

## Kritische Rohstoffe didaktisch rekonstruiert

### Ausgangslage

Die globale Klimakrise erfordert einen grundlegenden Wandel hin zu einer postfossilen Gesellschaft mit nachhaltiger Energieversorgung. Für diesen Transformationsprozess sind jedoch erhebliche Mengen an Rohstoffen notwendig, die in Europa entweder nicht vorkommen oder nicht in ausreichendem Maße abgebaut werden. Folglich ist die EU bei der Versorgung mit Rohstoffen wie Lithium, Cobalt, Platin und Seltenerdelementen stark auf Importe aus teils geopolitisch instabilen Herkunftsländern angewiesen (European Commission, 2020). Aus Sorge vor einer erhöhten Wahrscheinlichkeit von Versorgungsunterbrechungen gewinnt das Konzept der kritischen Rohstoffe an Bedeutung (Schrijvers et al., 2020). Dementsprechend wird es immer wichtiger, diesen Themenbereich in den naturwissenschaftlichen Unterricht zu integrieren. So wird verstärkt gefordert, das Konzept im Chemieunterricht (Reiners, 2017) sowie im Rahmen der Bildung für nachhaltige Entwicklung (Zowada et al., 2019) zu thematisieren. Bereits entwickelte Lernumgebungen fokussieren als Schwerpunkte die Digitalisierung (Bütow & Eilks, 2023; Huwer et al., 2022) oder ausgewählte Elementgruppen (Hermanns, 2014; Precht, 2022). Im Rahmen des SFB 1487 Iron, upgraded! nutzen wir im Ö-Teilprojekt den Ansatz der didaktischen Rekonstruktion, um zu erforschen, wie das Konzept der kritischen Rohstoffe im Kontext nachhaltiger chemischer Technologien effektiv vermittelt werden kann. Unser Ziel ist es, durch die Analyse der Vorstellungen von Wissenschaftler\*innen und Schüler\*innen, ein strukturiertes und praxisnahes Vermittlungskonzept zu entwickeln.

### Das Konzept der kritischen Rohstoffe

Nach Schrijvers et al. (2020) wird die Rohstoffkritikalität als Kombination aus Wahrscheinlichkeit und Folgen von Versorgungsunterbrechungen eines Rohstoffs verstanden.

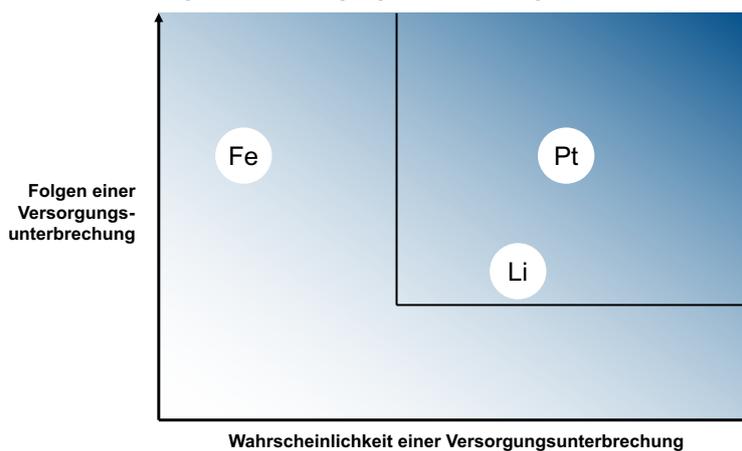


Abb. 1: Schematische Darstellung der Kombination von Wahrscheinlichkeit und Folgen einer Versorgungsunterbrechung als Kritikalitätsmatrix angelehnt an NRC (2008).

Die Methoden zur Durchführung eines Kritikalitätsassessments sind vielfältig und werden auf verschiedenen Ebenen angewandt: für einzelne Materialien (Bach et al., 2016), Technologien (Helbig et al., 2018), Länder oder Regionen (European Commission, 2020; NRC, 2008) sowie auf globaler Ebene (Graedel et al., 2012). Daher existiert kein einheitliches Standardverfahren zur Beurteilung der Kritikalität eines Rohstoffs (Schrijvers et al., 2020). In der Praxis wird häufig eine Kritikalitätsmatrix zur Visualisierung des Konzepts genutzt (Abb. 1). Die Kritikalität eines Rohstoffs steigt mit zunehmender Entfernung vom Ursprung, was durch die intensivere Schattierung verdeutlicht wird (NRC, 2008). Ein Rohstoff wird anhand seiner wirtschaftlichen Bedeutung und Verfügbarkeit in der Matrix lokalisiert. Die Kritikalität kann auf zwei Arten interpretiert werden: entweder als ein „mehr-oder-weniger“-Problem, wobei Platin in diesem Beispiel kritischer wäre als Lithium und Eisen, oder durch die Festlegung von Grenzwerten als „entweder-oder“-Problem, sodass Platin und Lithium in diesem Fall als kritische Rohstoffe gelten würden, Eisen hingegen nicht.

### Ausgewählte Ergebnisse der didaktischen Rekonstruktion

In unserer Studie wurden die Vorstellungen von Wissenschaftler\*innen und Schüler\*innen zum Konzept der kritischen Rohstoffe untersucht. Ziel war es, auf Basis einer vergleichenden Analyse dieser Perspektiven didaktische Leitlinien zu entwickeln. Für die fachliche Klärung wurden zunächst die Sichtweisen der Wissenschaftler\*innen erfasst. Hierzu erfolgte ein Auswahlprozess, angelehnt an eine systematische Literaturrecherche und an Schrijvers et al. (2020), in dem 40 Methoden der Kritikalitätsbewertung ausgewählt wurden. Die entsprechenden wissenschaftlichen Artikel und behördlichen Berichte wurden im Anschluss mittels einer strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse (Gropengießer, 2008; Mayring, 2022) in MAXQDA untersucht. Zur Qualitätssicherung wurden bei der Durchführung folgende Maßnahmen ergriffen: eine umfassende Verfahrensdokumentation, ein methodisch kontrolliertes Vorgehen sowie eine interne Validierung.

*Tabelle 1: Exemplarische Denkfigur der Wissenschaftler\*innen.*

Denkfigur	Beispielzitate
VERSORGUNGSUNSIKERHEIT AUFGRUND EINER DAS ANGEBOT ÜBERSTIEIGENDEN NACHFRAGE	<p><i>“The growing economies of the world are competing for a bigger share of the world’s material resources. That increased demand can put a strain on the supply chain [...]”</i> (Duclos et al., 2010, S. 36)</p> <p><i>“The analysis of how raw material demand is driven by the use of new technologies clearly reveals the influence of technological change on criticality.”</i> (European Commission, 2010, S. 41)</p>

Tabelle 1 zeigt exemplarisch eine Denkfigur, die aus der Analyse der genutzten Indikatorsets und Erklärungsmuster der Wissenschaftler\*innen rekonstruiert wurde. Die Denkfigur beschreibt die Vorstellung, dass ein Anstieg der Nachfrage zu Versorgungsunterbrechungen führen kann, wenn er die Produktion übersteigt. Als treibende Faktoren gelten dabei sowohl ökonomisches Wachstum als auch die Nutzung neuer Technologien. Zusammenfassend lässt sich diese Denkfigur folgendermaßen verallgemeinern: VERSORGUNGSUNSIKERHEIT AUFGRUND EINER DAS ANGBOT ÜBERSTIEIGENDEN NACHFRAGE.

Die Lernendenperspektive wurde mit einer leitfadengestützten Interviewstudie untersucht. Es wurden 15 Einzelinterviews mit Schüler\*innen der gymnasialen Oberstufe (17–18 Jahre) geführt und transkribiert. Die Interviews wurden ebenfalls einer strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse in MAXQDA unterzogen. Ergänzend zu den bereits in der fachlichen Klärung getroffenen Maßnahmen wurde eine interne Triangulation zur Qualitätssicherung angewandt.

*Tabelle 2: Exemplarische Denkfigur der Schüler\*innen.*

Denkfigur	Beispielzitate
VERSORGUNGSUNSIKERHEIT AUFGRUND EINER DAS KNAPPE ANGEBOT ÜBERSTIEGENDEN NACHFRAGE	<p>„Das Bevölkerungswachstum steht in Verbindung mit dem Rohstoffverbrauch. [...] Die globale Nachfrage steigt, was bedeutet, dass es nicht genug für jedes einzelne Land gibt.“ (Chiara, 18)</p> <p>„Neue Technologien werden zu einer höheren Nachfrage führen. Zum Beispiel ist Lithium, das für Batterien wichtig ist, relativ knapp. Eine weltweite Nutzung wird die Versorgung problematisch machen.“ (Sebastian, 18)</p>

Die Analyse der Schüler\*innen-Aussagen ermöglichte die Rekonstruktion der in Tabelle 2 dargestellten Denkfigur. Diese spiegelt die Vorstellung wider, dass ein Nachfrageanstieg durch Bevölkerungswachstum und die Nutzung neuer Technologien bedingt ist, welcher bei einem begrenzten Angebot zu Versorgungsproblemen führen kann. In den Beispielzitaten wird deutlich, dass die Lernenden das Bevölkerungswachstum als zentralen Faktor für die steigende Rohstoffnachfrage ansehen. Zudem wird die potenzielle physische Knappheit der Rohstoffe thematisiert. Verallgemeinert lautet die Denkfigur: VERSORGUNGSUNSIKERHEIT AUFGRUND EINER DAS KNAPPE ANGEBOT ÜBERSTIEGENDEN NACHFRAGE.

Der Vergleich der rekonstruierten Vorstellungen von Wissenschaftler\*innen und Schüler\*innen ermöglicht die Ableitung spezifischer didaktischer Leitlinien. Im ausgewählten Fall zeigt sich, dass Lernende das Bevölkerungswachstum als zentrale Ursache für den Anstieg der Rohstoffnachfrage kritisch reflektieren und zudem die Rolle wirtschaftlicher Aktivitäten als potenziell destabilisierenden Faktor besser verstehen sollten. Die Ergebnisse der gesamten Studie deuten auf eine zentrale Differenz in den Wahrnehmungen hin: Während die Schüler\*innen vorwiegend eine absolute physische Knappheit als Hauptgrund für Versorgungsunterbrechungen sehen, argumentieren die Wissenschaftler\*innen, dass eine solche Knappheit in absehbarer Zukunft nicht zu erwarten ist. Stattdessen führen sie die Versorgungsunsicherheiten primär auf geopolitische Abhängigkeiten zurück, die durch die Konzentration der Rohstoffproduktion auf wenige Länder entstehen.

### **Fazit und didaktische Implikationen**

Da das Konzept der kritischen Rohstoffe ursprünglich im Kontext von Assessments entwickelt wurde, ist eine didaktische Aufarbeitung erforderlich. Die Erkenntnisse bieten eine evidenzbasierte Grundlage für die Entwicklung zielgerichteter Unterrichtsmaterialien, die das Wissen der Lernenden aufgreifen und um wissenschaftlich fundierte Perspektiven erweitern.

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) – Projektnummer 443703006  
– SFB 1487

## Literatur

- Bach, V., Berger, M., Henßler, M., Kirchner, M., Leiser, S., Mohr, L., Rother, E., Ruhland, K., Schneider, L., Tikana, L., Volkhausen, W., Walachowicz, F. & Finkbeiner, M. (2016). Integrated method to assess resource efficiency – ESSENZ. *Journal of Cleaner Production*, 137, 118–130. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.077>
- Bütow, J.-C. & Eilks, I. (2023). Über das Konzept der kritischen Rohstoffe im Chemieunterricht mit einer digitalen Lernumgebung lernen. *Chemkon*, 31(2) 54-59. <https://doi.org/10.1002/ckon.202200054>
- Duclos, S. J., Otto, J. P. & Konitzer, D. G. (2010). Design in an era of Constrained Resources. *Mechanical Engineering*, 132(09), 36–40. <https://doi.org/10.1115/1.2010-Sep-3>
- European Commission. (2010). Critical Raw Materials for the EU, Report of the Ad-hoc Working Group on Defining Critical Raw Materials. Brüssel. 25 final. Online verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52011DC0025>
- European Commission. (2020). Critical Raw Materials for the EU. Report of the Ad-hoc Working Group on Defining Critical Raw Materials. Brüssel. 474 final. Online verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/42849>
- Graedel, T. E., Barr, R., Chandler, C., Chase, T., Choi, J., Christoffersen, L., Friedlander, E., Henly, C., Jun, C., Nassar, N. T., Schechner, D., Warren, S., Yang, M.-Y. & Zhu, C. (2012). Methodology of metal criticality determination. *Environmental science & technology*, 46(2), 1063–1070. <https://doi.org/10.1021/es203534z>
- Gropengießer, H. (2008). Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung. In P. Mayring & M. Gläser-Zikuda (Hrsg.), *Studium Pädagogik: Die Praxis der qualitativen Inhaltsanalyse* (2., neu ausgestattete Aufl.). Beltz Verlag.
- Helbig, C., Bradshaw, A. M., Wietschel, L., Thorenz, A. & Tuma, A. (2018). Supply risks associated with lithium-ion battery materials. *Journal of Cleaner Production*, 172, 274–286. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.122>
- Hermanns, J. (2014). Eine Podiumsdiskussion zum Thema Seltene Erden. *MNU*, 67(3), 152–154.
- Huwer, J., Siol, A. & Eilks, I. (2022). Seltene Erden & Co: Digitales Lernen in Unterricht, Schülerlabor und Lehrer\*innenbildung über die stofflichen Auswirkungen der zunehmenden Nutzung digitaler Medien. In J. Weselek, F. Kohler & A. Siegmund (Hrsg.), *Digitale Bildung für nachhaltige Entwicklung* (S. 227–237). Springer Heidelberg.
- Mayring, P. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (13., überarbeitete Auflage). Beltz.
- NRC. (2008). *Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/12034>
- Prechtl, M. (2022). Seltenelemente: Ein facettenreiches und forderndes Thema für den Unterricht. *Plus Lucis*, (1), 4–10.
- Reiners, C. S. (2017). Kritische Rohstoffe! - Kritische Unterrichtsstoffe? Eine fachdidaktische Reflexion am Beispiel der Seltene Erden. *NiU-Ch*, 28(161), 8–12.
- Schrijvers, D., Hool, A., Blengini, G. A., Chen, W.-Q., Dewulf, J., Eggert, R., van Ellen, L., Gauss, R., Goddin, J., Habib, K., Hagelücken, C., Hirohata, A., Hofmann-Antenbrink, M., Kosmol, J., Le Gleuher, M., Grohol, M., Ku, A., Lee, M.-H., Liu, G., . . . Wäger, P. A. (2020). A review of methods and data to determine raw material criticality. *Resources, Conservation and Recycling*, 155, 104617. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104617>
- Zowada, C., Niebert, K. & Eilks, I. (2019). Wenn nicht jetzt, wann dann? Nachhaltigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht. *NiU-Ch*, 30(172), 2–9.