Rohstoffe für die Energiewende

Wie die Energiewende trotz des steigenden Rohstoffbedarfes gelingen kann

Die Energiewende, welche aufgrund des voranschreitenden Klimawandels notwendig ist, erfordert den Einsatz neuer Technologien mit erhöhtem Rohstoffbedarf, um die ambitionierten Ziele der Klimapolitik zu erreichen. Doch wie können wir gewährleisten, dass die potenziell kritischen Rohstoffe auch in Zukunft zur Verfügung stehen?

Von Franziska Maisel, Michael Haendel, Leon Rostek und Luis Tercero Espinoza

Die Energiewende in Deutschland und auf der ganzen Welt muss gelingen, um den negativen Auswirkungen des Klimawandels auf Menschen und Umwelt entgegenzuwirken. Der Energiebedarf wird zunehmend durch erneuerbare Energien gedeckt und damit die fossilen Energieträger substituiert, was zur Senkung des Bedarfes an Kohle, Erdöl und Gas führt. Der Einsatz dieser neuen Technologien führt im Gegenzug zu einem Anstieg der Nutzung metallischer und potenziell kritischer Rohstoffe und macht Maßnahmen zur Sicherung der Versorgung Deutschlands und Europas mit diesen Rohstoffen erforderlich.

Zukünftige Rohstoffbedarfe ausgewählter Technologien

Die Studie *Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2021* schafft einen Überblick über die zu erwartenden Rohstoffbedarfe für 33 Technologien aus verschiedenen Sektoren. Bei dieser breiten Zusammenschau sticht der erwartete Rohstoffbedarf für Energietechnologien und Dekarbonisierung, Elektromobilität und Digitalisierung besonders heraus (Marscheider-Weidemann et al. 2021). Der Bedarf resultiert vor allem aus Wasserstofftechnologien, Lithium-Ionen-Batterien, Brennstoffzellen, elektrischen Traktionsmotoren, Windkraftanlagen und Hochleistungs-Permanentmagneten. Die meisten dieser Rohstoffe werden von der EU als „kritische Rohstoffe" betrachtet, welche für die EU wirtschaftlich bedeutsam sind und zeitgleich einem erhöhten Versorgungsrisiko unterliegen (Europäische Kommission 2020). Ebenso verhält es sich mit Silizium, dessen Bedarf sich durch den enormen Ausbau der Fotovoltaik stark steigern wird (siehe auch Artikel von Bethge und Fritsch in diesem Heft).

Wir müssen uns nun die Frage stellen, ob die vorhandenen Rohstoffe ausreichen, um den weltweit wachsenden Bedarf zu decken. Natürlich ist es nicht möglich, den Rohstoffbedarf der Zukunft genau vorauszusagen. Möglich ist jedoch, die Entwicklung anhand von Szenarien zu analysieren, die verschiedene Wege in die Zukunft zeigen. Einen Satz solcher Szenarien stellen die des gemeinsam genutzten sozioökonomischen Pfades dar (Riahi et al. 2017). Dieser beschreibt mögliche zukünftige Entwicklungen und legt deren Implikationen unter anderem für Wirtschaftswachstum, Energienutzung und CO_2-Emissionen fest. Anhand dieser Szenarien trifft die Studie *Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2021* eine Abschätzung des zukünftigen Rohstoffbedarfes bis zum Jahr 2040. Für einige der ausgewählten metallischen Rohstoffe ist der Bedarf in einem klimapolitisch ambitionierten Szenario am höchsten. Denn dann werden trotz Effizienzgewinnen mehr Anlagen zur erneuerbaren Elektrizitätserzeugung und -speicherung gebraucht (Marscheider-Weidemann et al. 2021). Einige Technologien möchten wir uns hierbei näher anschauen:

Lithium-Ionen-Batterien (LIB): Lithium, Nickel, Kobalt, Mangan und Grafit werden für die heute dominanten Lithium-Ionen-Batterietechnologien verwendet. Der steigende Einsatz der Elektromobilität und stationärer Speicher für beispielsweise Fotovoltaikanlagen wird dazu führen, dass der Bedarf dieser Rohstoffe den heutigen Bedarf für LIBs um ein Vielfaches übersteigt. Für Lithium und Kobalt ist allerdings zu erwarten, dass allein für die Elektromobilität mehr gebraucht wird, als heute produziert wird.

Windkraftanlagen (WKA): Je nach Technologievariante werden in den Generatoren der WKA Permanentmagnete verwendet, welche die potenziell kritischen Seltenen Erden Neodym, Dysprosium, Praseodym und Terbium enthalten. Insbesondere bei Offshore WKA werden bevorzugt Seltene Erden eingesetzt, um Langlebigkeit und Wartungsfreiheit sicherzustellen (Viebahn et al. 2014). Dies kann dazu führen, dass der Bedarf nach Seltenen Erden für WKA bis 2040 um das Fünf- bis Sechsfache steigt. Insbesondere der Bedarf für Dysprosium und Terbium könnte somit die heutige Produktion übersteigen.

Stationäre Brennstoffzellen: Aufgrund unterschiedlicher Bauformen und Betriebskonzepte kann der Materialbedarf für stationäre Brennstoffzellen sehr unterschiedlich ausfallen. Typische benötigte Rohstoffe sind dabei Yttrium, Zirkonium, Lanthan oder Mangan neben einem größeren Bedarf an Chrom, Aluminium und Kupfer. Als potenziell kritisch kann Scandium gesehen werden, bei dem unter den getroffenen Annahmen in einem ungünstigen Szenario der Bedarf in 2040 die heutige Produktion um das Fünffache übersteigt.

*Ökologisches*Wirtschaften 2.2023 (38) | DOI 10.14512/OEW380221
© 2023 F. Maisel, M. Haendel, L. Rostek, L. T. Espinoza; licensee IÖW and oekom verlag. This is an article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial No Derivates License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.de), which permits copying and redistributing the material in any medium or format, provided the original work is properly cited, it is not used for commercial purposes and it is not remixed, transformed or built upon. The access to the digital version of this article is reserved to subscribers of *Ökologisches*Wirtschaften until one year after the date of publication; after one year it is available to all readers.

Um auch langfristig eine Umsetzung und den Erhalt der Technologien und damit auch eine Verfügbarkeit der Rohstoffe sicherzustellen, ist es notwendig, einhergehende Stärkungen der Rohstoffsicherung zu verfolgen. Das Rohstoffangebot setzt sich aus der Bergbauproduktion (Primärproduktion) und dem Recycling (Sekundärproduktion) zusammen. Heute und in absehbarer Zukunft wird die Primärproduktion den größten Teil zur Energiewende beitragen müssen. Erst am Lebensende der Anlagen können diese recycelt und die zurückgewonnenen Rohstoffe in neuen Anlagen und Produkten eingebracht werden. Deshalb ist es notwendig, beide Angebotsquellen zu betrachten und zu adressieren.

Als rohstoffarmes Land und durch fehlende eigene Bergbauproduktion ist Deutschland auf die Versorgung mit Metallen aus dem Ausland angewiesen, was ein Blick auf die Herkunft der einzelnen Rohstoffe für ausgewählte Technologien zeigt. Im Bereich der Rohstoffversorgung für Batterien entfielen im Jahr 2021 mehr als 90 % der primären Lithiumproduktion auf die drei Länder Australien, Chile und China, während bei Kobalt ganze 73 % der Primärproduktion auf die Republik Kongo fiel (USGS 2022). Seltene Erden, welche für die Herstellung von Permanentmagneten in WKA zum Einsatz kommen, werden überwiegend in China und den USA abgebaut (USGS 2022). Scandium, welches bei stationären Brennstoffzellen eingesetzt wird, wird aktuell nicht aktiv abgebaut, sondern ist ein anfallendes Nebenprodukt beim Abbau anderer Metalle. Da Scandium als kritischer Rohstoff angesehen wird, steigt aktuell das Interesse an Explorations- und Initiierungsprojekten.

Der Abbau dieser Primärrohstoffe findet zum Teil unter katastrophalen Bedingungen statt: Es werden Menschenrechte verletzt und gesundheitliche Risiken der Arbeitenden durch fehlenden Arbeitsschutz im Kleinbergbau riskiert. Ferner entstehen Umweltrisiken durch den Einsatz von giftigen Chemikalien bei der Extraktion und Weiterverarbeitung der Rohstoffe. Als Importeur von Erzen und Metallen aus aller Welt trägt Europa eine besondere Verantwortung und hat erst vor Kurzem einen Richtlinienentwurf zur Ausweitung der Sorgfaltspflichten im Rahmen der Lieferkette (COM/2022/71) vorgelegt, um bekannten Umwelt- und sozialen Problemen, die auch in Verbindung mit der Rohstoffversorgung stehen, politisch zu begegnen.

Geopolitische Strategien zur Rohstoffsicherung

Deutschland und die EU sind in sehr hohem Maße von Rohstoffimporten abhängig. Dennoch ist es auch in Europa möglich, bedeutende geologische Funde zu machen und die Entscheidung zu treffen, diese auch zur Produktion zu bringen, wie jüngst das Beispiel Seltener Erden in Schweden zeigt (LKAB 2023). Solche Funde sind das Resultat von Exploration, welche Investitionen, passende Expertise und gesellschaftliche Akzeptanz benötigt. Gleiches gilt für die anschließende Entwicklung eines funktionierenden Bergwerks, was mehrere Jahre bis Jahrzehnte in Anspruch nehmen kann. Deshalb ist es besonders wichtig, kommende Bedarfssteigerungen durch neue Technologien periodisch zu untersuchen und steigenden Rohstoffnachfragen frühzeitig mit dem Aufbau von Produktionskapazitäten zu begegnen.

Die Vielfalt und Menge an benötigten Rohstoffen wird es notwendig machen, weiterhin auf Importe aus dem Ausland zu setzen. Dafür sind Investitionen und Verträge der Industrie, wie auch eine politische Flankierung wie zum Beispiel Rohstoffpartnerschaften wichtig, was Bundeskanzler Olaf Scholz kürzlich in einer Rede deutlich machte (Bundesregierung 2023). Hierbei bleibt die Herausforderung, europäischen Werten bezüglich Umweltschutz und sozialen Standards auch im wirtschaftlichen Wettbewerb gerecht zu werden, was Europa in einem ersten Schritt mit der bereits erwähnten Ausweitung der Sorgfaltspflichten im Rahmen der Lieferkette begonnen hat.

Hersteller und Konsument/innen stärker adressieren

Hersteller von Produkten können viel dafür tun, dass weniger Rohstoffe benötigt werden und am Lebensende mehr zurückgewonnen wird. Produkte, die auf längere Nutzungsdauer ausgelegt sind, müssen weniger häufig ersetzt werden – dies spart Ressourcen. Auch die Möglichkeit zur einfachen und kostengünstigen Reparatur erlaubt es, Produkte länger zu nutzen und dadurch die erwünschte Funktion für einen Bruchteil des Rohstoff- und Energieeinsatzes zu erhalten. Sogenannte Second-Life-Ansätze, bei denen ein Produkt eine notwendige Funktion mit niedrigeren Anforderungen bereitstellt, können auch die nützliche Lebensdauer verlängern. So können zum Beispiel ausrangierte Batterien aus Elektrofahrzeugen für die Nutzung in stationären Speichern verwendet werden. Produkte können auch so entworfen werden, dass sie am Ende ihrer Nutzung leichter zu zerlegen und zu recyceln sind (Design für Recycling), um so ein effizienteres Recycling zu ermöglichen.

Auch die Konsument/innen übernehmen hier eine wichtige Verantwortung, wenn es um die richtige Entsorgung geht. Oft fehlen gerade bei Verbraucher/innenprodukten ökonomische Anreize, um das Produkt einer sachgemäßen Entsorgung zuzuführen. Bei vielen Abfallströmen wie beispielsweise der Altbatterien liegt die Sammeleffizienz noch unter den gesetzlichen Vorgaben. Durch die neuen Technologien der Energiewende und deren teilweise sehr langen Lebensdauern von 20 Jahren und mehr bei zum Beispiel WKA und Fotovoltaikanlagen können zukünftige Rücklaufmengen nur schwer abgeschätzt werden. Deshalb müssen frühzeitig Rückführungsstrategien entwickelt werden, um eine effiziente Sammlung zu gewährleisten und diese anschließend einem Recycling zuzuführen.

Die Rolle der Politik als Treiber

Eine große Rolle bei der Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft nimmt die Politik ein. Um beispielsweise den steigenden Mengen der Batterien aus Elektrofahrzeugen zu begeg-

nen, hat die Europäische Kommission mehrere Initiativen zu Batterien gestartet, unter anderem einen Vorschlag für die Revision der Verordnung über Batterien und Altbatterien (COM/2020/798). Dieser Regelungsrahmen legt Sammelquoten für Fahrzeug- und Industriebatterien, Recyclingeffizienzen und die Rückgewinnung von Materialien sowie den Recyclinganteil in Batterien fest. Der Fokus liegt dabei insbesondere auf potenziell kritischen Metallen wie Lithium, Nickel und Kobalt.

Durch Forschungs- und Entwicklungsvorhaben kann die Politik eine Weiterentwicklung alternativer Technologien ohne den Einsatz potenziell kritischer Rohstoffe unterstützen, um somit eine Substitution auf Material- und Technologieebene anzustreben. Im Fall von WKA kann ein Versorgungsengpass mit Seltenen Erden dazu führen, dass sich Technologievarianten stärker durchsetzen, welche zwar technische Nachteile aufweisen, dafür jedoch keine Seltenen Erden verwenden.

Recycling im Fokus

Um den zukünftigen Rohstoffbedarf zu sichern, muss Recycling stärker in den Fokus gerückt werden. Bisher gibt es einige Rohstoffe, die noch nicht vollständig recycelt werden können. Das Geschäftsmodell von Batterie-Recyclinganlagen basiert heute auf der Rückgewinnung von Kobalt, Nickel und Lithium. Während Kobalt mit heutigen Technologien relativ leicht aus Altbatterien zurückzugewinnen ist, stellt Lithium wesentlich höhere Anforderungen an die Verfahren. Derzeit ist es noch nicht möglich, Lithium in so hoher Qualität zurückzugewinnen, dass es für den Wiedereinsatz in neuen Batterien verwendet werden kann. In Zukunft wird das Recycling von Lithium jedoch an Bedeutung gewinnen, da sich die Kathodenzusammensetzung von Batterien stetig verändert und aufgrund der Kritikalität der Rohstoffe zu einem kobaltarmen Trend tendiert. Um langfristig auf solch eine Marktveränderung zu reagieren, müssen die Recyclinganlagen ihre Prozesskette modifizieren, um wirtschaftlich zu sein. Digitale Produktpässe könnten das Recycling vieler Rohstoffe effizienter gestalten, indem die Zusammensetzung der Produkte dem Recyclingunternehmen zugänglich gemacht wird. Nur durch den Einsatz von hochwertigen Sekundärrohstoffen in neuen Produkten kann eine effiziente Kreislaufwirtschaft umgesetzt werden.

Fazit

Durch den Einsatz neuer Technologien für die Energiewende wird der Bedarf an strategischen Rohstoffen bedeutend steigen. Eine sichere und verantwortungsvolle Rohstoffversorgung ist eine zu große und wichtige Aufgabe, um einen einzelnen Akteur zu delegieren. Vielmehr müssen Politik, Industrie, Wissenschaft und Gesellschaft die Herausforderung annehmen und ihre Handlungsmöglichkeiten nutzen. Nur wenn alle Akteure gleichermaßen ihren Teil dazu beitragen und Verantwortung übernehmen, kann die Energiewende auch trotz des steigenden Rohstoffbedarfes gelingen.

Literatur

Bundesregierung (2023): Rede von Bundeskanzler Scholz beim Deutsch-Chilenischen Wirtschaftsforum am 30. Januar 2023. www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/rede-von-bundeskanzler-scholz-beim-deutsch-chilenischen-wirtschaftsforum-am-30-januar-2023-2161408

EK (2020): Widerstandsfähigkeit der EU bei kritischen Rohstoffen: Einen Pfad hin zu größerer Sicherheit und Nachhaltigkeit abstecken. Brüssel, Europäische Kommission.

LKAB (2023): Europe's largest deposit of rare earth metals is located in the Kiruna area. LKAB. https://lkab.com/en/press/europes-largest-deposit-of-rare-earth-metals-is-located-in-the-kiruna-area/.

Marscheider-Weidemann, F./Langkau, S./Billaud, M./Deubzer, O./Eberling, E./Maisel, F. et al. (2021): Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2021. Auftragsstudie. www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-50.pdf?__blob=publicationFile&v=4

USGS (2022): Mineral Commodity Summaries 2022 – Cobalt, Lithium, Rare Earths. U. S. Geological Survey. https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022.pdf

Riahi, K./van Vuuren, D. P./Kriegler, E./Edmonds, J./O'Neill, B. C./Fujimori, S. et al. (2017): The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. In: Global environmental change: human and policy dimensions 42: 153–168. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009.

Viebahn, P./Arnold, K./Friege, J./Krüger, C./Nebel, A./Ritthoff, M. et al. (2014): KRESSE – Kritische mineralische Ressourcen und Stoffströme bei der Transformation des deutschen Energieversorgungssystems. Abschlussbericht. Wuppertal, Wuppertal Institut.

AUTOREN/INNEN + KONTAKT

Franziska Maisel ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer IZM mit den Arbeitsschwerpunkten Lebenszyklusanalyse, Verbesserung der Material- und Recyclingeffizienz und Steigerung der Rohstoffrückgewinnung aus Elektroaltgeräten sowie Altbatterien.

Fraunhofer Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration, Gustav-Meyer-Allee 25, 13355 Berlin.
Tel.: +49 30 46403-293,
E-Mail: franziska.maisel@izm.fraunhofer.de

Michael Haendel ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Competence Center Energietechnologien und Energiesysteme am Fraunhofer ISI. Er führt techno-ökonomischen Analysen zu Sektorenkopplungstechnologien durch und beschäftigt sich dabei mit Wasserstofftechnologien im Kontext der Transformation der Industrie.

Leon Rostek ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer ISI im Competence Center Nachhaltigkeit und Infrastruktursysteme und im Geschäftsfeld Rohstoffe tätig. Seine Arbeitsschwerpunkte sind Recyclingsysteme, Stoffflussmodellierung und Circular Economy.

Luis Tercero leitet das Geschäftsfeld Rohstoffe im Competence Center Nachhaltigkeit und Infrastruktursysteme. Er forscht unter anderem zu den Themen Stoffkreisläufe und Stoffflussmodellierung, kritische Rohstoffe und Circular Economy sowie veränderte Rohstoffbedarfe durch neue Technologien.

Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe.
Tel.: +49 721 6809-676,
E-Mail: michael.haendel@isi.fraunhofer.de,
leon.rostek@isi.fraunhofer.de,
luis.tercero@isi.fraunhofer.de