

ÖKOLOGISCH-ÖKONOMISCHE PERFORMANCE STATIONÄRER LI-ION-BATTERIESPEICHER

Manuel BAUMANN¹, Jens PETERS², Marcel WEIL^{1,2}

Einleitung

Die zunehmende Systemintegration erneuerbarer Energien geht einher mit einer erhöhten Nachfrage geeigneter Flexibilitätsoptionen, um zu jedem Zeitpunkt ein Gleichgewicht zwischen Erzeugung und Last im Netz zu gewährleisten. Lithium-Ionen-Batterien können aufgrund Ihrer technischen Eigenschaften (z. B. je nach Elektrodenchemie hoher Wirkungsgrad, hohe Lebensdauer) einen wertvollen Beitrag zur Erfüllung dieser Nachfrage im Rahmen der Energiewende leisten. Allerdings ist die Produktion dieser Systeme noch relativ teuer sowie energie- und emissionsintensiv, weshalb weitere Reduktionspotenziale in diesen Bereichen für die Zukunft erschlossen werden müssen. Hinzu kommt, dass es eine Vielzahl unterschiedlicher Li-Ion Elektrodenkombinationen gibt, welche alle ihre Vor- und Nachteile haben und je nach Typ nur in gewissen Netzanwendungen sinnvoll einsetzbar sind. Keine Batterie kann allen Anforderungen z. B. hinsichtlich Umweltverträglichkeit und Kosten gerecht werden. Entsprechend ist die Wahl einer geeigneten Li-Ionen-Batterietechnologie immer ein Trade-off. Für die Wahl einer geeigneten Batterie ist es von hoher Wichtigkeit die Anforderungen einer entsprechenden Netzanwendung zu kennen. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wird der Einfluss unterschiedlicher Anforderungen (z. B. durch Zyklenhäufigkeit, Entladetiefe und Lebensdauer) auf die ökologische und ökonomische Performance relevanter marktgängiger Li-Ionen-Batterien untersucht.

Methodik

Für die Bewertung berücksichtigter Technologien wird auf die Methodik der Ökobilanz (LCA) [1], [2] und der Lebenszykluskosten (LCC) [3] zurückgegriffen. Im Rahmen der LCA werden die Treibhausgas-, Ressourcenverbrauchs-, Humantoxizitäts- und Versauerungspotenziale abgeschätzt. Die Modellierung der Li-Ion-Batterien basiert auf unterschiedlichen Inventardaten, welche durch [4] zur Verfügung gestellt werden. Berücksichtigte Elektrodentypen sind Lithium-Eisenphosphat (LFP), Lithium-Titanat (LTO), Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt-Oxid (NMC), Lithium-Nickel-Kobalt-Aluminium-Oxid (NCA) und Lithium-Mangan-Oxid (LMO). Eine genaue Übersicht zur verwendeten Methodik, angenommenen Lernkurven, dynamischer Batterielebensdauerberechnung und verwendeten Datensätzen ist in [5] gegeben. Die Batteriespeicher werden dazu eingesetzt den Anteil durch PV und Windkraft erzeugter Elektrizität am lokalen Verbrauch zu erhöhen (1000 Einwohner – H0 Lastprofil). Hierfür werden 3 vereinfachte Szenarien (Base-case, doppelte Speicherkapazität und reduzierte Auslastung) auf Basis eines dynamischen Optimierungsmodelles betrachtet [6]. Zusätzlich wird eine umfangreiche Sensitivitätsanalyse der Betriebs- und Batterieparameter durchgeführt, um den Einfluss einzelner Stellvariablen auf die Gesamtergebnisse zu ermitteln.

Ergebnisse und Diskussion

Im Rahmen der Untersuchung zeigt sich, dass die hier präsentierten Ergebnisse für GWP und LCC sehr stark in Abhängigkeit der Szenarioannahmen und berücksichtigten Li-Ion Elektrodenkonstellation variieren können (siehe Abb. 1A und 2A). Dies ist vor allem auf unterschiedliche Lebensdauern der Speicher zurückzuführen, was (beim Erreichen des Lebensendes) einen Ersatz der Zellen zur Folge hat (siehe Abb. 1 und 2A unten). Zu erwähnen sind ebenfalls die relativ hohen Unsicherheiten, die sich durch die große Bandbreite an Inputparametern ergeben (Zellkosten, Lebensdauern etc.). In Abbildung 1 und 2B ist eine Übersicht über den Einfluss unterschiedlicher Parameter auf GWP und LCC dargestellt, welche zwischen -20 % bis +20 % variiert wurden. Beim GWP zeigt sich, dass die Energiedichte einen relativ großen Einfluss auf die Ergebnisse hat, da eine geringere Energiedichte zu einem größeren „Massenbedarf“ an Zellen und damit verbunden Herstellungsaufwänden führt.

¹ Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Tel.: +49 721 608-23215, Postfach 3640, 76021 Karlsruhe, manuel.baumann@kit.edu, www.itas.kit.edu

² Karlsruher Institut für Technologie, Helmholtz-Institut Ulm, Albert-Einstein-Allee 11, 89081 Ulm, {j.peters|marcel.weil}@kit.edu, www.hiu-batteries.de

Bei den LCC sind als Relevant der angenommene Zinssatz, Wirkungsgrad, Stromkosten und gefahrene Zyklen pro Tag zu nennen. Das Variieren der Zellkosten hat für den Fall von LFP nur zu geringen Änderungen der Gesamtergebnisse geführt, was auf einen starken Preisverfall der Zellen zurückzuführen ist.

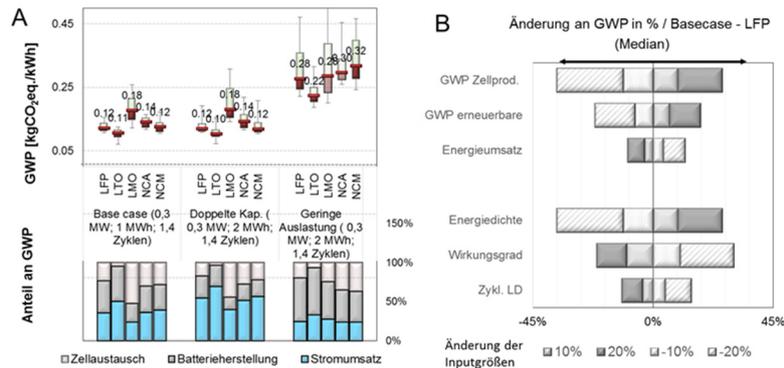


Abbildung 1: Monte-Carlo Ergebnisse (n=1000) für den GWP unter Variierung der Grundannahmen (links) und Sensitivitätsanalyse einzelner Parameter für LFP und den Base-case (rechts). Bei der Sensitivitätsanalyse werden die Inputparameter um jeweils +/- 20 % geändert und der Einfluss auf die Umweltauswirkungen untersucht. (GWP-Global Warming Potential; LD=Lebensdauer)

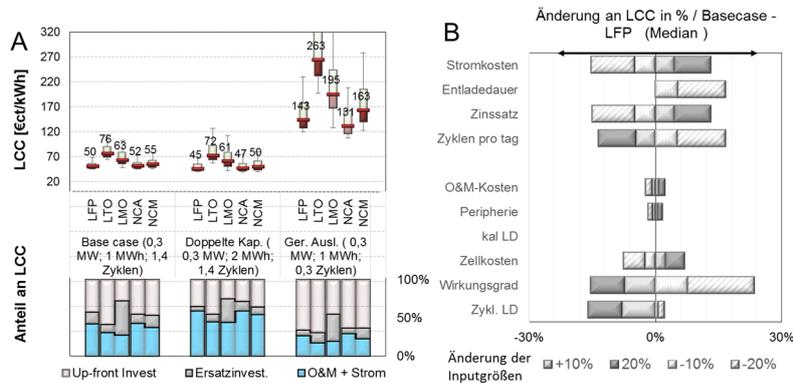


Abbildung 2: Monte-Carlo Ergebnisse (n=1000) für die LCC unter Variierung der Grundannahmen (links) und Sensitivitätsanalyse einzelner Parameter für LFP und den Base-case (rechts). Bei der Sensitivitätsanalyse werden die Inputparameter um jeweils +/- 20 % geändert und der Einfluss auf die Kosten untersucht. (LCC-Life-Cycle-Costs; LD=Lebensdauer; O&M=Operation & Maintenance)

Literatur

- [1] ISO, "ISO 14040 – Environmental management – Life Cycle Assessment – Principles and framework," International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2006.
- [2] ISO, "ISO 14044 – Environmental management – Life Cycle Assessment – Requirements and guidelines," International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2006.
- [3] VDI, "VDI 2884: Beschaffung, Betrieb und Instandhaltung von Produktionsmitteln unter Anwendung von Life Cycle Costing (LCC) Purchase, operating and maintenance of production equipment using Life Cycle Costing (LCC)," VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, Berlin, 2006.
- [4] J. F. Peters, M. Baumann, B. Zimmermann, J. Braun, and M. Weil, "The environmental impact of Li-ion batteries and the role of key parameters – A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 67, pp. 491–506, Jan. 2017.
- [5] 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.*, Dec. 2016.
- [6] M. Baumann, C. Marcelino, J. Peters, M. Weil, P. Almeida, and E. Wanner, "Environmental impacts of different battery technologies in renewable hybrid micro grid systems," presented at the IEEE International Conference on Innovative Smart Grid Technologies, Torino Italy, 2017.