzukommenden Stromerzeugungskapazität durch neue Photovoltaikanlagen erzeugt werden könnten. Obwohl verschiedene Technologien zur Verfügung stehen, baut fast der gesamte Markt auf dem Halbmetall kristallines Silizium (c-Si) auf, da die verschiedenen Varianten der Dünnschichttechnologie (CdTe<sup>15</sup>, CIGS<sup>16</sup>) bisher noch nicht in großem Maßstab industrialisiert wurden. Neben dem reichlich vorhandenen Silizium enthalten c-Si-Module Kupfer und Silber (weniger als 0,1 % des Gesamtgewichts). Für Dünnschichttechnologien werden weder Silber noch Silizium, aber stattdessen Cadmium (für CdTe-Module), Indium und Gallium (für CIGS-Module) benötigt.

Auch die Wasserstofftechnologie, für die ein starkes Wachstum prognostiziert wird, trägt zu einem Anstieg der Metallnachfrage bei, insbesondere für Elektrolyseure (Nickel und Zirkonium) und Brennstoffzellen (Platin).

Letztendlich dürfte die Energiewende also zu einem rasanten Anstieg des Metallbedarfs führen, insbesondere wenn sie in einem raschen Tempo vollzogen wird, um die Ziele des Pariser Abkommens zu erreichen. Auch auf Angebotsseite besteht eine starke Ungewissheit, da geopolitische Spannungen, wirtschaftliche und soziale Krisen, Pandemien und

---

<sup>12</sup> So benötigen NMC-111-Batterien (Nickel, Mangan, Kobalt) achtmal mehr Kobalt als NCA-Batterien (Nickel-Kobalt-Aluminium), aber nur halb so viel Nickel. Lithium-Eisenphosphat-Akkumulatoren kommen ohne Nickel, Kobalt oder Mangan aus, benötigen aber 50 % mehr Kupfer als NMC-Batterien.

<sup>13</sup> Die Windenergieanlage benötigt dabei entweder ein Getriebe oder einen Permanentmagneten, um eine optimale Erzeugung der Rotoren zu gewährleisten. Aufgrund der Windschwankungen ist das Getriebe ständig Stößen ausgesetzt und stellt daher eine Schwachstelle der Maschine dar. Angesichts der technischen und logistischen Herausforderungen bei der Offshore-Wartung ermöglicht der Einsatz eines Permanentmagneten anstelle des Getriebes die Aufhebung dieser Schwachstelle bei gleichzeitiger Reduzierung des Gewichts der Windenergieanlage. Der Magnet enthält unter anderem Neodym und in geringerem Maße Dysprosium (vom griechischen Wort für „schwer zu beschaffen“).

<sup>14</sup> *Stated Policies Scenario et Sustainable Development Scenario*.

<sup>15</sup> Cadmium-Tellurid. Module aus Cadmiumtelluridzellen.

<sup>16</sup> Copper Indium Gallium Diselenide (Kupfer, Indium, Gallium und Diselenid).



staatliche Strategien hier vorübergehend zu starken Schwankungen führen können. Ganz zu schweigen von der Tätigkeit von Hedgefonds, die Rohstoffbestände aus spekulativen Gründen aufkaufen können<sup>17</sup>. Ist deshalb aber eine Erschöpfung der Ressourcen zu befürchten?

## II.3 Geografische Verteilung der weltweiten Vorkommen und Reserven

Die aufgezeigte starke Nachfrage kann dazu führen, dass sich das Angebot an Metallen wiederum auf den Verlauf der Energiewende auswirkt, denn die Preise für Metalle stellen einen entscheidenden Faktor für die Wettbewerbsfähigkeit von Industrieanlagen dar.

Die Kosten für Lithium-Ionen-Akkumulatoren sind innerhalb eines Jahrzehnts um rund 90 % gesunken (IEA, 2021); dabei machen die Preise für Metalle zwischen 50 und 70 % ihrer Gesamtkosten aus. Daher könnten mögliche Spannungen bei den Rohstoffpreisen den Ausbau dieser Technologien spürbar beeinträchtigen. Die Risiken hängen von den jeweiligen Technologien und Zeithorizonten ab. Der IEA zufolge dürfte das Lithium- und Kobaltangebot die Nachfrage kurzfristig übertreffen, während bei Nickel und bestimmten seltenen Erden das Risiko von Versorgungsengpässen bereits als erwiesen gilt. Längerfristig und unter der Voraussetzung einer ehrgeizigen Klimapolitik und technologischer Lösungen, die mit den heute bestehenden vergleichbar sind, könnte jedoch bis 2030 die Lithium- und Kobaltnachfrage zur Hälfte und die Kupfernachfrage zu 80 % gedeckt werden.

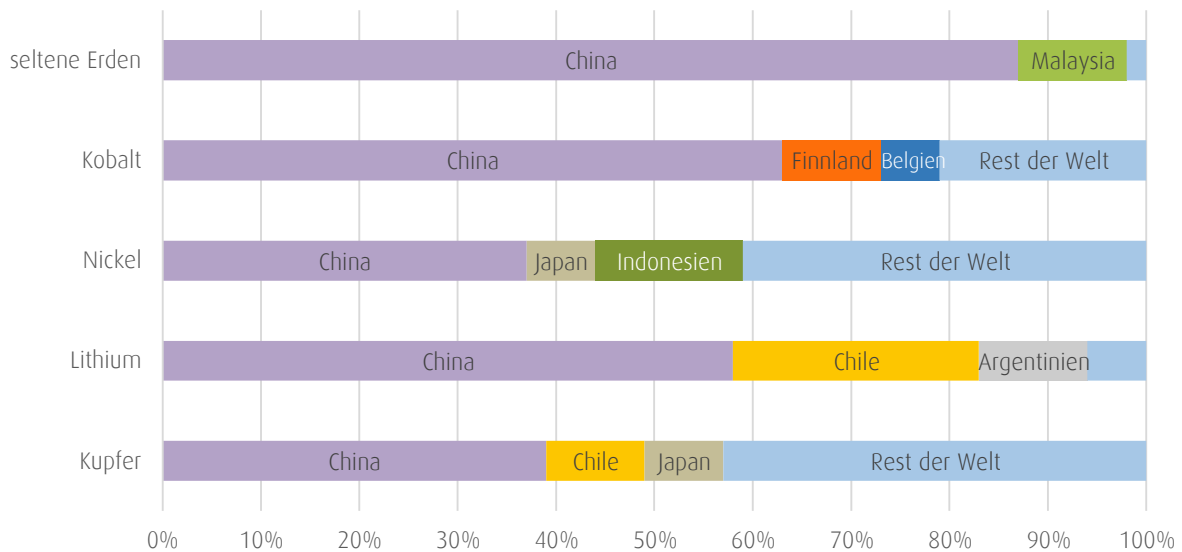
Allerdings bestehen weitere Unsicherheiten und die Daten über das Vorkommen von Metallen in den einzelnen Ländern sagen wenig über die Gefahr von Versorgungsengpässen aus. Auch muss unterschieden werden zwischen Vorkommen, Ressourcen (bekannte Vorkommen, die eventuell abgebaut werden können) und Reserven (unter technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten abbaubare Ressourcen). Die Zahlen stammen größtenteils von öffentlichen geologischen Instituten (insbesondere dem USGS); präzisere Daten dagegen bleiben meist den Händlern und Bergbaugesellschaften vorbehalten. Deren Kommunikation zu diesem Thema folgt einer genauen Methodik<sup>18</sup> und nicht alle Unternehmen geben diese Informationen weiter.

Verschiedene Risiken müssen daher in Betracht gezogen werden: Einerseits sind die Wertschöpfungsketten komplexer als bei den fossilen Energien und die Funktionsweise der Märkte ist wenig transparent und unterliegt teilweise einer starken Volatilität. Andererseits ist die Zahl der Erzeugerländer gering (Abbildung 5). Bei Lithium, Kobalt und seltenen Erden beherrschen die drei größten Erzeuger über drei Viertel der weltweiten Produktion (s. unten). Einige Länder haben sogar fast eine Monopolstellung inne, wie etwa Südafrika beim Platin oder die Demokratische Republik Kongo bei Kobalt; auf China entfallen 60 % der Produktion seltener Erden.

---

<sup>17</sup> Im Jahr 2017 kauften sechs Fonds 6 000 Tonnen Kobalt auf (d. h. 17 % der weltweiten Produktion von 2016). H. Sanderson 2017, *Electric carmakers on battery alert after funds stockpile cobalt* (auf Englisch), Financial Times.

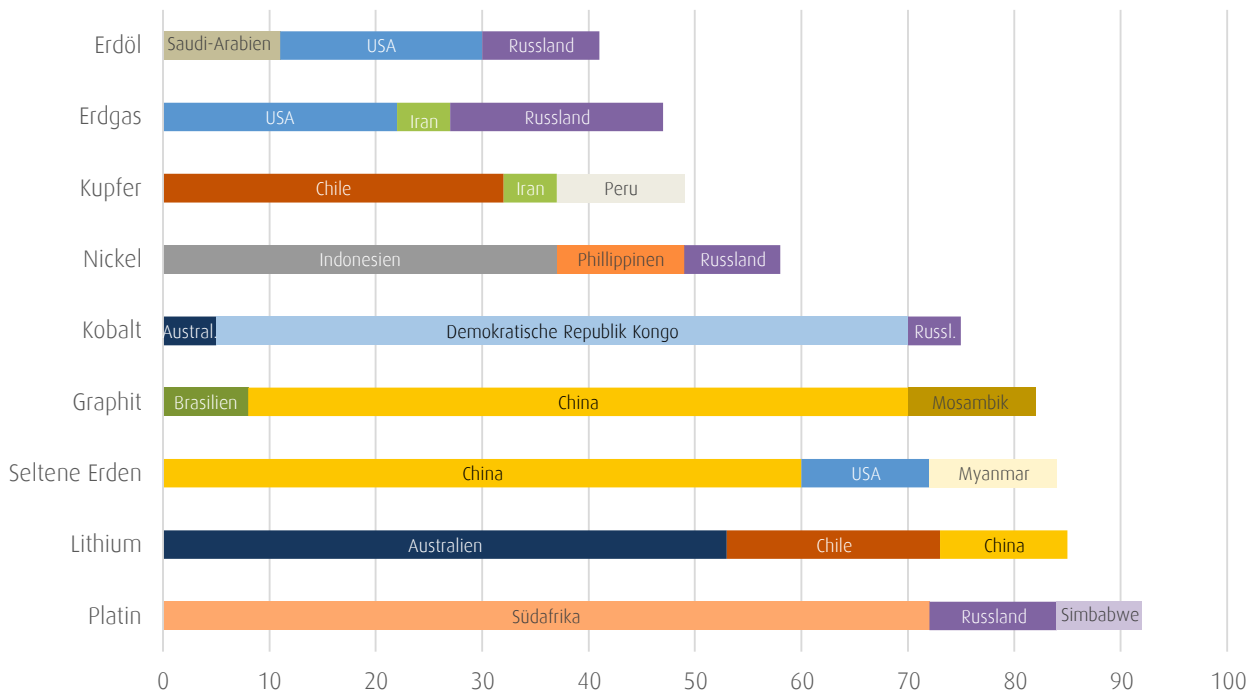
<sup>18</sup> Eine Methode, die vom CRIRSCO (*Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards*) entwickelt wurde, das dem ICMM (*International Council on Mining and Metals*) zugeordnet ist.



**Abbildung 5** - Geografische Verteilung der Produktion von Öl, Gas und ausgewählten Metallen (die jeweiligen drei wichtigsten Förderländer), 2019. Quelle: IEA 2021, [The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions – World Energy Outlook Special Report](#) S. 30. (auf Englisch). Darstellung: DFBEW

Die geografische Verteilung muss zudem in verschiedener Hinsicht betrachtet werden: Verteilung der Reserven oder Ressourcen einerseits, der in Betrieb befindlichen Bergwerke andererseits und schließlich der Raffinerien oder Schmelzwerke. Die Veredelung ist vor allem wegen der dominanten Rolle Chinas besonders stark geografisch konzentriert (Abbildung 6): 35 % der Nickelveredelung entfallen auf das Land, bei Lithium und Kobalt schwankt der Anteil zwischen 50 und 70 % und bei den seltenen Erden liegt er bei 90 %.

Die Geschichte der seltenen Erden ist europäisch geprägt. Sie begann 1787 in Schweden, als der schwedische Hobbymineraloge (und Artillerieleutnant) Carl Axel Arrhenius in den Ytterby-Steinbrüchen nördlich von Stockholm (in denen Rohstoffe zur Porzellanentwicklung abgebaut wurden) ein schwarzes Mineral entdeckte. Das industrielle Kapitel der seltenen Erden begann in den Vereinigten Staaten während des Zweiten Weltkriegs mit dem Manhattan-Projekt zum Bau einer Atombombe. In den darauf folgenden Jahren setzten sich die Vereinigten Staaten dank der kalifornischen Mountain-Pass-Mine an die Weltmarktspitze. Chinas Eintritt auf dem Markt für seltene Erden erfolgte zu einer Zeit, als diese für immer zahlreichere Anwendungen benötigt wurden (angefangen mit Europium für Farbfernsehgeräte). Angesichts der mit dem Abbau von seltenen Erden verbundenen Kosten und Umweltauswirkungen zogen sich die meisten Förderländer – allen voran die USA – nach und nach aus der Produktion zurück.



**Abbildung 6** - Wichtigste Länder im Metallveredelungsbereich, 2019. Quelle: IEA 2021, [The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions – World Energy Outlook Special Report](#), S. 33. (auf Englisch) Darstellung: DFBEW

Die Tatsache, dass China heute praktisch eine Monopolstellung innehat, ist also nicht auf die Rohstoffkonzentration in seinen Böden zurückzuführen, sondern darauf, dass sich die meisten anderen Länder aus dem Abbau und der Verarbeitung zurückgezogen haben, da diese finanziell wenig lohnend und zudem umweltschädlich sind. Durch den Abbau von Rohstoffen und vor allem durch seine führende Rolle bei der Metalltrennung und -verwertung ist China heute in der Lage, seine Wettbewerbsvorteile auf dem Markt für Metalle auszubauen, die zwar nur in sehr geringen Mengen verwendet werden, aber aufgrund ihrer Eigenschaften meist alternativlos sind.

Australien ist weltweit der zweitgrößte Erzeuger. Die dortige Produktion ist noch moderat, obwohl das Land über die fünfgrößten bekannten Reserven verfügen soll und erst spät (2007) mit dem Abbau begonnen hat. Die Verwertung seltener Erden bietet dem Land neues Wachstumspotenzial, nachdem bereits seine Eisenerz- und Kohleexporte vom chinesischen Wachstum profitierten. Darüber hinaus kann es so (gemeinsam mit seinem amerikanischen Verbündeten) auf strategische Anforderungen eingehen<sup>19</sup> und der Dekarbonisierung gewidmete Industrien ausbauen.

Auch beim Lithium ist das Angebot geografisch konzentriert. Hier stammen 90 % der Produktion aus den drei Ländern Australien, Argentinien und Chile. In Lateinamerika enthalten die argentinischen, bolivianischen und chilenischen Salzseen (*Salars*) schätzungsweise die Hälfte der weltweit bekannten Reserven. Die Produktionsunterschiede zwischen den Ländern der Region lassen sich teilweise durch geografische Gegebenheiten erklären (das Klima in Bolivien ist besonders ungünstig); den entscheidenden Faktor stellt jedoch das wirtschaftliche und politische Umfeld dar. So kann Chile sich auf einen für ausländische Investoren günstigen Rechtsrahmen, auf seine niedrigen Energiekosten und auf seine Hafeninfrastrukturen stützen. In Australien, einem weiteren führenden Produktionszentrum, stellt sich der geologische Kontext völlig anders dar. Hier wird Lithium aus Gestein gewonnen. Dieses Verfahren ist weniger zeitaufwendig und verbraucht weniger Wasser, ist aber aufgrund der über den gesamten Herstellungsprozess hinweg benötigten Energie auch teurer.

<sup>19</sup> J. Smyth 2019, *Australia's 15 projects aim to break China rare earths dominance* (auf Englisch), Financial Times.



Auch das Nickelangebot ist mit Indonesien als wichtigstem Exporteur sehr konzentriert. 2014 und 2020 führte die Entscheidung des Landes<sup>20</sup>, seine Ausfuhren zu begrenzen, um die betroffenen Branchen aufzubauen<sup>21</sup>, zu einem Anstieg der Weltmarktpreise. Ähnlich verhält sich die Lage auch bei Kobalt. Etwa zwanzig Länder verfügen über aktive Minen, darunter China (8 % der weltweiten Erzeugung), Kanada und Frankreich (durch Neukaledonien). Weltweit gesehen ist jedoch die Demokratische Republik Kongo mit rund 70 % des weltweit geförderten Kobalts das wichtigste Anbieterland. Nur wenige Minen dienen ausschließlich der Kobaltgewinnung, die wichtigste ist Bou Azzer in Marokko. Bei den meisten anderen Minen fällt Kobalt als Nebenprodukt anderer Metalle vor allem von Nickel und Kupfer an, die gleichzeitig abgebaut werden.

Chile ist weltweit der größte Kupferproduzent und konnte von der chinesischen Nachfrage profitieren. 2019 wurden 80 % der chilenischen Produktion in vier asiatische Länder (China, Japan, Indien und Südkorea) geliefert, wobei allein auf China ein Drittel der Gesamtproduktion entfiel (Bieritz und Mönnig, 2020). Bis Anfang der 2000er Jahre war auch die Veredelung auf Südamerika konzentriert, bevor es China mithilfe umfangreicher Investitionen gelang, die Hälfte der weltweiten Veredelungskapazität auf seinem Staatsgebiet anzusiedeln.

Die hohe Nachfrage aufgrund der geografischen Konzentration des Angebots, der Komplexität der Wertschöpfungsketten und der technologischen Entwicklungen stellt bei den meisten der sogenannten kritischen Metalle eine Herausforderung dar. Hinzu kommt, dass auch bei den Bergbauunternehmen eine starke Konzentration herrscht: Fast die Hälfte der weltweiten Erzeugung von Metallen liegt in der Hand von etwa einem Dutzend dieser Unternehmen (BRGM, 2019). Die Frage der Versorgungssicherheit darf daher nicht vernachlässigt werden, auch wenn es wenig sinnvoll erscheint, die Problematik der kritischen Metalle unter rein geopolitischen Gesichtspunkten zu betrachten. Einerseits stellt die technologische Kompetenz ein zentrales Thema für die verschiedenen betroffenen Länder dar. Andererseits müssen für eine umfassende Bewertung des Mehrwerts der Energiewende im Hinblick auf kritische Metalle auch soziale und ökologische Aspekte berücksichtigt werden.

### III. Wichtige Herausforderungen in Bezug auf nachhaltige Entwicklung und technologische Kompetenz

Die Diskussion über die kritischen Eigenschaften der Metalle betrifft besonders die seltenen Erden. Die zentrale Rolle ihrer Gewinnung und Veredelung wird regelmäßig mit folgender Aussage in Verbindung gebracht, die Deng Xiaoping zugeschrieben wird (obwohl nicht nachgewiesen ist, ob sie wirklich von ihm stammt): „Der Nahe Osten hat das Öl, China hat die seltenen Erden“<sup>22</sup>. Bei der Vorstellung, dass China seine Vormachtstellung auf dem Weltmarkt instrumentalisieren könnte, dürfen auch die technologischen, sozialen und ökologischen Aspekte der kritischen Metalle nicht außer Acht gelassen werden.

#### III.1 Die geopolitischen und geoökonomischen Herausforderungen der seltenen Erden

2010 setzte China im Zuge eines Konflikts um einen chinesischen Fischkutter, der von der japanischen Marine in einem von Peking beanspruchten Gebiet (den Senkaku-Inseln) abgefangen wurde, seine Exporte nach Japan aus. Auch 2019 trat die Instrumentalisierung der seltenen Erden deutlich zutage, als vor dem Hintergrund eines Handelsstreits

---

<sup>20</sup> Die übrigen Erzeugerländer sind die Philippinen, Russland, Frankreich (durch Neukaledonien) und Australien.

<sup>21</sup> W. Asmarini, B. Munthe 2017, *Indonesia eased export ban on nickel ore, bauxite* (auf Englisch), Nachrichtenagentur Reuters.

<sup>22</sup> Der Satz soll 1992 während einer Reise in den Süden des Landes gefallen sein (CNR 2007, [Bei seiner Reise durch den Süden sagte Deng Xiaoping „Der Nahe Osten hat das Öl, China hat die seltenen Erden“](#) (auf Chinesisch). 10. Dezember 2020.



mit den USA der chinesische Präsident ein Unternehmen besuchte, in dem seltene Erden verarbeitet werden<sup>23</sup>. Die politische Krise von 2010 hat das Bewusstsein weltweit geschärft; allerdings zeigt die genauere Betrachtung, dass sie durchaus mit Vorsicht zu interpretieren ist, da hier auch eine übertriebene Reaktion der lokalen Behörden nicht ausgeschlossen werden kann (Seaman, 2019).

Eindeutig erscheint dagegen, dass China beabsichtigt, den Sektor so zu strukturieren, dass seine eigene Industrie versorgt wird und das Land so eine technologische Überlegenheit auf dem Weltmarkt erlangen und gleichzeitig seine Umweltbelastung verringern kann. Denn der Abbau seltener Erden führt in der Tat zu erheblichen Umweltschäden, da nicht nur große Mengen giftiger Stoffe in Wasser, Luft und Boden freigesetzt werden (Jin et al., 2013, Law, 2019), sondern beim gleichzeitigen Abbau bestimmter Erze (wie Thorium, Uran und Radium) zudem Radioaktivität auftritt.

Daher haben die staatlichen Stellen in China den Kampf gegen den illegalen Bergbau aufgenommen<sup>24</sup>, indem sie sich für eine bessere Ausfuhrkontrolle einsetzen und die Einkaufs- und Lagerungsstrategie mithilfe eines ersten Fünfjahresplans für die Industrie der seltenen Erden (2016-2020) definieren.

Diese verschärfte Kontrolle führte zu einem starken Rückgang der Produktion, woraufhin einige chinesische Akteure Metalle insbesondere aus Myanmar und den Vereinigten Staaten importieren mussten<sup>25</sup>. China wurde also importabhängig und tätigt daher selbst verstärkte Investitionen in Minen im Ausland. So sind die chinesischen Akteure über Industriepartnerschaften, Minderheitsbeteiligungen und Lieferverträge in Madagaskar, Kongo, Mali<sup>26</sup> und sogar in der wichtigsten amerikanischen Mine in Mountain Pass vertreten. Die Shenghe Resources Holding Co hält 10 % des Kapitals. Sie hat zwar keine Stimmrechte, aber fast die gesamte Produktion ist ihr bestimmt.

Dank dieser gesicherten Versorgung können die chinesischen Akteure in der Wertschöpfungskette aufsteigen und die verschiedenen Stufen von der Metallgewinnung über die Phasen der Abtrennung und Verarbeitung seltener Erden bis zur Herstellung von Endprodukten bewältigen. Daraus wird ersichtlich, dass die geographische Verteilung von Patenten mindestens so wichtig ist wie die der Vorkommen. Zwischen 1950 und 2018 meldete China 25.911 Patente auf seltene Erden an (ein Anstieg um 250 % allein im Zeitraum 2011-2018). Dem stehen 9 810 Patentanmeldungen aus den USA, 13 920 aus Japan und 7 280 aus der EU gegenüber<sup>27</sup>. Diese Vorrangstellung bei den Innovationen trägt gemeinsam mit einer wettbewerbsorientierten Preispolitik und einer im internationalen Vergleich weniger strengen und weniger gründlich umgesetzten Umweltgesetzgebung zur Sicherung des chinesischen Vorsprungs im Bereich Zukunftstechnologien bei.

Für die EU liegt die Herausforderung auf politischer und technologischer Ebene. Denn die starke Abhängigkeit von der chinesischen Zulieferung könnte die Bemühungen der EU unterwandern, in verschiedenen Fragen Einfluss auf China zu nehmen. Die Herausforderung liegt insofern auch im sozialen und ökologischen Bereich, da die Bedingungen, unter denen Metalle abgebaut werden, die Rolle der erneuerbaren Energien und Elektrofahrzeuge bei der Dekarbonisierung der Volkswirtschaften beeinträchtigen könnte.

## III.2 Der Nachhaltigkeitsaspekt der Energiewende

Mit Blick auf die nachhaltige Entwicklung wirft der Metallabbau drei Fragen auf: Er ist gekennzeichnet durch einen hohen Flächenverbrauch, verursacht Spannungen bei der Wasserversorgung und erfolgt teilweise unter Missachtung der Menschenrechte.

---

<sup>23</sup> L. Hornby, H. Sanderson 2019, *Xi highlights China's dominance of rare earths market* (auf Englisch), Financial Times.

<sup>24</sup> China Daily 2016, [China to crack down on illegal rare earth mining](#) (auf Englisch). Stand 10 November 2016.

<sup>25</sup> S. Yu, T. Mitchell 2020, *State interference threatens China's control of rare earth production* (auf Englisch), Financial Times.

<sup>26</sup> H. Sanderson 2017, *Rise of electric cars accelerates race for lithium assets* (auf Englisch), Financial Times.

<sup>27</sup> E. Ng 2019, *China's war chest of rare earth patents give an insight into total dominance of the industry* (auf Englisch), Southern China Morning Post.



Der hohe Flächenbedarf der Minen und insbesondere des Tagebaus führt zu erheblichen Auswirkungen auf die Umwelt, Biodiversität und Lebensqualität der lokalen Bevölkerung (Environmental Justice Atlas, 2018).

Auch die Frage der Wasserversorgung ist in diesem Zusammenhang relevant. Chile, auf das 28 % der weltweiten Kupferproduktion im Jahr 2019 entfielen, leidet unter Wassermangel und seine Minen sind zudem im Norden des Landes konzentriert, in der trockenen Provinz Antofagasta (Lutter und Giljum, 2019) nahe der Atacama-Wüste. Der gesetzliche Rahmen wurde zwar verbessert, aber der Umgang mit den Wassereinzugsgebieten bleibt sowohl für den Lithium- als auch für den Kupferbergbau problematisch (Donoso, 2018).

Generell verursacht der Lithiumabbau in Lateinamerika aufgrund der für die Metallgewinnung erforderlichen Pumpprozesse einen hohen Energieverbrauch und die lokale Bevölkerung hat mit immer häufigeren Dürreperioden zu kämpfen (Nassar et al., 2015). In Bolivien haben die Verteilung der Gewinne aus den Bergbauanlagen und die mangelnde Einbeziehung der lokalen Bevölkerung bereits für Unmut gesorgt (Draper, 2019).

Kobalt als weiteres wichtiges Edelmetall der Energiewende wird vor allem in der Demokratischen Republik Kongo abgebaut und ist für das Land sowohl ein Segen als auch ein Fluch: ein Segen, da der Metallabbau zu den Staatseinnahmen beiträgt<sup>28</sup>; ein Fluch, weil die Finanzströme Korruption und die persönliche Bereicherung einiger Eliten begünstigen. Dazu kommen regelmäßige Phasen der Instabilität in der wichtigsten Förderprovinz Katanga.

Die Kapitalstruktur der großen Minen dieser Provinz wird von ausländischen Investoren (vor allem aus China und dem Westen) beherrscht, die auf die Einhaltung der Menschenrechte Wert legen<sup>29</sup>. Als eine Art Parallelwelt hierzu erscheinen die inoffiziellen Minen, auf die rund 20 % der Produktion des Landes entfallen. Hier sind die Arbeitsbedingungen besonders hart, und unter den Menschen, die mit bloßen Händen in diesen kleinen Minen arbeiten (2019 rund 150.000), sind auch Kinder<sup>30</sup>.

Vor diesem Hintergrund einer stark konzentrierten Herstellung von Metallen und angesichts der zunehmenden Sensibilität der öffentlichen Meinung gegenüber den Nachhaltigkeitsaspekten der Energiewende wurden unterschiedliche Diversifizierungsstrategien entwickelt.

### III.3. Strategien zur Diversifizierung der Beschaffung zeichnen sich ab

In Australien werden die staatlichen Initiativen zur Diversifizierung von einigen Bergbauunternehmen unterstützt. Der weltweit größte nichtchinesische Lieferant seltener Erden, Lynas, verfügt über zwei große Standorte, von denen sich einer in Westaustralien (Mount Weld) und der andere an der ostmalaysischen Küste befindet. Als sich Lynas 2009 in Schwierigkeiten befand, wurde dem Unternehmen von einem chinesischen Staatsunternehmen (China Non-Ferrous Metal Mining (Group) Co) eine Mehrheitsbeteiligung angeboten. Die australischen Behörden legten ihr Veto<sup>31</sup> ein, genehmigten aber 2016 die Beteiligung des japanischen Staatsunternehmens (JOGMEC), das seitdem einen Teil der abgebauten seltenen Erden verarbeitet<sup>32</sup>.

---

<sup>28</sup> 37 % der Staatseinnahmen bzw. 1,6 Milliarden Dollar 2018. In: Französisches Ministerium für Wirtschaft und Finanzen (*Ministère de l'Économie et des Finances*) [Le secteur minier en République Démocratique du Congo](#) (auf Französisch), 6. Januar 2020. Stand 12. März 2020.

<sup>29</sup> Dennoch mussten mehrere IT-Unternehmen ihre Kobalt-Lieferketten umgestalten, nachdem bekannt wurde, dass in einigen Minen der Demokratischen Republik Kongo Kinder eingesetzt wurden. (T. C. Frankel 2017, *Apple cracks down further on cobalt supplier in Congo as child labor persists*, Washington Post.) Ende 2019 verklagte ein Juristenverband (IRAdvocates) mehrere Vertreter der Automobil- und IT-Industrie, denen vorgeworfen wurde, die Augen vor der Herkunft des von ihnen gekauften Kobalts zu verschließen. IRA (International Rights Advocate) 2019, [IRAdvocates Files Forced Child Labor Case Against Tech Giants Apple, Alphabet, Dell, Microsoft and Tesla for Aiding and Abetting Extreme Abuse of Children Mining Cobalt in DRC](#) (auf Englisch) Stand 12. Februar 2020.

<sup>30</sup> SOMO 2016, [Cobalt blues - Environmental pollution and human rights violations in Katanga's copper and cobalt mines](#) (auf Englisch). Amsterdam. Stand 10. Oktober 2020.

<sup>31</sup> K. Bradsher 2010, *China Still Bans Rare Earth to Japan* (auf Englisch), New York Times.

<sup>32</sup> R. Pannett 2010, *Australia Commits Rare-Earth Supply to Japan* (auf Englisch), Wall Street Journal.

Auch die Vereinigten Staaten als drittgrößter Importeur nach Japan und China haben ihre Herangehensweise überdacht<sup>33</sup>. Zwischen 1994 und 1998 verkaufte das Land fast seine gesamten Vorräte an seltenen Erden. Gleichzeitig stieg der Bedarf der US-Wirtschaft. 2019 wurden 35 Metalle als kritisch eingestuft. Bei 29 dieser Metalle ist das Land zu über 50 % importabhängig und bei 14 gibt es keine inländische Produktion. Durch die Erschließung neuer Abbaustätten, die Verbesserung der Recyclingpolitik und die Mobilisierung seiner diplomatischen Beziehungen will das Land nun seine Abhängigkeit von China verringern.

Das Unternehmen, das die wichtigste Mine für seltene Erden der USA kontrolliert (Mountain Pass), meldete 2002 Konkurs an, um dann 2010 seine Tätigkeit wieder aufzunehmen. 2015 verschwand die Firma endgültig und ein Konsortium (MP Minerals) übernahm einen Teil seiner Vermögenswerte. 2017 kam die Mine infolge der Trennung der Vermögenswerte unter die Kontrolle eines Konsortiums (MP Mine Operations), in dem sich ein chinesischer Partner (Shenghe Resources) durchsetzen konnte (siehe oben). Im Juli 2019 unterzeichnete der US-Präsident fünf Memoranden zur Verstärkung der Förderkapazitäten und zur Trennung von seltenen Erden und leichten Erden, auch mit der Perspektive der Herstellung von Permanentmagneten<sup>34</sup>. Im darauf folgenden Jahr wurden Pläne zum Bau der ersten Anlage zur Trennung seltener Erden außerhalb Chinas durch eine Vereinbarung zwischen dem US-Verteidigungsministerium und einem Joint Venture mit dem australischen Unternehmen Lynas umgesetzt<sup>35</sup>.

Mit Australien unterzeichneten die USA 2019 ein Abkommen zur Förderung „verantwortungsvoller“ Bergbauaktivitäten für 15 Metalle, die für die Energiewende benötigt werden<sup>36</sup>. Die für die Finanzierung des Privatsektors in Schwellenländern zuständige staatliche Agentur (US Development Finance Corporation) wurde zu einer Beteiligung an verschiedenen Projekten weltweit aufgefordert. Die DLA wiederum ist politisch zuständig für die Lagerung der als kritisch eingestuften Materialien. Vor diesem Hintergrund schlug der damalige US-Präsident Donald Trump vor, Grönland zu kaufen – eine sicherlich unangemessene Idee, die sich allerdings auf ein Angebot von Präsident Truman aus dem Jahr 1946 bezog, der während des Krieges die geopolitische Bedeutung der Insel erkannt hatte<sup>37</sup>. Im März 2021 kündigte das Energieministerium der gerade angetretenen Biden-Regierung eine 30-Millionen-Dollar-Initiative zur Erforschung und Sicherung der nationalen Versorgungskette der USA für seltene Erden und eine andere für die Batterieherstellung wichtige Mineralien wie Kobalt und Lithium an<sup>38</sup>.

Nachdem das Land 2010 unmittelbar von der Unterbrechung der chinesischen Lieferungen betroffen war, hat auch Japan eine Politik zur Diversifizierung seiner Beschaffung eingeleitet. Diese zielt darauf ab, mindestens die Hälfte der Versorgung aus anderen Ländern als China zu beziehen (JOGMEC, 2012). Über die staatliche Agentur JOGMEC wurden daher Beteiligungen an ausländischen Rohstoffvorkommen eingegangen; die wichtigste diesbezügliche Initiative war die Beteiligung am australischen Mount Weld-Projekt (siehe oben). Japan sicherte sich hier ein Bezugsrecht auf 60 % der Produktion.

Mit ihren Dutzend Vertretungen weltweit ist die Agentur sowohl in der Akquise tätig als auch im Rahmen von Joint Ventures zur Rohstoffgewinnung und in der Finanzierung von Forschungsaktivitäten beispielsweise im Recyclingbereich. Dabei arbeitet sie zugunsten der japanischen Unternehmen. Japan setzt zudem auf die Herstellung von Verbindungen zu verschiedenen Abbaustätten weltweit, wie in Kasachstan, Vietnam und Indien. Gleichzeitig hofft das Land darauf, die umfangreichen Vorkommen abzubauen, die am Meeresboden seiner ausschließlichen Wirtschaftszone vermutet werden.

---

<sup>33</sup> US-Außenhandelsamt, [A Federal Strategy to Ensure Secure and Reliable Supplies of Critical Minerals](#) (auf Englisch). Stand 27. April 2020.

<sup>34</sup> C. Messecar 2020, [US selects Lynas to design heavy rare earth plant](#) (auf Englisch). Stand 06. Juni 2021.

<sup>35</sup> Das Projekt wurde im Rahmen des Defence Production Act finanziert. In: E. Scheyder 2019, [Exclusive: pentagon races to track U.S. rare earths output amid China trade dispute](#) (auf Englisch), Nachrichtenagentur Reuters. Stand 12. November 2020.

<sup>36</sup> H. Dempsey, H. Sanderson 2019, [US seeks to curb Chinese dominance in critical minerals](#) (auf Englisch), Financial Times.

<sup>37</sup> K. Manson, R. Milne 2020, [US financial aid for Greenland sparks outrage in Denmark](#) (auf Englisch), Financial Times.

<sup>38</sup> S. Subin 2021, [The new U.S. plan to rival China and end cornering of market in rare earth metals](#) (auf Englisch). Stand 16. Juni 2021.

Auch die Privatwirtschaft ist sehr aktiv. So hat Toyotas Handelsgesellschaft in Indien<sup>39</sup>, Kanada und Vietnam mit einem klar definierten Ziel investiert: „die Abhängigkeit von den chinesischen Erzeugern seltener Erden zu reduzieren“ (Toyota Tsusho, 2015). Auch die japanischen Automobilkonzerne haben sich in Projekten im Bereich seltene Erden engagiert, um ihre Beschaffung zusammenzulegen (Holzmann, 2018). All diese Bemühungen sind Teil des 2018 erklärten japanischen Plans, bis 2050 nur noch Elektro- oder Hybridfahrzeuge herzustellen.

Die regelmäßig aktualisierte EU-Liste der kritischen Metalle (siehe Abbildung 3 oben) kommt bei der Aushandlung von Handelsabkommen und bei der Festlegung von Forschungs- und Innovationsprogrammen zum Einsatz. Insbesondere drängt die EU ihre Partner, auf sämtliche Regelungen zur Beschränkung von Metallexporten zu verzichten (siehe Abbildung 7 mit den Ländern, auf die der größte Anteil der Beschaffung der EU entfällt). In diesem Zusammenhang hat die EU mehrmals bei der WTO Beschwerde gegen China eingereicht (2012, 2014 und 2016) und dem Land vorgeworfen, Ausfuhrsteuern auf bestimmte Metalle zu erheben oder sich bei Drittländern die langfristige Versorgung insbesondere mit Kobalt<sup>40</sup> für seine Veredelungsindustrie gesichert zu haben.

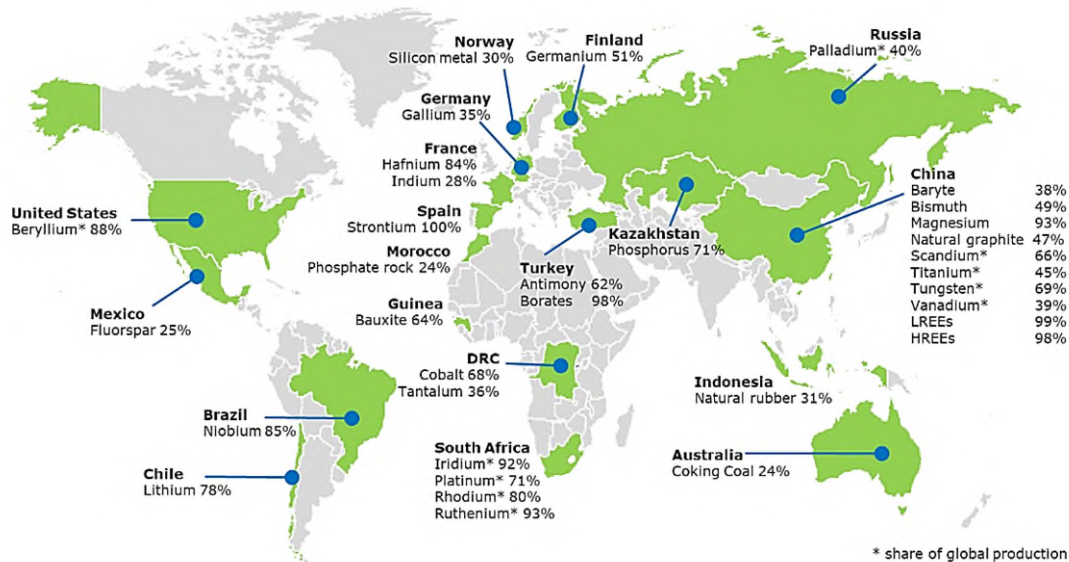


Abbildung 7 - Länder mit dem größten Anteil an der Versorgung der EU mit kritischen Metallen. Quelle: Europäische Kommission 2020, [Study on the EU's list of Critical Raw Materials](#) (auf Englisch).

Die EU hat zudem Maßnahmen zur Verbesserung der Versorgungssicherheit ergriffen. Nachdem der Zugang zu Ressourcen als „strategische Sicherheitsfrage“ bei der Umsetzung des *Green Deal* beschrieben wurde, hat die Kommission einen Aktionsplan verabschiedet, der die Wiederbelebung des Bergbaus in Europa, eine verstärkte Recyclingtätigkeit, die Erforschung von Alternativlösungen und eine Diversifizierung der Importländer fördert. Darüber hinaus spricht sich die Kommission für „Industrieallianzen“ aus, die die verschiedenen Komponenten der Wertschöpfungsketten umfassen. Eine Europäische Rohstoffallianz wurde gegründet, die sich kurzfristig vorrangig mit für Permanentmagneten erforderlichen seltenen Erden befassen soll<sup>41</sup>.

Die EU setzt zudem ihren Dialog mit Japan und den Vereinigten Staaten fort und könnte strategische Partnerschaften mit Nachbarländern eingehen, darunter vor allem die westlichen Balkanländer (Serbien für Borat und Albanien für Platin).

<sup>39</sup> Toyota Tsusho 2015, [Toyota Tsusho Inks Rare Earths Contract with Indian State Corporation](#) (auf Englisch). Stand 11. November 2020.

<sup>40</sup> Europäische Kommission 2017, [EU takes legal action against export restrictions on Chinese raw materials](#), (auf Englisch). Presseerklärung. Stand 23. Juli 2020.

<sup>41</sup> Europäische Kommission 2020, [Stellungnahme der Europäischen Kommission, Widerstandsfähigkeit der EU bei kritischen Rohstoffen: Einen Pfad hin zu größerer Sicherheit und Nachhaltigkeit abstecken](#), COM(2020) 494.



## IV. Eine europäische Antwort basierend auf dem Produktlebenszyklus

Der Abhängigkeit von China im Hinblick auf kritische Metalle zu entkommen, ist für Europa und die USA kein einfaches Unterfangen, da sich die chinesischen und japanischen Akteure bereits einen erheblichen Anteil der Produktionskapazitäten aus den aussichtsreichsten Lagerstätten gesichert haben. Dennoch verfügt die EU über eine Reihe von Möglichkeiten, um zu einer besseren Berücksichtigung der sozialen und ökologischen Herausforderungen der Metallgewinnung und -rückgewinnung beizutragen. Diese schließen sich gegenseitig nicht aus und umfassen die Verbesserung der Rückverfolgbarkeit, den Ausbau der Rohstoffgewinnung in den Mitgliedsstaaten, die Ermittlung alternativer Ressourcen sowie das Recycling.

### IV.1 Die Suche nach einer zuverlässigen Rückverfolgbarkeit

Es wurden bereits internationale Normen verabschiedet, mit denen die verschiedenen Akteure der Wertschöpfungsketten verpflichtet werden sollen, die sozialen und ökologischen Auswirkungen ihrer Aktivitäten zu berücksichtigen. Entsprechend der von der OCDE hervorgehobenen Sorgfaltpflicht<sup>42</sup> sind sämtliche Unternehmen, von Bergbaugesellschaften bis zu Fertigungsbetrieben, verpflichtet, die übrigen Akteure ihrer Wertschöpfungskette zu identifizieren und sicherzustellen, dass das von ihnen verarbeitete Metall unter Einhaltung der Menschenrechte abgebaut wird und nicht zu Konflikten beiträgt.

Diese Vorschriften gehen auf die Situation in der Demokratischen Republik Kongo zurück, wo der Erzabbau und -handel zur Finanzierung von Konflikten geführt hat und die Menschenrechte regelmäßig verletzt werden. Sie sind in verschiedene nationale Gesetzgebungen eingeflossen, insbesondere in den Vereinigten Staaten (*Dodd-Frank Act*, Abschnitt 1502<sup>43</sup>) und in der EU (im Jahr 2017 für die Anwendung ab 2021). Die Gesetze unterscheiden sich zwar in verschiedener Hinsicht voneinander, wie beispielsweise bezüglich ihres Geltungsbereichs (für die EU gelten sie global, im Falle des *Dodd-Frank Acts* für die Demokratische Republik Kongo und ihre Nachbarländer), jedoch nehmen beide die Unternehmen für ihre Versorgung mit Metallen in die Verantwortung. Allerdings ist die Zahl der entsprechenden Metalle begrenzt: Coltan, Tantal, Wolfram und Gold (3TG), d. h. die vier Mineralien, die am häufigsten im Zusammenhang mit bewaffneten Konflikten und Menschenrechtsverletzungen auftreten. Andere, ebenfalls unter fragwürdigen Bedingungen abgebaute Metalle (wie Kobalt), werden kaum erwähnt; allerdings plant die EU, ihre Liste bei der für 2023 geplanten erneuten Überprüfung zu erweitern.

Eine weitere Möglichkeit liegt in der Zertifizierung. Eine von der EU eingesetzte Forschungsgruppe arbeitet an einer Methode, mit der die für Textilien, Lebensmittel und Holz geltende Zertifizierungsmethode auf Metalle ausgedehnt werden soll, zunächst allerdings nur für die europäischen Bergwerke<sup>44</sup>. Folgende weitere Optionen können in Betracht gezogen werden: die Einführung von Kooperationsprogrammen zwischen den Bergleuten von handwerklich betriebenen Minen und offiziellen Minen, wie sie in Kanada für Inuit-Volkgruppen eingeführt wurden (O'Reilly und Eacott, 1999), oder die Verbesserung der Gesundheits- und Ausbildungssysteme und die Förderung der Diversifizierung der lokalen Wirtschaft wie beispielsweise in der Landwirtschaft (Perks, 2011).

Weitere Initiativen wurden ins Leben gerufen, an denen die Industrie beteiligt ist oder die von ihr ausgingen, wie beispielsweise die RRMI (*Responsible Raw Materials Initiative*), die vor allem von Akteuren aus der IT- und

---

<sup>42</sup> OECD 2016, [OECD-Leitfaden](#) für die Erfüllung der Sorgfaltpflicht zur Förderung verantwortungsvoller Lieferketten für Minerale aus Konflikt- und Hochrisikogebieten: Dritte Ausgabe, Hrsg. OECD. Stand 12. September 2018.

<sup>43</sup> Folgende Mineralien wurden als Konfliktmineralien definiert: Gold, Kolumbit-Tantalit, Kassiterit, Wolframit und ihre Derivate: Tantal, Zinn und Wolfram (3TG) aus der Demokratischen Republik Kongo.

<sup>44</sup> European Institute of Innovation and Technology (EIT), [Developing raw materials into a major strength for Europe](#) (auf Englisch). Stand 18. September 2020.



Automobilbranche getragen wird. Auch der Einsatz von Blockchain-Technologien (die bereits in der Diamantindustrie verwendet werden) wird erprobt, obwohl es nicht einfach ist, an verschiedenen Orten eines von Instabilität geplagten Landes ausführliche Daten über jeden Zwischenschritt zu erheben.

Vor diesem Hintergrund schließen manche Industrieakteure direkte Verträge mit Minen ab, die ihrer Meinung nach optimale Verfahren im Bereich Nachhaltigkeit aufweisen, wie beispielsweise die australischen Lithium-Minen oder marokkanischen Kobaltminen<sup>45</sup>. Diese Strategie erinnert an Henry Fords Entscheidung in den 1920er Jahren, als Eigentümer von Metallminen aufzutreten.

## IV.2 Die bisher wenig erfolgreiche Suche nach alternativen Materialien

Für die Automobilhersteller bietet auch die Reduzierung des Verbrauchs seltener Erden eine Option, zu der sich manche von ihnen bereits verpflichtet haben<sup>46</sup>. Ähnliche Trends sind auch bei den großen europäischen Herstellern im Windenergiesektor zu beobachten. Im Bereich Batterien sind erste Alternativen zur Lithium-Ionen-Technologie zu beobachten (Brennstoffzellen, Aluminium-Luft-Batterien, Natrium-Schwefel-Batterien, Batterien auf Kunststoffbasis und keramische Batterien ohne seltene Erden<sup>47</sup>), eine großangelegte industrielle Umsetzung dieser Technologien steht jedoch nicht unmittelbar bevor. Andere Hersteller entscheiden sich dafür, mehr Nickel einzusetzen und den Kobalt- und Lithiumanteil zu senken. Auch die Einführung von kobalt- und nickelfreien Batterien (Lithium-Eisenphosphat-Akkumulatoren) stellt eine mögliche Option dar<sup>48</sup>; hier wird die geringere Leistung durch im Vergleich zu anderen Technologien niedrigere Kosten ausgeglichen<sup>49</sup>.

Generell spricht die Schwierigkeit, alternative Lösungen zu finden, dafür, die Bergbautätigkeit in Europa neu zu beleben. So könnte einerseits die Attraktivität der europäischen Industriestandorte verstärkt und andererseits die sozialen und ökologischen Bedingungen der Gewinnung von Metallen besser kontrolliert werden.

## IV.3. Die Wiederbelebung des Bergbaus in Europa: möglich, aber unwahrscheinlich

Die EU hängt für ihre Rohstoffversorgung von anderen Ländern ab und die diesbezügliche Handelsbilanz ist seit 2002 negativ<sup>50</sup>. Mit Unterstützung der EIB, deren Strategie seit 2019 erstmalig Kapitalbeteiligungen an Minen vorsieht (bei gleichzeitigem Finanzierungsstopp für Projekte mit fossilen Brennstoffen), hat sie eine Strategie zur Stärkung ihrer Versorgungssicherheit entworfen.

*Wird das Potential der Minen unterschätzt?*

Mehrere Mitgliedstaaten haben ihre Schürf- und Bergbautätigkeiten schrittweise reduziert (das französische nationale Bergbauinventar (*Inventaire Minier National*) wurde 1992 eingestellt) und auch die Ausbildungsgänge haben sich teilweise von der Bergbauthematik abgewandt. Die europäischen Veredelungskapazitäten sind selbst bei Basismetallen wie Kupfer gering und nur eine einzige der zwanzig größten Raffinerien der Welt ist in Europa angesiedelt. Der

---

<sup>45</sup> Electric Drive 2019, [BMW buys 540 million euros worth of lithium in Australia](#). Stand 12. Juni 2020. H. Sanderson 2020, [Tesla in talks to buy cobalt from Glencore](#) (auf Englisch), Financial Times.

<sup>46</sup> C. Riley 2019, [BMW and Jaguar Land Rover won't need China's rare earths for their new electric engines](#) (auf Englisch). CNN Business. Stand 15. März 2020.

<sup>47</sup> Les Echos 2017, Interview mit dem Thüringer Wirtschaftsminister Wolfgang Tiefensee, *Les Echos*.

<sup>48</sup> Eine Technologie, die insbesondere von der Firma Sunlight in Griechenland eingesetzt wird. (K. Abnett, M. Green, N. Shirouzu 2020, *European battery makers power up for a green recovery* (auf Englisch), Nachrichtenagentur Reuters).

<sup>49</sup> Electric Drive 2020, [Tesla could source LFP cells from CATL in China](#) (auf Englisch). Stand 18. Juni 2020.

<sup>50</sup>D. Keating 2020, [Europe looks home for new mining opportunities](#) (auf Englisch), Euractiv. Stand 12. Juni 2020.



europäische Anteil an der Bergbautätigkeit lag 1850 noch bei 50 %, im Jahr 2009 nur noch bei unter 5 %. Der Anteil der Vereinigten Staaten an der weltweiten Bergbautätigkeit fiel in den 2000er Jahren ebenfalls unter die 10 %-Schwelle<sup>51</sup>.

Dabei verfügen mehrere Mitgliedstaaten über Metalle in ihren Böden, und die festgestellten Vorkommen befinden sich teilweise sowohl in der Nähe von Kohlebergwerken als auch von Unternehmen zur Herstellung von Elektrofahrzeugbatterien<sup>52</sup>. Die wichtigsten derzeit betriebenen Minen liegen in europäischen Randgebieten (iberische Halbinsel, Balkanländer, Osteuropa, siehe Abbildung 8); im Bereich seltene Erden befinden sich die aussichtsreichsten Standorte in Skandinavien.

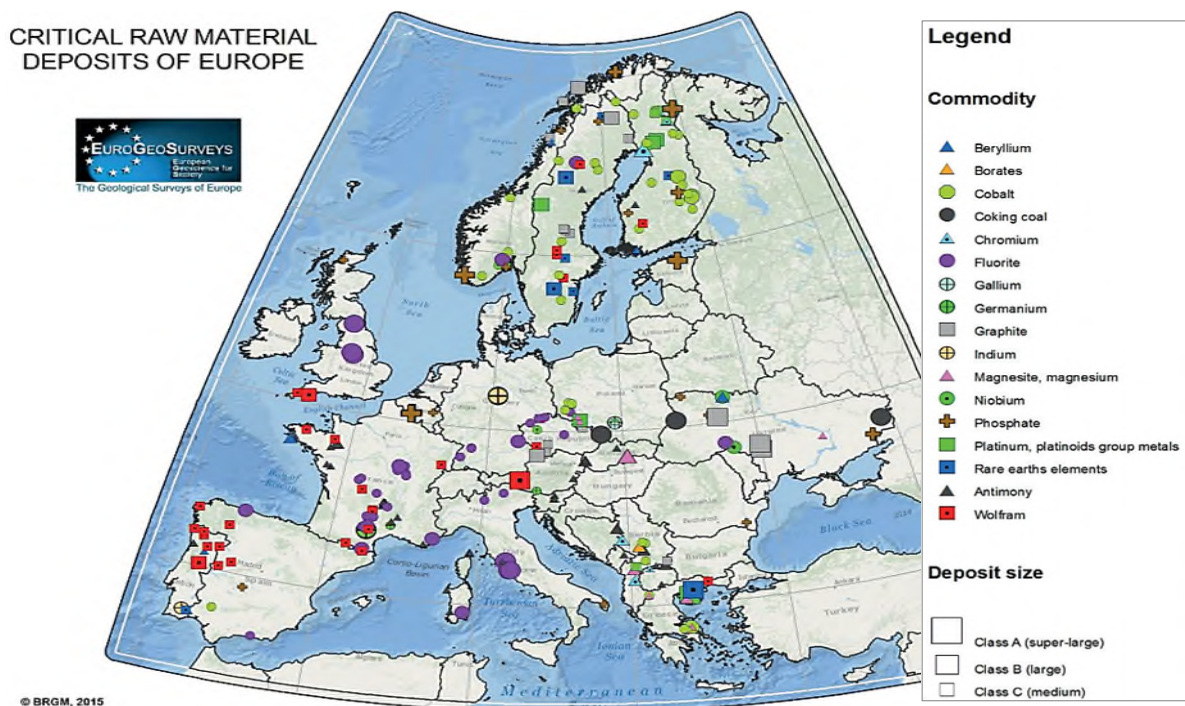


Abbildung 8 – Vorkommen kritischer Rohstoffe in Europa. Quelle: EuroGeoSurveys 2015, [A Note on the map of Critical Raw Material deposits of Europe](#) (auf Englisch). Darstellung: DFBEW

In der Tat erlebt der Bergbau in den nordeuropäischen Ländern (Finnland, Island, Schweden, Norwegen) einen Aufschwung. Dieser ist auf die Nachfrage nach Uran, Eisen, Nickel, Phosphor und seltenen Erden zurückzuführen, sowie auf die Aussichten auf neue Schifffahrtsrouten in der Arktis infolge der Erderwärmung. Die skandinavischen Vorkommen könnten theoretisch zu einer neuen Wertschöpfungskette führen, bei der eine europäische Batterieindustrie auf Standorte aufbaut, an denen Rohstoffe gewonnen oder veredelt werden.

In Norwegen stützt sich die Metallindustrie auf eine (aufgrund der Wasserkraftressourcen) kostengünstige Energieversorgung sowie auf einen Boden mit reichen Metallvorkommen. Das Gleiche gilt für Schweden (auf das Land entfallen rund 90 % der Eisen- und 10 % der Kupfergewinnung der EU) und für Finnland, das vor allem bei Nickel von der von Kröger (2015) als „Arctic land rush“ bezeichneten Erscheinung betroffen ist.

<sup>51</sup> O. Vidal 2017, *The crucial role of „structural raw materials“ to the energy transition and social development*, COMES-Seminar zu den Metallen der Energiewende, 10. Februar. Stand 23. Mai 2020.

<sup>52</sup> Europäische Kommission 2020, *Stellungnahme der Europäischen Kommission, Widerstandsfähigkeit der EU bei kritischen Rohstoffen: Einen Pfad hin zu größerer Sicherheit und Nachhaltigkeit abstecken*, COM(2020) 494. Op. cit., S. 12.

Der finnische Bergbau wurde in den 1990er Jahren vor allem aufgrund der niedrigen Preise für die abgebauten Mineralien größtenteils stillgelegt. In den 2000er Jahren, als sich die Preise infolge des starken Wachstums der indischen und chinesischen Wirtschaft erholten, stieg die Aktivität jedoch wieder an. 2018 nahm die Regierung eine Umstrukturierung des Sektors vor: Neue Minen wurden erschlossen, insbesondere vor dem Hintergrund eines wachsenden Marktes für Batterien.

Grönland ist seit den 1990er Jahren sehr aktiv bei der Erschließung seiner Bodenschätze und dabei kommt dem Land sowohl die Erderwärmung, die gefrorene Bereiche seines Gebietes freilegt, als auch das Wachstum des Marktes für Technologien zugute, mit denen eben diese Klimaerwärmung eingeschränkt werden soll. Die Produktion war lange auf Blei, Zink, Gold und Kohle in küstennahen Vorkommen mit niedrigen Logistikkosten konzentriert. Konzerne aus Dänemark, Australien (für seltene Erden) und China haben dort investiert.

Die chinesischen Akteure sind in der gesamten Region präsent. Die Verbindung zwischen der BIZ<sup>53</sup> und der Arktis wurde 2017 und anschließend 2018 im Weißbuch zur Arktis formell etabliert<sup>54</sup>. 2019 war Finnland das Land mit den meisten chinesischen Investitionen in Europa, Schweden stand an dritter Stelle<sup>55</sup>. Diese chinesischen Aktivitäten brachte die US-Regierung dazu, die chinesische Herausforderung in ihrer Verteidigungsstrategie für die Arktis neu zu bewerten<sup>56</sup>.

Lithium gilt im Rahmen der Energiewende besondere Aufmerksamkeit. Europa verfügt über umfangreiche Vorkommen, vor allem in Serbien (Jadar), Portugal, Spanien, Finnland, Österreich und Frankreich (Zentralmassiv). Derzeit fördert nur eine portugiesische Mine über 1.000 Tonnen jährlich für die Keramikindustrie. Die Europäische Kommission schlägt vor, den Abbau auf europäischem Boden verstärkt zu fördern und hält es für möglich, 80 % des europäischen Bedarfs bis 2025 zu decken. Tatsächlich wurden bereits zahlreiche Projekte eingeleitet: in Spanien in der Nähe von San Jose, in Südösterreich mit einer für 2023 angekündigten Produktion, in Deutschland (im Dresdener Umland), in Portugal, in der Tschechischen Republik (Cinovec-Projekt in der Nähe von Prag), in Westfinnland (Projekt Keliber Oy). Im Jahr 2021 hatte jedoch noch keines dieser Projekte den kommerziellen Betrieb erreicht.

Auch die deutsch-französische Grenzregion könnte hierfür in Frage kommen, da das geothermische Wasservorkommen im Rheingraben bereits zur Strom- und Wärmezeugung genutzt wird. Das Wasser ist reich an Lithium und anderen Metallen und ist im Elsass bereits Gegenstand der Kooperation eines lokalen Energieerzeugers mit einem Unternehmen der Bergbauindustrie. Es wurden Versuche zur Gewinnung von Lithium aus salzhaltigem Wasser unternommen. Dabei kam eine in Argentinien erprobte Technologie zum Einsatz, mit der das entnommene Wasser gefiltert und anschließend zurückgeführt wird<sup>57</sup>. Im Südwesten Deutschlands wurde ein großes Lithiumvorkommen entdeckt, das sich ebenfalls an für die Geothermie geeigneten Standorten befindet. Die Produktion ist für die kommenden Jahre geplant und soll ohne Veredelung in China auskommen<sup>58</sup>. Allerdings stellen die soziale Akzeptanz, die Umweltrisiken oder auch Fragen der Rentabilität ernsthafte Hindernisse für eine Intensivierung der europäischen Bergbautätigkeit dar.

*Wird die potenzielle Unabhängigkeit Europas überschätzt?*

In Skandinavien sind die aussichtsreichen nordfinnischen Regionen zugleich diejenigen mit den meisten Natura-2000-Gebieten und Bereichen, die aufgrund der Qualität ihrer Fauna und Flora verschiedenen Schutzmaßnahmen

---

<sup>53</sup> Belt Road Initiative. Agence Xinhua 2017, [Vision for Maritime Cooperation under the Belt and Road Initiative](#) (auf Englisch). Stand 12. Mai 2019.

<sup>54</sup> G. Grieger 2018, *China's Arctic policy, How China aligns rights and interests* (auf Englisch), Briefing, European Parliamentary Research Service, Europäisches Parlament.

<sup>55</sup> Over the circle 2019, [China and Finland: The Ice Road Cometh?](#) (auf Englisch). Stand 12. Februar 2020.

<sup>56</sup> US department of the Navy 2020, *A Strategic Blueprint for the Arctic* (auf Englisch).

<sup>57</sup> E. Goetz 2021, *Eramet avance à grand pas dans l'extraction du métal blanc en Alsace* (Eramet macht große Fortschritte beim Weißmetallabbau im Elsass), Les Échos.

<sup>58</sup> K. Witsch 2021, *Elektromobilität. Unter dem Rhein liegt Europas größtes Lithium-Vorkommen*, Handelsblatt.



unterliegen. Im Kivijaervi-See wurde eine Belastung mit Nickel aus einer nahe gelegene Mine festgestellt. Von den Risiken sind nicht nur die Umwelt (Flora und Fauna Lapplands), sondern auch die lokale Bevölkerung (samische indigene Volksgruppen) betroffen. Lassila (2018) berichtet von dem starken Widerstand, den die ersten Schürfkampagnen bei der Sami-Gemeinschaft im nordfinnischen Dorf Ohcejohka ausgelöst hatten.

In Schweden wurde eine der aussichtsreichsten Lagerstätten für seltene Erden (insbesondere Dysprosium) in Europa (Norra Kärr) von den Behörden genehmigt, anschließend aber aufgrund des lokalen Widerstands aufgegeben<sup>59</sup>. In Norwegen führte die Bergbautätigkeit zu Spannungen zwischen der örtlichen Bevölkerung und staatlichen Stellen, wie beispielsweise im Umfeld der Kupfermine Nussir in der Nähe von Hammerfest.

Auch würde eine Zunahme der europäischen Bergbautätigkeit nicht automatisch zu einer Stärkung der Industriebranchen auf europäischem Boden führen, da die Veredelungskapazitäten weiter in China konzentriert sind. Die Herausforderung für außerhalb Chinas angesiedelte Verwertungsprojekte von Metallen liegt somit auch darin, ein wirtschaftliches Modell zu finden, das ihre Rentabilität trotz der entstehenden Kosten, der Umweltrisiken und der hohen Preisvolatilität gewährleisten kann. Allein bei den seltenen Erden ist die Rentabilität kaum gewährleistet, da nur geringe Mengen betroffen sind und die Preise in Abhängigkeit zur technologischen Entwicklung und der chinesischen Nachfrage starken Schwankungen unterliegen. Vor allem aber verfügt China nicht nur über reichlich Vorkommen, sondern auch über die für die Verarbeitung erforderliche Wertschöpfungskette.

Zudem wäre es bei den kritischen Metallen unrealistisch, Minen je nach Preisentwicklung zu öffnen und zu schließen, wie dies von einigen nicht konventionellen amerikanischen Ölproduzenten praktiziert wird. Die Erschließung der Vorkommen erfordert Zeit, sei es für seltene Erden, Lithium (von der Schürfung bis zum kommerziellen Betrieb des argentinischen Olaroz-Vorkommens vergingen sieben Jahre) oder für Basismetalle.

Den Bezug aus einkommensschwachen Ländern zu verringern – vorausgesetzt, diese Option bestünde – käme zudem nicht unbedingt der lokalen Bevölkerung in den Bergbauländern zugute. Denn es bestünde die Gefahr, dass diese um ihr Einkommen gebracht würden, ohne dass sich ihre Lebensbedingungen verbessern. Das Dilemma mit der Einführung strengerer Rückverfolgbarkeitsvorschriften wurde beispielsweise deutlich, als sich die Londoner Metallbörse (LME) auf Druck von Amnesty International gezwungen sah, auf den geplanten Ausschluss von in inoffiziellen Minen erzeugtem Kobalt zu verzichten<sup>60</sup>. Ihr Ziel war gewesen, bis 2022 jeglichen Handel mit Metallen, deren Herkunft nicht genau bestimmt werden kann und vor allem mit Metallen aus illegalen Minen zu unterbinden. Das Vorhaben wurde auf 2023 vertagt und die Kriterien wurden gelockert.

Weitere mögliche Alternativen sind der verstärkte Ausbau der Recyclingindustrie oder die Suche nach Ersatztechnologien, aber auch diese sehen sich erheblichen Herausforderungen gegenüber.

## IV.4. Die Recycling-Option

In Europa werden Metalle wie Eisen, Zink und Platin zu über 50 % recycelt. Damit werden 25 % des Verbrauchs der EU gedeckt<sup>61</sup>. Bei verschiedenen anderen Metallen ist die Recyclingquote jedoch niedrig oder vernachlässigbar (Abbildung 9). Der Mehrwert des Recyclings wirkt sich zudem kaum auf die Kosten aus, so dass recycelte Metalle in Konkurrenz zu den meist wettbewerbsfähigeren Primärmetallen stehen.

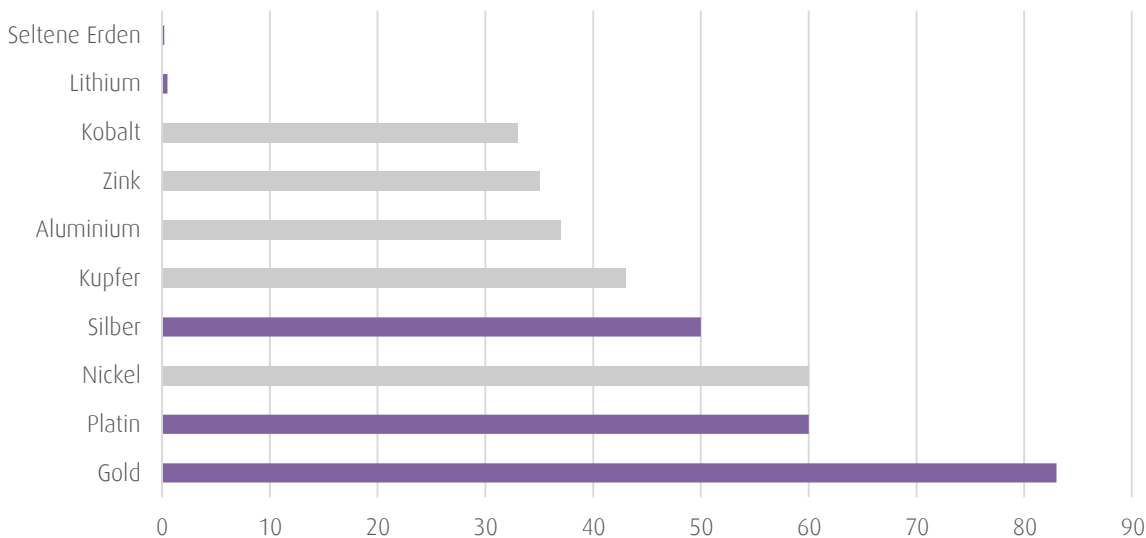
---

<sup>59</sup> Tasman Metals 2016, *Swedish Supreme Administrative Court Cancels Norra Kärr Mining Lease* (auf Englisch). Stand 12. April 2020.

<sup>60</sup> Z. Shabalala, P. Desa 2019, *Fourteen NGOs Oppose London Metal Exchange Plans to Ban Tainted Cobalt* (auf Englisch). Nachrichtenagentur Reuters. Stand 2. Januar 2020.

<sup>61</sup> Europäische Kommission 2020, *Stellungnahme der Europäischen Kommission, Widerstandsfähigkeit der EU bei kritischen Rohstoffen: Einen Pfad hin zu größerer Sicherheit und Nachhaltigkeit abstecken*, ebd.

Im Batteriebereich liegt die Kobalt-Recyclingquote bei 32 % (OECD, 2019); Lithium dagegen wird nur selten wiederverwertet. Die Schwierigkeit liegt im Aufbau der Batterien und in der Explosions- und Brandgefahr bei deren Entsorgung. Die verschiedenen Schritte, die erforderlich sind, um diesen Risiken zu begegnen und die Umweltverschmutzung zu begrenzen, erhöhen die Kosten und erklären letztlich, warum die Batterien von Elektrofahrzeugen nach ihrer Entsorgung so selten wiederverwertet werden. Da sie zu diesem Zeitpunkt noch 70-80 % ihrer Kapazität besitzen, können sie allerdings für stationäre Speicherlösungen verwendet werden.



**Abbildung 9** – Recyclingquoten ausgewählter Edelmetalle (violett) und Basismetalle (grau) (%). Quelle: IEA 2021, [The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions – World Energy Outlook Special Report](#), S. 34. (auf Englisch) Darstellung: DFBEW

Auch in wirtschaftlicher Hinsicht gestaltet sich das Recycling von Geräten an deren Lebensende schwierig, da die Metalle in geringen Mengen auftreten und mit anderen Materialien verbunden sind. So sind die Komponenten von Erneuerbare-Energien-Anlagen für etwa 20 Jahre gebunden und zudem in viel geringeren Mengen vorhanden, als erforderlich wären, wenn in der Zwischenzeit keine neuen Materialien eingeführt würden. Auch die Entscheidung für Technologien, die nur wenig auf kritische Metalle zurückgreifen, stellt nicht zwangsläufig die beste Option dar. Dies zeigt das Beispiel der Lithium-Eisenphosphat-Akkumulatoren, die zwar nickel- und kobaltfrei sind, deren Recycling aber aufgrund des Gewichts ihrer preiswerten Metalle (insbesondere Eisen) wenig rentabel erscheint<sup>62</sup>.

Auch die Tatsache, dass die Recyclingkreisläufe in Sektoren mit jeweils unterschiedlichen industriellen Verfahren und anderen wirtschaftlichen Akteuren organisiert sind, stellt ein Hindernis dar. Denn kritische Metalle sind meist Nebenprodukte von Basismetallen (beispielsweise Gallium und Aluminium) und lassen sich nur schwer in ein segmentiertes Metallrückgewinnungssystem einbeziehen. Metalle, die nur in geringen Mengen auftreten und besondere chemische Eigenschaften aufweisen, werden daher kaum verwertet, insbesondere wenn sie in Legierungen mit anderen, häufigeren Metallen auftreten, wie im Falle von Beryllium und Kupfer. Es kommt also darauf an, Produkte umweltgerecht zu gestalten, um eine zerstörungsfreie Zerlegung der verschiedenen Komponenten zu ermöglichen. Vor diesem Hintergrund hat die Europäische Kommission mit der Aktualisierung ihrer Ökodesign-Richtlinie<sup>63</sup> begonnen, mit der die Nachhaltigkeit von auf den Markt gebrachten Produkten insbesondere durch Recycling verbessert werden soll.

<sup>62</sup> H. Sanderson 2021, *Cheaper electric car batteries pose waste risk, warns supplier* (auf Englisch), Financial Times.

<sup>63</sup> Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rats vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte.



Dennoch wird von einem starken Anstieg der verfügbaren Mengen wiederverwertbarer Abfälle ausgegangen. Die Rentabilität des Recyclings nimmt derart zu, dass dessen Wachstum 2060 voraussichtlich erstmals den Bergbausektor übertreffen wird (OECD, 2019). Bis 2050 werden demnach 60-78 Millionen Tonnen Abfälle aus PV-Modulen zur Verfügung stehen<sup>64</sup>. Obwohl das Recycling durch die Materialvielfalt der Photovoltaikmodule erschwert wird, könnte bis 2050 ein Markt im Wert von über 15 Milliarden US-Dollar entstehen<sup>65</sup>. Auch in der Automobilindustrie wächst die Zahl der industriellen Recyclinganlagen jährlich<sup>66</sup>. Manche Hersteller schließen bereits Verträge mit europäischen Unternehmen ab, die sich auf diesen Bereich spezialisiert haben<sup>67</sup>, insbesondere für die Rückgewinnung von Kobalt und Nickel aus Lithium-Ionen-Batterien. Auch im Bereich Basismetalle muss angesichts des zu erwartenden Ungleichgewichts zwischen Angebot und Nachfrage das Recycling verstärkt werden, wobei das Preisniveau hier auch eine wichtige Rolle für die Gewährleistung der Existenzfähigkeit der Branchen spielt.

Im Recyclingbereich bestehen dieselben Zweifel angesichts der gleichen sozialen und ökologischen Bedingungen, unter denen der Handel mit den Metallen erfolgt: Kinderarbeit, Unsicherheit, Umweltzerstörung: Von den üblichen negativen Seiten des Bergbausektors wird auch der Recyclingsektor nicht verschont, wie Gaines (2014) am Beispiel von Bangladesch, Indien oder China zeigt. Dabei werden die meisten der in Europa verwendeten und für das Recycling aufbereiteten Metalle in Entwicklungsländer exportiert. Speziell im Bereich Elektro- und Elektronikschrott werden offenbar 90 % der Metalle illegal überführt<sup>68</sup>. Durch das Recycling von Bleiakumulatoren entstehen bereits jetzt in den Entwicklungsländern starke Umweltverschmutzungen. In Bangladesch, China und Indien entfällt ein erheblicher Teil der Recyclingtätigkeit auf den informellen Sektor.

Nach mehreren Skandalen im Zusammenhang mit der Ausfuhr von Sondermüll in Entwicklungsländer wurde 1989 das Basler Übereinkommen unterzeichnet, das die grenzüberschreitende Verbringung gefährlicher Abfälle regeln soll. Dessen Umsetzung ist jedoch unzureichend, zumal es von verschiedenen Industrieländern nicht unterzeichnet wurde. Selbst bei angeblich aus der Müllsammlung stammenden Abfällen besteht die Gefahr, dass sie nicht ordnungsgemäß recycelt werden. Dies ging aus einer Studie zum Fall Portugals hervor. Ein großer Teil der Abfälle wird zudem beim Export fälschlicherweise als „wiederverwendbar“ ausgezeichnet<sup>69</sup>.

Eine wichtige Entwicklung der vergangenen Jahre stellt die Entscheidung Chinas dar, nicht weiter als Umschlagplatz für Abfälle zu dienen, zunächst im Bereich Plastik und Papier<sup>70</sup> und ab 2020 auch bei Kupfer und Aluminium<sup>71</sup>. Das Land hat seine Gesetzgebung schrittweise verschärft und damit die Recyclingbranche mehrerer Industrieländer in Schwierigkeiten gebracht, deren Wirtschaftsmodell auf dem Export dieser Abfälle beruhte. In der Folge wurde Chinas Rolle als Anziehungspunkt für Metallabfälle stark geschwächt. Gleichzeitig gewinnen andere asiatische Länder wie vor allem Indien, aber auch Malaysia, Taiwan, Thailand und Indonesien im Recyclingprozess zunehmend an Bedeutung<sup>72</sup>.

Die chinesische Entscheidung sollte nicht als Problem, sondern vielmehr als Chance verstanden werden. Denn in den Industrieländern werden neue Verarbeitungs- und Recyclingkapazitäten aufgebaut, wie insbesondere in den USA im Kupferbereich. Dort wurde bereits 2019 wieder ein mit den 1990er Jahren vergleichbares Niveau erreicht, also zum Zeitpunkt als die chinesische Recyclingindustrie ursprünglich begann, amerikanisches Kupfer aufzunehmen<sup>73</sup>.

---

<sup>64</sup> International Renewable Energy Agency (IRENA), International Energy Agency's Photovoltaic Power Systems Programme (IEA-PVPS) 2016, [End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels](#) (auf Englisch). Stand 3. Mai 2017.

<sup>65</sup> Ebd.

<sup>66</sup> H. Sanderson 2017, [Electric car growth sparks environmental concerns](#) (auf Englisch), Financial Times.

<sup>67</sup> S. Garnsey 2019, [Audi to start recycling cobalt and nickel with Umicore](#) (auf Englisch), Automotive Logistics. Stand 17. Dezember 2020.

<sup>68</sup> W. Nichols 2015, [Up to 90% of world's electronic waste is illegally dumped, says UN](#) (auf Englisch), The Guardian. Stand 20. Mai 2021.

<sup>69</sup> L. Wuisan 2019, with contributions from Thomas van Nieuwenhuysse, [Review of the CENELEC standards on collection & treatment of WEEE](#) (auf Englisch). Stand 1. Juni 2021.

<sup>70</sup> F. Simon 2019, [EU paper recyclers 'in crisis' as China waste import ban bites](#) (auf Englisch), Euractiv. Stand 1. Juni 2021.

<sup>71</sup> J. Luk 2020, [Focus: What happens after China renames scrap metal as renewable material?](#) (auf Englisch), FastMarkets. Stand 1. Juni 2021.

<sup>72</sup> A. Home 2019, [China is redrawing the global copper scrap map](#) (auf Englisch), Nachrichtenagentur Reuters. Stand 10. Januar 2021.

<sup>73</sup> Ebd.



Die EU war eine der ersten Akteure, der Rechtsvorschriften zum Umgang mit Elektro- und Elektronikabfällen erlassen hat. 2015 wurden politische Maßnahmen zugunsten der Kreislaufwirtschaft festgelegt, die 2020 aktualisiert wurden<sup>74</sup>. Die Europäische Kommission hat im Dezember 2020 einen Verordnungsentwurf vorgelegt, in dem sie ihr Konzept für eine Wertschöpfungskette im Batteriebereich aufführte<sup>75</sup>. Die Kommission beabsichtigt, ab 2023 die Akteure des gesamten Herstellungsprozesses von Batterien gewissen Anforderungen in Bezug auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck, die Nachhaltigkeit und den Anteil recycelter Komponenten zu unterwerfen. Die Initiative, die eine Verlängerung der 2018 ins Leben gerufenen Europäischen Batterie-Allianz darstellt<sup>76</sup>, soll es am Ende eines zeitlich gestaffelten Prozesses ermöglichen, die Umweltauswirkungen von Elektrofahrzeugbatterien zu verringern und gleichzeitig das europäische Batterie-Ökosystem zu verbessern, das derzeit der asiatischen Konkurrenz hinterherhinkt. Die Schwierigkeit wird hier in der Methodik zur Bewertung der Umweltauswirkungen der verschiedenen Komponenten der Batterie-Wertschöpfungskette sowie in der Fähigkeit der Staaten liegen, die verschiedenen Akteure dieser Kette zur erforderlichen Transparenz zu verpflichten.

Der von der EU verfolgte Ansatz setzt auf eine stärkere Berücksichtigung von Menschenrechten und Umweltschutz, wodurch die Attraktivität der EU für die Branche verstärkt werden soll. Die Frage der kritischen Metalle veranschaulicht die Bestrebungen einer Europäischen Kommission, die sich selbst als „geopolitisch“<sup>77</sup> bezeichnet, sich mehr als in der Vergangenheit dem Konzept der Industriepolitik verpflichtet fühlt und um die ökologischen und sozialen Aspekte ihrer Klimamaßnahmen besorgt ist. In den kommenden Jahren wird sich zeigen, ob die EU trotz des Vorsprungs einiger Länder, allen voran China, in der Lage sein wird, ihren Ansatz, ihre Industrie und ihre Standards weltweit durchzusetzen.

---

<sup>74</sup> Europäische Kommission 2020, Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa, Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Brüssel, 11.3.2020 COM(2020) 98 final.

<sup>75</sup> Europäische Kommission 2020, [Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über Batterien und Altbatterien, zur Aufhebung der Richtlinie 2006/66/EG und zur Änderung der Verordnung \(EU\) 2019/1020](#). Brüssel, 10.12.2020..

<sup>76</sup> EBA (European Battery Alliance).

<sup>77</sup> Europäische Kommission 2020, [The von der Leyen Commission: one year on](#) (auf Englisch). Stand 19. Juli 2021.

## Abkürzungen

|        |   |
|--------|---|
| BRGM   | <i>Bureau de recherches géologiques et minières</i> (Büro für geologische und Bergwerksforschungen) |
| DERA   | Deutsche Rohstoffagentur  |
| DLA    | Defense Logistics Agency  |
| EIB    | Europäische Investitionsbank  |
| EU     | Europäische Union   |
| ICMM   | International Council on Mining and Metals  |
| IEA    | Internationale Energie-Agentur  |
| JOCMEC | Japan Oil, Gas and Metals National Corporation  |
| LME    | London Metal Exchange   |
| OECD   | Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung                                     |
| RDC    | <i>République démocratique du Congo</i> (Demokratische Republik Kongo)                              |

Soutenu par :



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

Soutenu par :



MINISTÈRE  
DE LA TRANSITION  
ÉCOLOGIQUE  
*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



## Literaturhinweise

AIE (2021): The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions, Paris.

AIE (2020): Renewable energy, Medium-term Market Report, Paris.

Bieritz L., Mönig A. (2020): The fragility of the copper demand for the Chilean economy. Is the increasing demand of China and India of Peruvian copper a threat for Chile?, Discussion paper 2020/2, GWS.

BRGM (2019), *Le cuivre : revue de l'offre mondiale en 2019* (Überblick zum weltweiten Kupferangebot 2019).

Donoso, G. (2018): Overall assessment of Chile's water policy and its challenges, Water Policy in Chile (S. 209-219), Springer, Cham.

Draper, R. (2019, Februar): This metal is powering today's technology - at what price? National Geographic.

Environmental Justice Atlas (2018, December 31): Lithium mining in Salar del Hombre Muerto, Argentina. <https://ejatlas.org/conflict/salar-del-hombre-muerto-litio-argentina>. 19. April 2020.

Gaines, L. (2014): The future of automotive lithium-ion battery recycling: Charting a sustainable course, Sustainable Materials and Technologies, 1-2, 2-7.

Hatayama, H., Tahara K. (2015): „Criticality Assessment of Metals for Japan's Resource Strategy“, Materials Transactions, Vol. 56, No. 2.

Holzmann A. (2018): China's Battery Industry Is Powering Up For Global Competition. MERICS Economic Indicators Q3/2018 Quarterly analysis of economic trends in China 4–6. [https://www.merics.org/sites/default/files/2018-10/181024\\_Q3%20Economic%20indicators\\_o.pdf](https://www.merics.org/sites/default/files/2018-10/181024_Q3%20Economic%20indicators_o.pdf). Stand 8. September 2019.

Jin Y. X., Lin A., Xiao-Liang L., Yiding W., Wenbin Z., Zhanheng C., (2013): „China's ion-adsorption rare earth resources, mining consequences and preservation“, Environmental Development, S. 131–136.

Kröger M. (2016): „Spatial Causalities in Resource Rushes: Notes from the Finnish Mining Boom“, Journal of Agrarian Change, Vol. 16 No. 4, October 2016, S. 543–570.

Lassila Maija M., (2018): „Mapping mineral resources in a living land: Sami mining resistance in T Ohcejohka, northern Finland“, Geoforum 96, 1–9.

Law, Y.-H. (2019): „Radioactive waste standoff could slash high tech's supply of rare earth elements“, Science.

Lutter S. and S. Giljum (2019): Copper Production in Chile Requires 500 Million Cubic Metres of Water, Fineprint Brief No. 9, December 2019, <https://www.fineprint.global/publications/briefs/chile-copper-water/>. Stand 12. Dezember 2020.

Nassar N.T., Graedel T.E., Harper M. (2015): „By-product metals are technologically essential but have problematic supply“, Sci. Adv. 1 (3).

O'Reilly, K., Eacott, E. (1999): „Aboriginal peoples and impact and benefit agreement: summary of the report of a national workshop“. Northern Perspect. 25 (4), 4–15 (Fall-Winter 1999-2000).

OCDE (2019): Global Material Resources Outlook to 2060, Economic drivers and environmental consequences, Paris.

Perks, R. (2011): „Can I go:’ exiting the artisanal mining sector in the Democratic Republic of the Congo“, J. Int. Dev. 23 (November) (8).

Seaman J. (2019): „Rare Earths and China: A Review of Changing Criticality in the New Economy“, Notes de l’Ifri, Ifri, January.