

UMWELTAUSWIRKUNGEN VON PRODUKTION UND RECYCLING AUFKOMMENDER NATRIUM-IONEN BATTERIEN

Jens PETERS¹, Manuel BAUMANN²

Hintergrund

Natrium-Ionen-Batterien (NIB) gehören zu den aktuell vielversprechendsten Alternativen zu gängigen Lithium-Ionen Batterien (LIB). Insbesondere ihre vermeintliche Umweltfreundlichkeit und die Vermeidung von knappen und oft kritischen Rohstoffen wird als ein wichtiges Argument für ihre weitere Förderung und Entwicklung angeführt. Jedoch ist die Wissensbasis in dieser Hinsicht schwach, und es ist relativ wenig über die tatsächlichen Umweltauswirkungen verschiedener NIB-Typen im Vergleich zu aktuellen LIB bekannt. Insbesondere Studien die den kompletten Batterie-Lebenszyklus ("cradle-to-grave") berücksichtigen und dabei auch das Lebensende bzw. Recycling modellieren sind rar.

Methodik

Um diese Lücke zu schließen entwickelt die vorliegende Arbeit ein spezifisches Instrument zur Dimensionierung und Bewertung von NIB-Zellen, einschließlich eines zellspezifischen Modells eines fortgeschrittenen hydrometallurgischen Recyclingprozesses [1]. Auf dessen Basis werden die Umweltauswirkungen verschiedener NIB-Typen verglichen und denen aktueller LIB-Zellen (LFP und NMC⁶²²) gegenübergestellt. Die untersuchten Zell-Chemien umfassen dabei Schichtoxide (Na-Nickel Mangan Cobalt Oxyd (NMC), Na-Nickel Mangan Magnesium Titan Oxyd (NMMT) sowie Na- Mangan Magnesium Oxyd (MMO)), ein polyanionisches Kathodenmaterial (Na-Vanadium Mangan Phosphat (MVP)) sowie ein preußisch-Blau Derivat (Natrium-Eisenzyanid (Na-PBA)). Die individuelle Zelldimensionierung basiert dabei auf einer Weiterentwicklung des BatPac Tools [2], welches um elektrochemische Parameter für NIB sowie ein zellspezifisches Modell für Recycling ergänzt wurde. Dieses frei verfügbare, Excel-basierte Tool erlaubt die direkte Generierung von Inventardaten für Lebenszyklusanalysen oder Ökobilanzen (LCA) [1].

Die Bewertung der Umweltauswirkungen erfolgt gemäß der ILCD Methode (Kategorien Klimawandel (GWP) und Ressourcenverarmung (ADP)) für ein kWh an Elektrizität, welche die Batterien über die Gesamtlebensdauer der Anwendung (20 Jahre) zur Verfügung stellen. Die durch das Recycling zurückgewonnenen Materialien ersetzen dabei Materialien aus Primärrohstoffen im Sinne einer Gutschrift unter der Annahme, dass sie die gleiche Qualität aufweisen wie die Primärrohstoffe (closed-loop Recycling).

Ergebnis

Herstellung

Hinsichtlich der Zellproduktion („cradle-to-gate“) schneiden die LIB sowie die NaNMMT und NaMMO NIB am besten ab (Abbildung 1). Dies ist vor allem deren höherer Energiedichte geschuldet, sowie des relativ hohen Beitrages der Zellproduktion zu den Gesamtauswirkungen in der Kategorie Treibhausgase / GWP. Unter Aspekten der Ressourcenverarmung dagegen wirkt sich vor allem der Gehalt an Kobalt und Nickel in den Kathoden, sowie das Kupfer der Anodenleiter und Zellterminals (letzteres unter Zellgehäuse bilanziert) negativ aus, weshalb die Nickel und Kobalt freien NIB hier mit Anstand die besten Ergebnisse erzielen.

¹ University of Alcalá (UAH), Department of Economics, Alcalá de Henares, Madrid, Spain.
jens.peters@uah.es; <https://www.uah.es/es/estudios/profesor/Jens-Peters/>

² Institute for Technology Assessment and System Analysis (ITAS), Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Germany. manuel.baumann@kit.edu

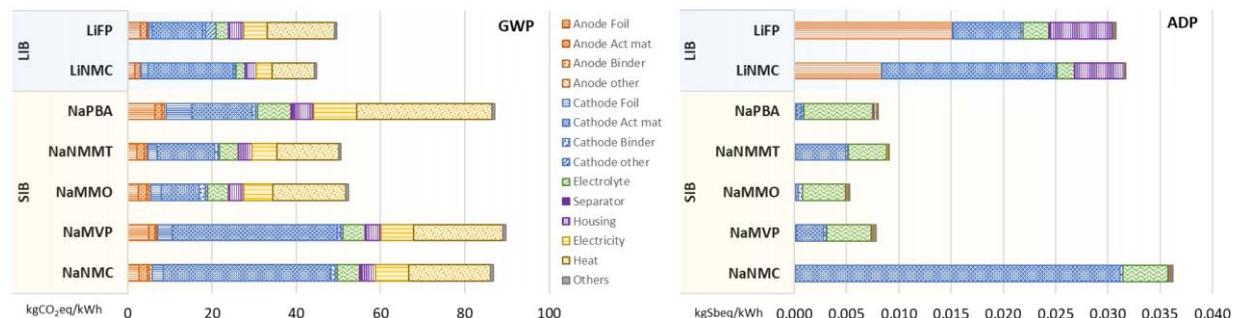


Abbildung 1: Umweltauswirkungen der Produktion der verschiedenen Zelltypen nach Komponenten [1]

Recycling

Unter Berücksichtigung des durch das Zellrecycling erhaltenen Benefits sehen die Ergebnisse deutlich anders aus. Abbildung 2 zeigt die Nettoauswirkungen nach Gutschreiben des Benefits durch die rückgewonnenen Materialien aus dem Recycling, aufgeschlüsselt nach mechanischem Recycling (schreddern der Zellen und Abtrennen der Aluminium- und Kupferfraktion sowie des Elektrolyten), sowie hydrometallurgischem Recycling (chemische Trennung der übrigen Schwarzmasse und Rückgewinnung von Cobalt, Nickel und Mangansulfat, Lithiumcarbonat sowie Graphit).

Unter GWP Aspekten ist der Recycling-Benefit limitiert, da ein großer Teil der Produktionsauswirkungen dem Energieverbrauch in der Zellherstellung geschuldet ist, welcher durch Recycling nicht reduziert wird. Auffällig ist, dass für die nicht Kobalt und Nickel enthaltene Zellchemien (NaMMO, NaPBA, NaMVP und auch LFP) die zweite Recyclingstufe, das hydrometallurgische Rückgewinnen der Ausgangsmaterialien, keinen Benefit, sondern zusätzliche Umweltauswirkungen erzeugt. In Summe schneiden die NMC⁶²² LIB, wenn mit moderner Technologie recycelt, aufgrund ihrer hohen Energiedichte am günstigsten ab, aber auch die NaNMMT und NaMMO Zellen scheinen vielversprechend. Unter Aspekten der Ressourcenverarmung (ADP) zeigt sich ein sehr positives Bild für die NIB. Im Vergleich zur LiNMC Zelle liegen die meisten NIB nicht weit abgeschlagen oder weisen sogar bessere Ergebnisse auf (NaMMO).

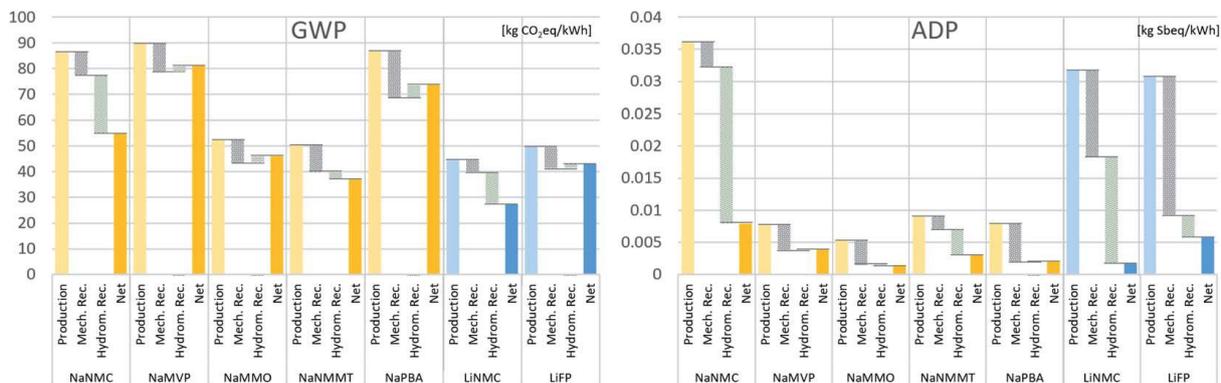


Abbildung 2: Umweltauswirkungen für Produktion verschiedenen Zelltypen, Recyclinggutschriften sowie Nettoauswirkungen [1]

Referenzen

- [1] J. F. Peters, M. J. Baumann, J. Binder, and M. Weil, 'On the environmental competitiveness of Sodium-Ion batteries under a full life cycle perspective – A cell-chemistry specific modelling approach', *Sustain. Energy Fuels*, vol. accepted, 2021, doi: DOI: 10.1039/d1se01292d.
- [2] P. A. Nelson, K. G. Gallagher, I. Bloom, and D. W. Dees, 'Modeling the Performance and Cost of Lithium-Ion Batteries for Electric-Drive Vehicles', Argonne National Laboratories, Chemical Sciences and Engineering Division, Argonne, US, ANL-12/55, 2012.
- [3] M. J. Baumann, J. F. Peters, M. Weil, and A. Grunwald, 'CO2 footprint and life cycle costs of electrochemical energy storage for stationary grid applications', *Energy Technol.*, vol. 5, pp. 1071–1083, 2017, doi: 10.1002/ente.201600622.