

Yannick Legscha<sup>1</sup>  
Markus Precht<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technische Universität Darmstadt

## **Wie lässt sich ein nachhaltiger Umgang mit Rohstoffen vermitteln? Vorstellung der didaktisch-empirischen Begleitforschung zu *Iron, upgraded!***

Windturbinen, Solarzellen, Akkus für Elektroautos und Technologien für die Digitalisierung. Sie ermöglichen den Übergang hin zu einer postfossilen Gesellschaft mit nachhaltiger Energieversorgung. Jedoch benötigen diese Technologien anorganische Rohstoffe. Die Verfügbarkeit dieser Rohstoffe spielt eine entscheidende Rolle für die praktische Realisierung der nachhaltigen Energieerzeugung. Folglich kann die Energiewende als eine Materialwende von fossilen Brennstoffen hin zu mineralischen Rohstoffen aufgefasst werden.

Durch die Energiewende und andere Zukunftstechnologien kommt es zu einer erheblichen Nachfrage nach Metallen, von denen die meisten in Europa entweder nicht vorkommen oder nicht abgebaut werden (Lepesant, 2021). Daher ist die EU in hohem Maße importabhängig, teils von unsicheren Erzeugerländern (EU COM, 2020). Mitunter erscheinen die Abbaubedingungen von Rohstoffen unter ökologischen und sozialen Gesichtspunkten fragwürdig (Graedel et al., 2012). Aus Sorge um ein erhöhtes Risiko der Versorgungsunterbrechung, hat das Thema der Kritikalität an Aufmerksamkeit gewonnen. Als Konsequenz wird ein nachhaltiger Umgang mit anorganischen Rohstoffen gefordert (Bach et al., 2016). Strategien zur Bewältigung des Problems zielen auf die Maximierung der gesamten Rohstoffeffizienz ab (Cimprich et al., 2022). Diese werden unter dem Konzept der Kreislaufwirtschaft zusammengefasst (Gaustad et al., 2018). Eine ergänzende Strategie ist die Materialsubstitution, die der Sonderforschungsbereich (SFB) *Iron, upgraded!* fokussiert. Der SFB soll grundlegende Erkenntnisse zur Funktionalisierung von Eisenverbindungen liefern, mit dem Ziel, Eisen als vielseitiges Substitut zu nutzen.

### **Fragestellung**

Im SFB-Teilprojekt *Public Relations* stellen wir uns die Frage, wie ein nachhaltiger Umgang mit anorganischen Rohstoffen öffentlichkeitswirksam und erfolgreich vermittelt werden kann. Das Hauptziel ist, das Themenfeld und neueste wissenschaftliche Erkenntnisse didaktisch zu transformieren. Ein strukturiertes Vermittlungskonzept wird entwickelt, das Lernenden die Partizipation rund um das Socioscientific Issue ermöglicht. Die fachlichen Grundlagen des Problemfeldes werden im Sinne einer Bildung für nachhaltige Entwicklung aufgearbeitet.

### **Methodisches Vorgehen**

Für unser methodisches Vorgehen orientieren wir uns am Konzept der Didaktischen Rekonstruktion (Kattmann et al., 1997). In der ersten Projektphase befassen wir uns zunächst mit der Sachstruktur des nachhaltigen Umgangs mit Rohstoffen. Im qualitativen Forschungsdesign wird so das Themengebiet theoriegeleitet erschlossen. Für die fachliche Klärung wurden zur Pilotierung leitfadengestützte Experten\*inneninterviews ( $N = 6$ ) geführt. Spezifische wissenschaftliche Konzepte werden durch eingehende Literaturanalysen fachlich geklärt. Alle generierten Daten werden mithilfe der Qualitativen Inhaltsanalyse (Kuckartz & Rädiker, 2022) und einer Metaphernanalyse (Schmitt, 2005) ausgewertet.

### Erste Ergebnisse der Fachlichen Klärung

Aus den Interviews geht hervor, dass sowohl das Problem- als auch das Handlungsfeld im Umgang mit Rohstoffen vielfältig und komplex ist. Als ein zentrales Konzept zur Beurteilung dieses Themenkomplexes konnten wir die **Kritikalität** identifizieren. Nach Schrijvers et al. (2020) wird die materielle Kritikalität weitgehend als Kombination aus Wahrscheinlichkeit und Folgen von Versorgungsunterbrechungen eines bestimmten Materials, für bestimmte Stakeholder und einem bestimmten Zeitrahmen, aufgefasst. Die Autor\*innen differenzieren in ihrem Review 36 verschiedene Kritikalitätsassessments. Diese Assessments dienen uns als Grundlage, um in der Literaturanalyse aus ausgewählten Einzelpublikationen ( $N = 132$ ) fachwissenschaftliche Vorstellungen und Denkfiguren zu ermitteln. Das methodische Vorgehen der Kritikalitätsassessments ist vielfältig und wird auf verschiedenen Ebenen durchgeführt: für ein bestimmtes Material (Bach et al., 2016), eine Technologie (Helbig et al., 2018), ein Land oder eine Region (EU COM, 2020) oder auf globaler Ebene (Graedel et al., 2012). Es gibt kein Standardverfahren zur Beurteilung der Kritikalität eines Rohstoffs (Schrijvers et al., 2020). Allerdings werden grundlegende Kritikalitätsdimensionen differenziert: die Wahrscheinlichkeit einer Versorgungsunterbrechung, die Anfälligkeit gegenüber dieser sowie soziale und ökologische Aspekte. Diese Dimensionen werden in den Assessments mit Target Values (Versorgungsrisiko, ökonomische Bedeutung, ökologische und soziale Aspekte) charakterisiert. Die Target Values werden in der Regel zu konkreten Werten aggregiert. Aus der Literaturanalyse geht hervor, dass die entwickelten Methoden wirtschaftliche und geopolitische Faktoren priorisieren. Folglich wird die Dimension des Versorgungsrisikos durchgehend beurteilt (Abb. 1). Dahingegen fließt die Anfälligkeit des Systems in geringerem Maße in die Assessments ein, da diese in einigen Studien als vorausgesetzt angesehen wird (Helbig et al., 2018). Beide Dimensionen bilden zusammen als Kritikalitätsmatrix das klassische Konzept von Kritikalität (NRC, 2008).

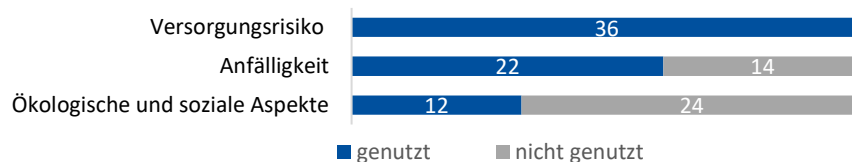


Abb.1 Verteilung und Häufigkeit der Kritikalitätsdimensionen in den Assessments ( $N = 36$ ).  
Eigene Darstellung nach Schrijvers et al., 2020, aktualisiert.

Die Kritikalitätsbewertung beruht auf der Auswahl eines auf Daten basierenden Indikatorsets (Achzet & Helbig, 2013). Diese Indikatoren sollen wirtschaftliche, geologische, politische, ökologische und physikalische Faktoren der Kritikalität darstellen (Schrijvers et al., 2020). Im Zuge der Literaturanalyse haben wir aus den Indikatorsets zentrale Denkfiguren der Kritikalitätsbeurteilung abgeleitet (Abb. 2). Im Folgenden werden ausgewählte Denkfiguren exemplarisch dargestellt. Die Indikatoren des Versorgungsrisikos zielen darauf ab, die Wahrscheinlichkeit einer Versorgungsunterbrechung innerhalb der Versorgungsstruktur zu erfassen. Beispielsweise lässt sich der Indikator *Diversität der Versorgung* in der Denkfigur **Versorgungsrisiko durch Konzentration der Versorgung** verallgemeinern. Der Denkfigur ist das Konzept zugeordnet, dass eine verminderte Angebotsvielfalt zu einer erhöhten Wahrscheinlichkeit der Versorgungsunterbrechung führt. Die Angebotsvielfalt wird dabei

durch die Anzahl der Erzeugerländer und Unternehmen der Lieferkette bestimmt. Hingegen zielt das Indikatorset der Anfälligkeit darauf ab, die wirtschaftliche Bedeutung eines Rohstoffs zu erfassen. Indikatoren wie die *Interne Nachfrage* und *Bedeutung des Sektors* können in der Denkfigur **Ökonomische Bedeutung durch Rohstoffnutzung** verallgemeinert werden. Diese Indikatoren deuten darauf hin, dass ein Rohstoff von dem untersuchten System benötigt wird. Der Denkfigur ist folgendes Konzept zugeordnet: Je häufiger ein Material verwendet wird, desto anfälliger ist das System für Versorgungsunterbrechungen. Die Substituierbarkeit wird in den meisten Assessments entweder als Indikator für ein Versorgungsrisiko oder für die Anfälligkeit genutzt. Folglich reduzieren Substitute die Wahrscheinlichkeit eines Versorgungsrisikos bzw. die Anfälligkeit des Systems gegenüber diesem.

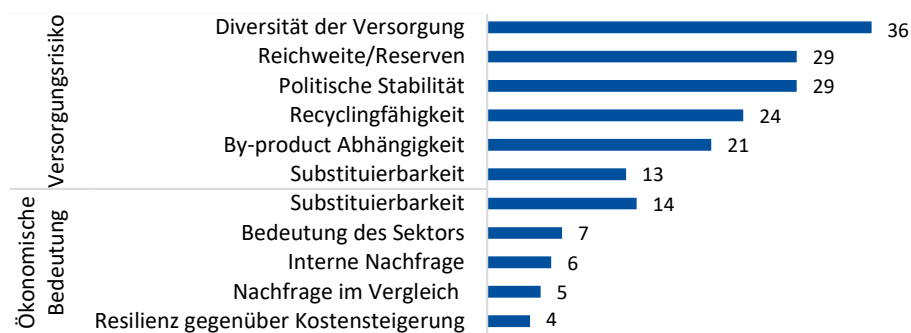


Abb. 2 Überblick über Indikatoren zur Beurteilung des Versorgungsrisikos und der ökonomischen Bedeutung. Eigene Darstellung nach Schrijvers et al., 2020, aktualisiert.

In dieser klassischen sozioökonomischen Perspektive auf Kritikalität werden die ökologischen und sozialen Aspekte nicht priorisiert. Dies zeigt sich anhand der Häufigkeit der Dimension in den Assessments (Abb. 1). Die Ergebnisse von Life Cycle Impact Assessments werden genutzt, um durch Indikatoren, wie *menschliche Gesundheit* und *Qualität des Ökosystems*, diese Dimension der Kritikalität abzubilden (Cimprich et al., 2019). Die Nutzung der Indikatoren spiegelt jedoch unterschiedliche Perspektiven auf diese Dimension wider: beispielsweise werden die ökologische und soziale Dimension zum einen durch potenzielle Regularien als ein Indikator des Versorgungsrisikos angesehen (EU COM, 2011), zum anderen werden die Auswirkungen der Rohstoffnutzung auf die Umwelt bzw. soziale Werte als eigene dritte Dimension einer Kritikalitätsmatrix angesehen (Graedel et al., 2012).

### Fazit und Ausblick

Die Vielfalt und Komplexität der Kritikalitätsassessments machen einen Vergleich ihrer Ergebnisse schwierig, wenn nicht gar unmöglich. Das Kritikalitätskonzept ist Teil der wissenschaftlichen Perspektive auf das Problemfeld der Rohstoffe. Zusammen mit Life Cycle Assessments werden alle drei Säulen der Nachhaltigkeit adäquat abgebildet und beurteilt. Im nächsten Projektschritt erfassen wir die Perspektive der Lernenden auf einen nachhaltigen Umgang mit Rohstoffen.

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

## Literatur

- Achzet, B. & Helbig, C. (2013). How to evaluate raw material supply risks — an overview. *Resources Policy*, 38(4), 435–447. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2013.06.003>
- 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>
- Cimprich, A., Bach, V., Helbig, C., Thorenz, A., Schrijvers, D., Sonnemann, G., Young, S.B., Sonderegger, T., Berger, M. (2019). Raw material criticality assessment as a complement to environmental life cycle assessment: Examining methods for product-level supply risk assessment. *Journal of Industrial Ecology*, 23(5), 1226–1236. <https://doi.org/10.1111/jiec.12865>
- Cimprich, A., Young, S.B., Schrijvers, D., Ku, A.Y., Hagelüken, C., Christmann, P., Eggert, R., Habib, K., Hirohata, A., Hurd, A.J., Lee, M.-H., Peck, D., Petavratzi, E., Tercero Espinoza, L.A., Wäger, P., Hool, A. (2022). The role of industrial actors in the circular economy for critical raw materials: a framework with case studies across a range of industries. *Mineral Economics*. Online-Vorveröffentlichung. <https://doi.org/10.1007/s13563-022-00304-8>
- EU COM, European Commission (2011). Critical Raw Materials for the EU, Report of the Ad-hoc Working Group on Defining Critical Raw Materials. Brüssel. COM(2011) 25 final. Online verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52011DC0025>
- EU COM, European Commission (2020). Critical Raw Materials for the EU. Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials. Brüssel. COM(2020) 474 final, 5. Online verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/42849>
- Gaustad, G., Krystofik, M., Bustamante, M. & Badami, K. (2018). Circular economy strategies for mitigating critical material supply issues. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 24–33. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.002>
- 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>
- 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>
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H., Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftliche Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3), 3–18.
- Kuckartz, U. & Rädiker, S. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse: Methoden, Praxis, Computerunterstützung: Grundlagentexte Methoden* (5. Aufl.). Beltz Juventa.
- Lepesant, G. (2021). Die Rolle der kritischen Metalle bei der Energiewende: Herausforderungen und Strategien. Centre Marc Bloch. 5–7. Onlinepublikation zuletzt abgerufen unter: <https://energie-fr.de/de/gesellschaft-umwelt-wirtschaft/aktuelles/leser/hintergrundpapier-zur-rolle-von-kritischen-metallen-bei-der-energiewende.html> am 24.10.2022.
- NRC, National Research Council (2008). *Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/12034>
- Schmitt, R. (2005). Systematic Metaphor Analysis as a Method of Qualitative Research. *The Qualitative Report*, 10(2), 358–394.
- Schrijvers, D., Hool, A., Blengini, G.A., Chen, W.-Q., Dewulf, J., Eggert, R., van Ellen, L., Gauss, R., Goddin, J., Habib, K., Hagelüken, C., Hirohata, A., Hofmann-Antenbrink, M., Kosmol, J., Le Gleuher, M., Grohol, M., Ku, A., Lee, M.-H., Liu, G., Nansai, K., Nuss, P., Peck, D., Reller, A., Sonnemann, G., Tercero, L., Thorenz, A., 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>