

# PARAMETERSTUDIE ZU LITHIUM- UND NATRIUM-IONEN BATTERIEN: UMWELTAUSWIRKUNGEN DER NUTZUNGSPHASE

Manuel BAUMANN<sup>1</sup>, Jens PETERS<sup>2</sup>, Joachim R. BINDER<sup>3</sup>, Marcel WEIL<sup>1,4</sup>

## Hintergrund

Natrium-Ionen-Batterien (SIB) werden als vielversprechende Alternativen zu Lithium-Ionen-Batterien (LIB) angesehen, was zu einem zunehmenden Interesse an der Kommerzialisierung [1], sowie an ökologischen Nachhaltigkeitsaspekten dieser Technologie führt [2]. Es gibt jedoch kaum ökobilanzielle Betrachtungen von SIB die den gesamten Batterie-Lebenszyklus ("cradle-to-grave") berücksichtigen. Dieser Aspekt wird durch die geringe Verfügbarkeit von Daten von SIB aufgrund des relativ niedrigen Entwicklungsstandes dieser Technologie erschwert. Dies betrifft im Besonderen die Lebensdauer (kalendarisch und zyklisch), die Energiedichte als auch den Wirkungsgrad. Ziel dieser Betrachtung ist es, eine Parameterstudie von SIB mit LIB als Referenz durchzuführen. Dies ermöglicht es Aussagen darüber zu treffen, welche technischen Performance Zielwerte erreicht werden müssen, um ökologisch Wettbewerbsfähig gegenüber kommerziellen Li-basierten Zellen zu sein. Als Referenz für die Betrachtung gilt eine NMC622/Graphit-Zelle.

## Methodik

Für die Betrachtung der neuartigen SIB-Zellen wird eine LCA in Kombination mit einer Parameterstudie durchgeführt. Die Produktion und das Recycling basieren auf einem bottom-up Ansatz mittels einer modifizierten BatPac Variante [3], welche eine direkte Generierung von Inventardaten für Lebenszyklusanalysen oder Ökobilanzen (LCA) ermöglicht [2]. Im Rahmen der Analyse werden kommerziell verfügbare LIB-Zellen (LFP und NMC<sup>622</sup>) mit neuartigen SIB-Zellen verglichen (Na-Nickel Mangan Cobalt Oxid (NaNMC), Na-Nickel Mangan Magnesium Titan Oxid (NaNMMT) sowie Na-Mangan Magnesium Oxid (NaMMO)), ein polyanionisches Kathodenmaterial (Na-Vanadium Mangan Phosphat (NaMVP)) sowie ein preußisch-Blau Derivat (Natrium-Eisenzyanid (NaPBA)). Die Umweltauswirkungen sind immer vom konkreten Anwendungsfall und entsprechenden Leistungsanforderungen abhängig und kommt besonders im Vergleich von Zellen mit sehr unterschiedlicher Materialzusammensetzung zum tragen [4]. Es wurde deshalb ein Anwendungsfall für alle Technologien herangezogen, um die Nutzungsphase vereinfacht darstellen zu können. Hierzu wurde ein hypothetischer Usecase mit 2 MWh, 1 MW System mit 2 Zyklen pro Tag für einen Netz- sowie Photovoltaikfall über 20 Jahre betrachtet (Anlagenperipherie vernachlässigt) [4].

Im Rahmen der Ökobilanz wird die ILCD Methode für die Quantifizierung der Auswirkungen herangezogen. Es werden beispielhaft die Kategorien Klimawandel (Global Warming Potential - GWP) und Ressourcenverbrauch (Abiotic Resource Depletion - ADP) herangezogen. Als Funktionelle Einheit dient ein kWh an Elektrizität, welche die Zellen wieder zur Verfügung stellen können. Im Rahmen der Betrachtung werden die Ergebnisse für eine Fall mit und ohne Recycling präsentiert, um die resultierenden Unterschiede aufzuzeigen. Die zurückgewonnenen Materialien aus dem Recycling dienen dabei als Substitut von benötigten Primärrohstoffen (closed-loop Recycling, als optimistische Annahme). Für alle Technologien wurde eine Bandbreite der Parametern angenommen, um resultierende Unsicherheiten deutlich zu machen (Wirkungsgrad und Lebensdauer).

## Ergebnisse

Die Ergebnisse des gesamten Lebenszyklus sind in Abb. 1 gegeben und in 3. Kategorien eingeteilt; den Umweltauswirkungen für Produktion, den Ersatz von Zellen über die Projektlebensdauern und dem Stromverbrauch aufgrund von Wirkungsgradverlusten. Für das Hauptszenario wurde das Recycling

---

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

<sup>2</sup> University of Alcalá (UAH), Department of Economics, Alcalá de Henares, Madrid, Spain.

<sup>3</sup> Institute for Applied Materials (IAM-ESS), Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Germany

<sup>4</sup> Helmholtz Institute Ulm for Electrochemical Energy Storage (HIU), Ulm, Germany

berücksichtigt, die Ergebnisse für den Fall ohne closed loop Recycling sind durch die gelben Punkte dargestellt. Generell weisen die SIB für den Strommix als auch für das PV-Szenario sehr unterschiedliche Umweltauswirkungen aus. So kann beim GWP festgestellt werden, dass SIB ähnlich gut zur gewählten Referenz NMC 622 sind. LFP weist die niedrigsten Auswirkungen aus. Beim ADP kommt es sehr stark auf die spezifische Elektrodenchemie an, wobei NaNMC die potenziell höchsten Auswirkungen ausweist.

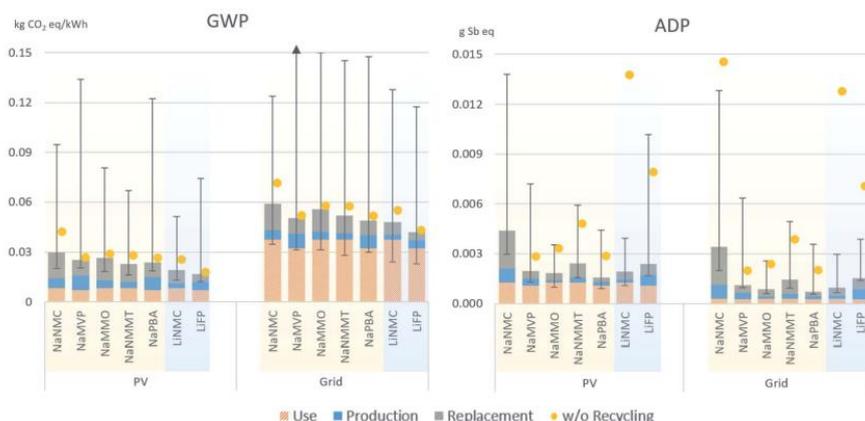


Abbildung 1: Umweltauswirkungen der betrachteten Zellen mit und ohne Recycling (w/o recycling)[2]

In Abbildung 2 ist beispielhaft aufgetragen, welche Auswirkungen eine erhöhte Lebensdauer auf die potenziellen Umweltauswirkungen haben kann (inkl. Recycling). Die dargestellte Farbe gibt die Umweltauswirkungen im Vergleich zu NMC 622 an (rot-gelb: höhere Auswirkungen als die Benchmark, grün: geringere Auswirkungen). Die markierten Felder stellen die gewählten Referenzwerte für die Modellierung dar. Wie zuvor können die SIB nur mit wesentlich höheren Energiedichten mit der Lithium basierten Referenz konkurrieren.

| En. Dens. | GWP gCO <sub>2</sub> eq/kWh |        |        |        |        |          |        | ADP gSb eq./kWh |        |        |        |        |          |        |
|-----------|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|-----------------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|
|           | NaNMC                       | NaMVP  | NaMMO  | NaNMMT | NaPBA  | LiNMC622 | LFP    | NaNMC           | NaMVP  | NaMMO  | NaNMMT | NaPBA  | LiNMC622 | LFP    |
| 100       | 37,708                      | 34,805 | 36,176 | 33,540 | 27,623 | 37,704   | 26,114 | 0,0055          | 0,0024 | 0,0022 | 0,0033 | 0,0017 | 0,0031   | 0,0036 |
| 110       | 35,036                      | 32,294 | 34,182 | 31,246 | 25,765 | 35,028   | 24,393 | 0,0051          | 0,0023 | 0,0021 | 0,0031 | 0,0016 | 0,0029   | 0,0034 |
| 120       | 32,808                      | 30,202 | 32,025 | 29,334 | 24,217 | 32,801   | 22,959 | 0,0048          | 0,0022 | 0,0020 | 0,0029 | 0,0016 | 0,0028   | 0,0032 |
| 130       | 30,923                      | 28,432 | 30,200 | 27,716 | 22,907 | 30,916   | 21,746 | 0,0045          | 0,0021 | 0,0020 | 0,0028 | 0,0015 | 0,0027   | 0,0031 |
| 140       | 29,307                      | 26,914 | 28,636 | 26,329 | 21,784 | 29,301   | 20,706 | 0,0043          | 0,0020 | 0,0019 | 0,0027 | 0,0015 | 0,0026   | 0,0029 |
| 150       | 27,907                      | 25,599 | 27,281 | 25,127 | 20,811 | 27,901   | 19,805 | 0,0041          | 0,0020 | 0,0019 | 0,0026 | 0,0015 | 0,0025   | 0,0028 |
| 160       | 26,681                      | 24,448 | 26,094 | 24,076 | 19,959 | 26,676   | 19,016 | 0,0039          | 0,0019 | 0,0018 | 0,0025 | 0,0015 | 0,0024   | 0,0027 |
| 170       | 25,600                      | 23,433 | 25,048 | 23,148 | 19,208 | 25,595   | 18,320 | 0,0038          | 0,0019 | 0,0018 | 0,0024 | 0,0014 | 0,0023   | 0,0026 |
| 180       | 24,639                      | 22,530 | 24,117 | 22,323 | 18,540 | 24,635   | 17,701 | 0,0036          | 0,0018 | 0,0018 | 0,0024 | 0,0014 | 0,0023   | 0,0025 |
| 190       | 23,779                      | 21,722 | 23,285 | 21,585 | 17,942 | 23,775   | 17,148 | 0,0035          | 0,0018 | 0,0017 | 0,0023 | 0,0014 | 0,0022   | 0,0024 |
| 200       | 23,006                      | 20,996 | 22,536 | 20,921 | 17,405 | 23,001   | 16,650 | 0,0034          | 0,0018 | 0,0017 | 0,0023 | 0,0014 | 0,0022   | 0,0024 |
| 210       | 22,305                      | 20,338 | 21,858 | 20,320 | 16,918 | 22,301   | 16,199 | 0,0033          | 0,0017 | 0,0017 | 0,0022 | 0,0014 | 0,0021   | 0,0023 |
| 220       | 21,669                      | 19,740 | 21,242 | 19,774 | 16,476 | 21,665   | 15,790 | 0,0032          | 0,0017 | 0,0017 | 0,0022 | 0,0014 | 0,0021   | 0,0023 |
| 230       | 21,088                      | 19,194 | 20,679 | 19,275 | 16,072 | 21,084   | 15,415 | 0,0031          | 0,0017 | 0,0016 | 0,0021 | 0,0013 | 0,0021   | 0,0022 |
| 240       | 20,555                      | 18,694 | 20,163 | 18,818 | 15,701 | 20,551   | 15,073 | 0,0030          | 0,0016 | 0,0016 | 0,0021 | 0,0013 | 0,0020   | 0,0022 |
| 250       | 20,065                      | 18,234 | 19,689 | 18,397 | 15,361 | 20,061   | 14,757 | 0,0030          | 0,0016 | 0,0016 | 0,0021 | 0,0013 | 0,0020   | 0,0021 |
| 260       | 19,612                      | 17,809 | 19,251 | 18,009 | 15,046 | 19,609   | 14,466 | 0,0029          | 0,0016 | 0,0016 | 0,0020 | 0,0013 | 0,0020   | 0,0021 |
| 270       | 19,193                      | 17,415 | 18,846 | 17,649 | 14,755 | 19,190   | 14,196 | 0,0028          | 0,0016 | 0,0016 | 0,0020 | 0,0013 | 0,0019   | 0,0020 |
| 280       | 18,804                      | 17,050 | 18,469 | 17,315 | 14,485 | 18,801   | 13,946 | 0,0028          | 0,0016 | 0,0016 | 0,0020 | 0,0013 | 0,0019   | 0,0020 |

Abbildung 2: Parameterstudie für unterschiedliche Lebensdauern mit der Referenz NMC622 [2]

## Referenzen

- [1] P. Schäfer, 'CATL Introduces First Generation Sodium-ion Battery', *Springer Professional*, Online, Sep. 02, 2021. [Online]. Available: <https://www.springerprofessional.de/battery/electric-vehicles/catl-introduces-first-generation-sodium-ion-battery/19604728>
- [2] 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.
- [3] 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 / BatPaC model', Argonne National Laboratory, Chicago, 2011.
- [4] M. Baumann, J. Peters, and M. Weil, 'Exploratory Multicriteria Decision Analysis of Utility-Scale Battery Storage Technologies for Multiple Grid Services Based on Life-Cycle Approaches', *Energy Technol.*, p. 1901019, Dec. 2019, doi: 10.1002/ente.201901019.