

METHODEN ZUR ERMITTLUNG DES ROHSTOFFBEDARFS IN ENERGIESYSTEMANALYSEN

Kai SCHULZE^{1(*)}, Felix KULLMANN¹, Jann M. WEINAND¹, Detlef STOLTEN^{1,2}

Motivation

Die aktuelle Transformation des Energiesystems induziert eine deutlich erhöhte Rohstoffnachfrage [1]. Neben Mengenrohstoffen wie Stahl oder Zement, werden viele der benötigten Rohstoffe aufgrund ihrer Verfügbarkeit und der mit ihrer Förderung verbundenen Kosten sowie geopolitischen Risiken als kritisch eingestuft [2]. Maßgeblich von der Frage nach potenziellen Engpässen getrieben hat das Forschungsfeld rund um den Energie-Rohstoff-Nexus in den letzten Jahren deutlich an Aufmerksamkeit gewonnen [3]–[5]. Verdeutlicht wird diese Entwicklung unter anderem durch die aktuellen Veröffentlichungen der Internationalen Energieagentur, welche die Themen Lieferketten, Energiesicherheit und Rohstoffbedarf explizit als Schwerpunkte thematisieren [1], [6].

Innerhalb der letzten Dekade ist eine Vielzahl von Veröffentlichungen erschienen, welche sich mit der Ermittlung des Rohstoffbedarfs von Energiesystemen befassen. Dabei variieren die Analysemethoden teils erheblich und reichen von nachgelagerten Analysen bestehender Szenarien bis zu ersten Schritten der vollständigen Integration von Rohstoffbedarfen in Energiesystemmodelle. Basierend auf diesen Veröffentlichungen werden in der vorliegenden Studie aktuelle Herausforderungen ermittelt und Handlungsempfehlungen abgeleitet, um die zukünftige Ermittlung des Rohstoffbedarfs von Energiesystemen zu erleichtern und zu verbessern.

Methodik

Mithilfe einer systematischen Literaturrecherche wurden rund 200 relevante Veröffentlichungen identifiziert und hinsichtlich der verwendeten Methodik ausgewertet und kategorisiert. Nach Anwendung von zuvor definierten Ausschlusskriterien wurden 72 Publikationen detailliert analysiert und verglichen. Der überwiegende Teil der untersuchten Veröffentlichungen wurde in Fachzeitschriften publiziert, zusätzlich wurden ebenfalls Publikationen in grauer Literatur berücksichtigt. Diese haben einen Anteil von rund 10 % an der Gesamtmenge der analysierten Veröffentlichungen.

Alle Veröffentlichungen wurden basierend ihrer Methodik in eine von fünf Kategorien eingeordnet:

- **Explorative Literaturrecherchen**, welche basierend auf verschiedenen Publikationen qualitative Empfehlungen in Form von „Was wäre, wenn...?“ entwickeln.
- **Ex-post Szenarioanalysen**, welche bestehende Szenarien oder die Ergebnisse von Energiesystemmodellen nutzen, um mit Hilfe spezifischer Materialbedarfe den Gesamtmaterialbedarf des Energiesystems oder ausgewählter Technologien zu bestimmen.
- **Modellgestützte ex-post Analysen** erweitern den zuvor beschriebenen Ansatz um den Einsatz eines Materialfluss-Modells und ermöglichen dadurch teils detailliertere Analysen und den Ausgleich von Datendefiziten.
- Analysen mit **Soft-Linking** vernetzen mehrere Modelle durch die (iterative) Verwendung der Ergebnisse eines Modells als Inputdaten für das nachfolgende Modell.
- Analysen mit **Hard-Linking** nutzen eine Methodik, bei welcher mehrere Modelle mit verschiedenen Funktionen zeitgleich ausgeführt werden und dabei permanent auf die Informationen der anderen Modelle zugreifen können bzw. diese in ihre Ergebnisse einbeziehen.

¹ Institut für Energie- und Klimaforschung: Techno-ökonomische Systemanalyse (IEK-3), Forschungszentrum Jülich GmbH

² Lehrstuhl für Brennstoffzellen, RWTH Aachen University

* „Nachwuchsautor“, Forschungszentrum Jülich GmbH (IEK-3), Tel. +49 151-70402534, k.schulze@fz-juelich.de, <http://www.fz-juelich.de/iek/iek-3>

Erste Ergebnisse und Ausblick

Die Analyse der Veröffentlichungen zeigt, dass bisher hauptsächlich die nachgelagerte Auswertung (ex-post) von bestehenden Szenarien oder Ergebnissen von Energiesystemmodellen erfolgte, und die Anzahl der modellgestützten Analysemethoden seit einigen Jahren zunimmt. Ebenso existieren bereits erste methodische Ansätze aus den Bereichen Soft- und Hard-Linking.

Über alle untersuchten Veröffentlichungen hinweg zeigt sich eine starke Dominanz von kosteneffizienten Szenarien als Eingangsdaten, welche gerade bei ex-post Analysen zu einer verzerrten Abbildung der realen Materialbedarfe führen kann. Diese Dominanz wird durch die Verwendung der gleichen Szenarien aus einzelnen Studien in einer Vielzahl verschiedener Analysen noch verstärkt. Werden aufgrund von Datendefiziten unterschiedliche Szenarien für eine Analyse kombiniert, steigt hingegen das Risiko eines inkonsistenten Gesamtszenarios. Weiter zeigt die Auswertung der Veröffentlichungen, dass Unsicherheiten innerhalb der Eingangsdaten und ein unzureichender Umfang der untersuchten Technologien, Materialien und Sektoren sowie des untersuchten Zeitraums weiterhin große Herausforderungen für die Analyse der Rohstoffbedarfe darstellen.

Während einige dieser Herausforderungen mit bereits bekannten Maßnahmen gelöst werden können, bedarf es für die vollumfängliche Analyse des Rohstoffbedarfs von Energiesystemen in Zukunft neuer Lösungen. Eine dieser Lösungen stellt die Methode der Multikriteriellen Optimierung dar. Diese erlaubt die zeitgleiche Berücksichtigung von Kosten und Rohstoffbedarfen im Rahmen der Optimierung des Energiesystems.

Referenzen

- [1] IEA, Hrsg., „Energy Technology Perspectives 2023“, Energy Technology Perspectives, Jan. 2023.
- [2] P. Buchholz und T. Brandenburg, „Demand, Supply, and Price Trends for Mineral Raw Materials Relevant to the Renewable Energy Transition Wind Energy, Solar Photovoltaic Energy, and Energy Storage“, Chemie Ingenieur Technik, Bd. 90, Nr. 1–2, S. 141–153, 2018, doi: 10.1002/cite.201700098.
- [3] K. Tokimatsu u. a., „Energy modeling approach to the global energy-mineral nexus: Exploring metal requirements and the well-below 2 °C target with 100 percent renewable energy“, Applied Energy, Bd. 225, S. 1158–1175, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.05.047.
- [4] Elshkaki und L. Shen, „Energy-material nexus: The impacts of national and international energy scenarios on critical metals use in China up to 2050 and their global implications“, Energy, Bd. 180, S. 903–917, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.05.156.
- [5] N. Srivastava und A. Kumar, „Minerals and energy interface in energy transition pathways: A systematic and comprehensive review“, Journal of Cleaner Production, Bd. 376, S. 134354, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.134354.
- [6] International Energy Agency, „World Energy Outlook 2022“, International Energy Agency, 2022.