

NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG VON NATRIUM-IONEN BATTERIEN IN DER FRÜHEN ENTWICKLUNGSPHASE – USECASE KATHODENSCHREIBUNG

Manuel BAUMANN¹, Jens PETERS², Friedrich JASPER¹, Merve ERAKCA¹,
Hüseyin ERSOY¹, Sebastian PINTO-BAUTISTA¹, Bismark RAZA HARUNA¹,
Marcel WEIL^{1, 3}

Einleitung

Sogenannte Natrium-Ionen-Batterien (NIB) gelten als vielversprechende, nachhaltige Alternative zu Lithium-Ionen-Batterien (LIB). Diese gelten vor allem im stationären Energiespeichermarkt als vielversprechende Entwicklung und können einen potenziellen Gamechanger darstellen [1]. Wesentliche Vorteile die im Zusammenhang mit NIB oftmals genannt werden, sind beispielsweise der reduzierte Einsatz von kritischen und teuren Materialien mit potenziellen hohen Umweltauswirkungen[2]. Im Gegensatz zu etablierten LIBs sind NIBs eine aufstrebende Technologie in einem frühen Entwicklungsstadium, in dem die Herausforderung darin besteht, die vielversprechendsten und nachhaltigsten Kathoden-Aktivmaterialien für die weitere Forschung und potenzielle Kommerzialisierung zu identifizieren. Hinzu kommt, dass es kaum belastbare Daten zur Performance der unterschiedlichen NIB gibt. Daher wurde eine umfassende und flexible Screening-Methode entwickelt, die einen schnellen und umfassenden Überblick über potenzielle Nachhaltigkeits-Hotspots bietet, um die Auswahl von vielversprechenden NiB Kathodenmaterialien zu unterstützen. Des Weiteren wird gezeigt, wie sich die Performance ausgewählter Systeme auf der Zellebene verändern kann [3] und wie prinzipiell für eine Bewertung von neuen, post-Lithium Batterien in Abhängigkeit des Technology Readiness levels vorgegangen werden kann und welche Auswirkung hier Skalierungseffekte haben können [4].

Methodik

Es werden 42 verschiedene SIB-Kathoden gescreent und mit acht state of the art LIB-Kathoden verglichen. Für jede Kathodenart werden potenzielle Auswirkungen für die folgenden Kategorien analysiert: (i) Kosten auf Basis der Rohstoffkosten (historischer 10 Jahresdurchschnitt mit stochastischer Preismodellierung bis 2032); (ii) Kritikalität, basierend auf bestehenden Indikatoren für die Kritikalität von Rohstoffen der EU (2020 vs. 2023), und (iii) der Carbon Footprint (Herkunft der Rohstoffe und notwendige Syntheseschritte). Eine Übersicht über die gesamte Methodik, einschließlich aller betrachteten CAM-Typen ist in [5] gegeben. Die dort verwendete Datengrundlage wurde für das Jahr 2023 erneuert und alle Ergebnisse entsprechend aktualisiert. Als Bemessungsgrundlage dienen theoretische Berechnungen der Energiedichte der Kathoden mit unterschiedlichen Gegenelektroden (Ohne Anode, mit Hard Carbon (Na) und Graphit (Li) und metallischen Varianten Li und Na). Im Anschluss wird gezeigt, welche weiteren Schritte notwendig sind, um eine Gesamtbewertung einer NIB-Zelle durchzuführen.

Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass die Energiedichte in allen drei Kategorien einer der wichtigsten Faktoren ist, die die Gesamtnachfrage nach Material bestimmt. Die meisten SIB-CAM zeigen eine sehr vielversprechende Leistung und erzielen bessere Ergebnisse als der LIB-Vergleich. Insbesondere die Derivate des Berliner Blaus und die manganbasierten geschichteten Oxide scheinen unter dem gegebenen Screening-Framework interessante Kandidaten zu sein. Die Ergebnisse können sich jedoch stark für die Gesamtzelle ändern, was mit dem Zusammenwirken der Einzelkomponenten in einer Zelle

¹ Institute for Technology Assessment and System Analysis (ITAS), Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Germany. manuel.baumann@kit.edu

² University of Alcalá (UAH), Department of Economics, Alcalá de Henares, Madrid, Spain

³ Helmholtz Institute Ulm for Electrochemical Energy Storage (HIU), Ulm, Germany

zu tun hat (Kathode – Elektrolyt – Anode) und was im Rahmen des Screenings nur ansatzweise zur Geltung kommt und durch weitere eigene Modellierung bestätigt wird.

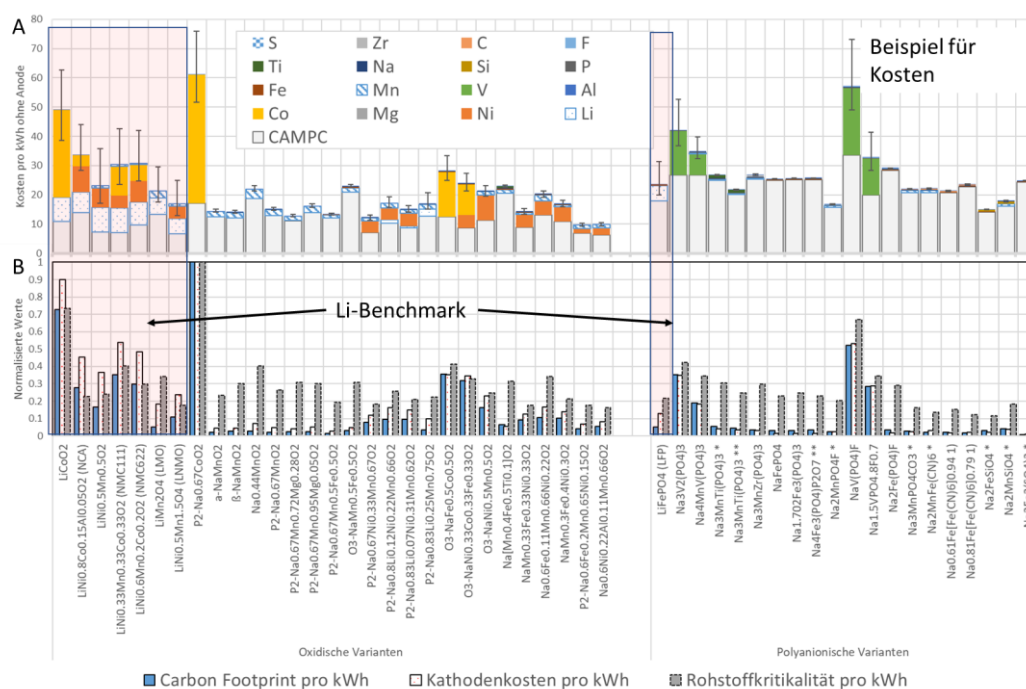


Abbildung 1: A) Beispiel für die Kosten von NiB Kathodenmaterialien mit Li-basierten Benchmarks, B) Normalisierte Werte für alle Natrium-Ionen Batterien für alle berücksichtigten Indikatoren (Materialkritisalität, Kosten und Carbon Footprint); A & B *2Na exchange, **3Na exchange, 1) Prussian Blue Analogues

Diskussion

Basierend auf der vorgeschlagenen Screening-Methode kann eine indikative Rangliste der betrachteten SIB-CAM im Vergleich zu Lithiumbasierten Referenztechnologien erstellt werden. Die Gruppe der Prussian Blue Analogues, zusammen mit $\text{NaFe}_2(\text{SO}_4)_3$, scheint unter den SIB-Alternativen sehr vielversprechend zu sein, mit geringer Kritisalität, niedrigem Carbon Footprint und Kosten. Dies entspricht den aktuellen Forschungstendenzen, die diese Art von Kathodentypen als äußerst vielversprechend betrachten. Hier müssen jedoch weitere Untersuchungen auf der Gesamtzelebene auf Primärdatenbasis durchgeführt werden. Hinzu kommt, dass die Hochskalierung der Zellen eine komplexe Herausforderung darstellt. Für zukünftige Arbeiten wäre es zudem gut, potenzielle soziale Auswirkungen von NIB in Form eines social Life-Cycle Assessments durchzuführen.

Referenzen

- [1] M. Baumann, N. Gudowsky-Blatakes, C. Kehl, and et al., "Foresight und Technikfolgenabschätzung: Monitoring von Zukunftsthemen für das Österreichische Parlament, November 2023," Institut für Technikfolgen-Abschätzung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW-ITA), Wien, Nov. 2023. [Online]. Available: <https://www.parlament.gv.at/fachinfos/r/w/Foresight-Technikfolgenabschaetzung-Monitoring-November-2023>
- [2] J. Peters, M. Baumann, M. Weil, and S. Passerini, "On the Environmental Competitiveness of Sodium-Ion Batteries – Current State of the Art in Life Cycle Assessment," in *Sodium-Ion Batteries*, 1st ed., M. Titirici, P. Adelhelm, and Y. Hu, Eds., Wiley, 2022, pp. 551–571. doi: 10.1002/9783527825769.ch17.
- [3] J. F. Peters, M. Baumann, J. R. Binder, and M. Weil, "On the environmental competitiveness of sodium-ion batteries under a full life cycle perspective – a cell-chemistry specific modelling approach," *Sustainable Energy Fuels*, p. 10.1039/D1SE01292D, 2021, doi: 10.1039/D1SE01292D.
- [4] M. Erakca et al., "Closing gaps in LCA of lithium-ion batteries: LCA of lab-scale cell production with new primary data," *Journal of Cleaner Production*, vol. 384, p. 135510, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.135510.
- [5] M. Baumann et al., "Prospective Sustainability Screening of Sodium-Ion Battery Cathode Materials," *Advanced Energy Materials*, p. 2202636, Oct. 2022, doi: 10.1002/aenm.202202636.