

Second-Life-Batterien

Vom Elektroauto zum Energiespeicher

Umweltvorteile und Marktbarrieren zirkulärer Geschäftsmodelle

Keywords:

Lithium-Ionen-Batterien, Second-Life-Batteriespeicher, Lebenszyklusanalyse, zirkuläre Geschäftsmodelle, Kreislaufwirtschaft

Aus E-Fahrzeugen ausgesonderte Lithium-Ionen-Batterien können für mobile oder stationäre Second-Life-Anwendungen wie E-Bike-Akkus oder Solarstrom-Batteriespeicher wiederaufbereitet werden. Dieses zweite Leben führt im Vergleich zu Neubatterien zu massiven Emissions- und Ressourceneinsparungen. Daher sind Second-Life-Batterien ein wichtiger Bestandteil einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft. In der Praxis stößt die großflächige Anwendung jedoch auf viele technische und vor allem ökonomische Hürden.

Ausgesonderte E-Autobatterien im Kreislauf behalten

Lithium-Ionen-Batterien (LIB) in E-Autos unterliegen hohen Leistungsanforderungen, die zur Alterung bzw. Degradation der LIB führen. Um das Vertrauen in die neue Antriebstechnologie zu erhöhen, versprechen viele Autohersteller eine Garantie von zumeist 160.000 Fahrkilometer und eine Mindestkapazität von ca. 70 %. Erreicht eine Antriebsbatterie während der Garantiedauer weniger als 70 % ihrer ursprünglichen Kapazität, wird somit ein frühzeitiger LIB-Austausch gewährleistet.¹ Im Sinne der „9-Strategien der Kreislaufwirtschaft“ (vgl. auch Factsheet EC-FS 06-01) können diese ausgesonderten First-Life-Antriebsbatterien (FLB) als sogenannte Second-Life-Batterien (SLB) in weniger anspruchsvollen Anwendungen wiedereingesetzt werden, bevor sie das endgültige Ende der Lebensdauer erreichen und somit entsorgt werden müssen.²

SLB für stationäre oder mobile Anwendungen verlängern die LIB-Nutzungsdauer und reduzieren somit den Energie- und Ressourcenverbrauch im gesamten Batterielebenszyklus, der in Abbildung 1 dargestellt ist.^{2,3} So können ausgesonderte Altbatterien vor der endgültigen stofflichen Verwertung („R8 – Recycling“) verschiedenen R-Strategien zur Lebensdauererweiterung zugeführt werden. Altbatterien lassen sich beispielsweise direkt in Gebrauchtfahrzeugen wiederverwenden („R3 – Reuse“), reparieren („R4 – Repair“), rundumerneuern („R5 – Refurbish“), oder für Neuwagen wiederaufbereiten („R6 – Remanufacturing“). Der Wiedereinsatz von SLB für stationäre Energiespeicher ist ebenso möglich („R7 – Repurposing“). Diese Maßnahmen sind Teil zirkulärer Geschäftsmodelle, die darauf abzielen, Produkte und Materialien möglichst lange zu verwenden bzw. im Nutzungskreislauf zu halten. In der Praxis wird die sofortige Entsorgung der Antriebsbatterien gegenüber dem Repurposing derzeit bevorzugt, da die Wiederaufbereitung für SLB-Anwendungen noch zu kostspielig ist.⁴ Trotz aktueller Herausforderungen ist Repurposing bereits Teil von Unternehmensstrategien geworden.

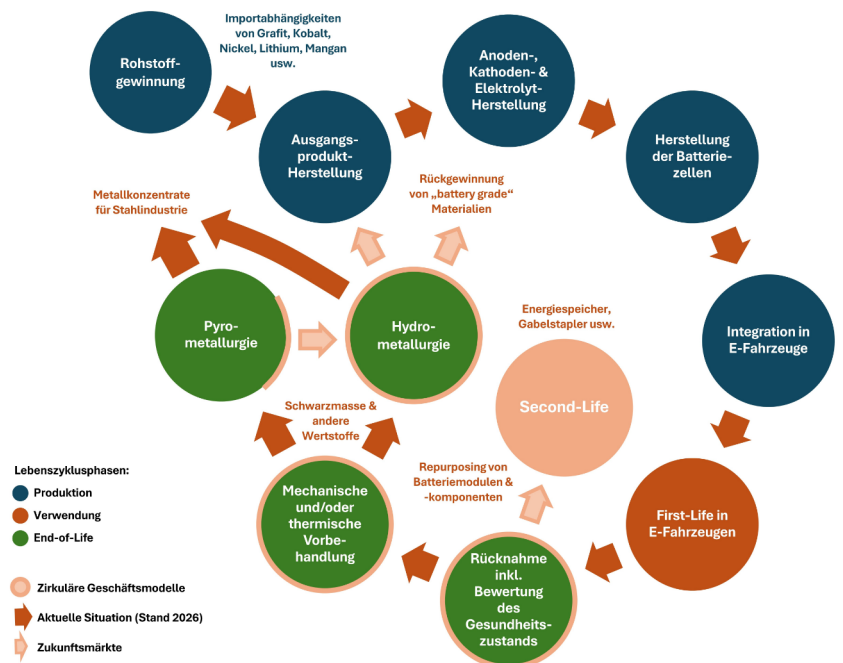


Abb. 1. Wertschöpfungskreislauf von LIB, die am Ende ihrer ersten Lebensdauer in E-Fahrzeugen für zirkuläre Geschäftsmodelle für Second-Life-Anwendungen wiederaufbereitet werden können. Am Ende ihrer endgültigen Nutzungsdauer werden die End-of-Life-LIB aus Sicherheitsgründen zuerst deaktiviert und danach mechanisch und/oder thermisch aufbereitet. Kritische Rohstoffe, wie Kobalt oder Lithium können mittels Kombination pyro- mit hydrometallurgischer Verfahren rückgewonnen werden. Aktuell werden dadurch gewonnene Metallkonzentrate in der Stahlindustrie eingesetzt (dunkel-rote Pfeile). Abhängig von Rohstoffpreisen werden Zukunftsmärkte bzw. zirkuläre Geschäftsmodelle erschlossen (hell-rote Pfeile). Grafik auf Basis der Battery 2030+ Roadmap⁵ und Gerold et al. (2025)² erstellt.

Umweltvorteile von Second-Life-Batterien

Mittels Ökobilanzen (Life Cycle Assessment, LCA) können die Umweltauswirkungen von Produkten quantifiziert und in Treibhauspotentialen bzw. CO₂-Äquivalenten sowie in 15 weiteren Umweltkategorien ausgedrückt werden.⁶ Ökobilanzen werden auch prospektiv angewandt, um Zukunftsszenarien auf ihre ökologische Nachhaltigkeit zu bewerten. LCA-Studien zeigen, dass der Einsatz von SLB in Großspeichern in Kombination mit Photovoltaikanlagen die Treibhausgasemissionen gegenüber Neubatterien um bis zu 31 % reduzieren kann.⁷ Außerdem wurde festgestellt, dass „Repurposing“ im Vergleich zu anderen R-Strategien, wie „Remanufacturing“ und „Recycling“, die vorteilhafteste Option darstellt.⁸

Ein weiteres Beispiel für „Repurposing“ sind SLB-Kleinspeicher für Haushalte. Diese könnten mit einer Kapazität von ca. 14 kWh je nach Repurposing-Szenario um bis zu 33 % an CO₂-Äquivalenten im Vergleich zu Neubatterien einsparen. Darüber hinaus würde dieses zweite Leben den Ressourcenverbrauch um bis zu 58 % reduzieren, der in LCA-Studien in Kupfer-Äquivalente ausgedrückt wird (Abb. 2).^{9, 10} Die Einsparungen resultieren vor allem aus der Wiederverwendung der Batteriezellen, da die Herstellung neuer LIB besonders ressourcen-, energie- und emissionsintensiv ist und dementsprechend hohe Umweltauswirkungen verursacht.

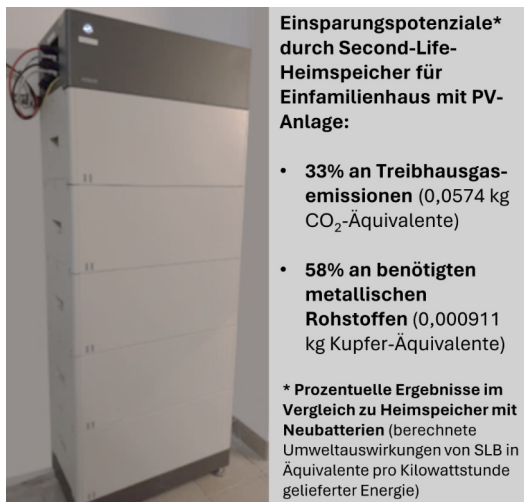


Abb. 2. Mittels Ökobilanz quantifizierte Umweltauswirkungen des SLB-Energiespeichers i. V. zu einem Energiespeicher mit neuen LIB. Je nach Wiederverwendungs- und Entsorgungsszenario könnten bis zu 33 % Treibhausgaspotenzial und 58 % der benötigten metallischen Rohstoffe eingespart werden. Grafik erstellt auf Basis der LCA-Ergebnisse von Spindlegger et al. (2025).

Hürden in der praktischen Umsetzung

Trotz ihres ökologischen Potenzials finden SLB-Speicher bisher nur begrenzt Anwendung. Grund dafür sind zahlreiche Markteintrittsbarrieren, die sich größtenteils in den Kosten niederschlagen.⁴ Besonders relevant ist die Kostenkonkurrenz zu neuen FLB-Speichern, deren Preise durch Automatisierung und Massenproduktion stetig sinken. Demgegenüber fallen bei Second-Life-Systemen hohe Aufwendungen für die manuelle Demontage, Sicherheitsprüfung, Wiederaufbereitung und Integration gebrauchter Elemente an. Bei den Repurposing-Kosten muss auch der materielle Zusatzaufwand für neue Komponenten, wie z.B. Batteriemanagementsysteme oder Gehäuse, sowie Kosten für zu erneuernde Garantien und Versicherungen berücksichtigt werden.

Abb. 3. Überblick: für SLB-Anwendungen identifizierte KPIs (ökologische, technische und sicherheitsrelevante sowie ökonomische Leistungsindikatoren). Grafik wurde auf Basis der Ergebnisse von Prenner et al. (2024) erstellt.¹¹

Auch unzureichende Standardisierung hinsichtlich Produktzertifizierung, regulatorische Unsicherheiten und aufwendige Gefahrguttransporte wirken kostentreibend. Zudem erschweren die vorherrschenden Eigentums- und Zugriffsrechte der Fahrzeughersteller den Zugang zu sowie zu den dazugehörigen Nutzungsdaten. Diese Daten zur „Batteriehistorie“ liegen in der Regel bei den Autoherstellern und werden kaum extern zugänglich gemacht. Für die Bewertung bzw. Vorhersage der Restlebensdauer sind solche Daten jedoch essenziell. Ihr Fehlen führt meist zu zusätzlichem Prüfaufwand und erhöht somit die Kosten. Hinzu kommen technische Barrieren, da sich Module oft nur sehr aufwendig manuell und kaum automatisiert zerlegen und so zu SLB-geeigneten Modulen umbauen lassen. Schließlich fehlen etablierte zirkuläre Geschäftsmodelle, die Second-Life-Anwendungen wirtschaftlich integrieren. Bereits etablierte, lineare Geschäftsprozesse und mangelnde Anreize für SLB-Anwendungen hemmen derzeit die Entwicklung kreislauforientierter Lösungen.⁴

Angesichts der zunehmenden Anzahl an E-Fahrzeugen und der zentralen Bedeutung von Batteriespeichern für die Energiewende, bieten SLB-Speicher dennoch eine vielversprechende Möglichkeit, Batteriewertschöpfungsketten nachhaltiger und zirkulärer zu gestalten. Um SLB-Speicher in der Praxis zu etablieren, sind zirkuläre Geschäftsmodelle zentral. Sie integrieren verschiedene R-Strategien der Kreislaufwirtschaft in Geschäftspraktiken (vgl. Factsheet EC-FS 06-01) und schaffen einen Mehrwert, indem Abfälle minimiert, Ressourcenkreisläufe geschlossen, Lebensdauern verlängert und neue Einnahmequellen erschlossen werden. Ein wirtschaftlicher Mehrwert ist jedoch häufig erst unter geeigneten Rahmenbedingungen realisierbar (z. B.: finanzielle Anreize, erleichterter Zugang zu FLB, Nutzungsrechte für „Batteriehistorie“ usw.).⁴

Um zukünftig den wirtschaftlichen Erfolg zirkulärer Geschäftsmodelle für SLB-Anwendungen messen, Investitionsentscheidungen unterstützen sowie Transparenz und Vertrauen stärken zu können, sind Leistungskennzahlen (engl. key performance indicators, KPIs) sehr hilfreich.¹¹ Solche KPIs für SLBs können grundsätzlich in ökonomische, technische, sicherheitsrelevante sowie ökologische Indikatoren unterteilt werden. Aus technischer Sicht wäre eine standardisierte, modulare Batterie-Bauweise eine wichtige Voraussetzung, um eine Zweitnutzung zu erleichtern („Design for Circularity“). Es bräuchte auch wirtschaftliche Anreize, da FLB im Vergleich zu den wiederaufbereiteten SLB weiterhin zu günstig sind. Um zirkuläre Geschäftsmodelle zusätzlich zu fördern, könnte beispielsweise eine verpflichtende Repurposing-Quote für Antriebsbatterien aus E-Fahrzeugen in der EU vorgeschrieben werden. Wie bereits in Abbildung 2 zusammenfassend dargestellt, ist Repurposing aus rein ökologischer Sicht eine vielversprechende R-Strategie, um den Umweltfußabdruck einer LIB im gesamten Lebenszyklus wesentlich zu verbessern.



Second-Life-Batterien

Vom Elektroauto zum Energiespeicher

Umweltvorteile und Marktbarrieren zirkulärer Geschäftsmodelle

Referenzen

(1) ADAC. *Elektroauto-Batterie: Lebensdauer, Garantie, Reparatur*. Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V. (ADAC), Munich, Germany. URL: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/laden/elektroauto-batterie/> (Letzter Zugriff am 06.08.2025). 2025.

(2) Gerold, E.; Prenner, S.; Rutrecht, B.; Jandric, A.; Nigl, T.; Part, F. Energy, Environment, and Resources | Circular Economy. In *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*, Garche, J. Ed.; 2025; pp 57–67.

(3) Michelini, E.; Höschele, P.; Ratz, F.; Stadlbauer, M.; Rom, W.; Ellersdorfer, C.; Moser, J. Potential and Most Promising Second-Life Applications for Automotive Lithium-Ion Batteries Considering Technical, Economic and Legal Aspects. *Energies* **2023**, *16* (6). DOI: 10.3390/en16062830.

(4) Prenner, S.; Part, F.; Jung-Waclik, S.; Bordes, A.; Leonhardt, R.; Jandric, A.; Schmidt, A.; Huber-Humer, M. Barriers and framework conditions for the market entry of second-life lithium-ion batteries from electric vehicles. *Heliyon* **2024**, *10* (18). DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e37423.

(5) BATTERY 2030+ Roadmap. Inventing the sustainable batteries of the future. Research needs and future actions. URL: https://battery2030.eu/wp-content/uploads/2021/08/c_860904-l_1-k_roadmap-27-march.pdf (last access on the 23.3.2022). 2021.

(6) European Commission. *Life Cycle Assessment: the scientific foundation of the Environmental Footprint methods*. URL: https://green-forum.ec.europa.eu/green-business/environmental-footprint-methods/life-cycle-assessment-ef-methods_en (last access on the 15.08.2025). 2025.

(7) Kamath, D.; Shukla, S.; Arsenault, R.; Kim, H. C.; Anctil, A. Evaluating the cost and carbon footprint of second-life electric vehicle batteries in residential and utility-level applications. *Waste Management* **2020**, *113* (ISSN: 0956-053X), 497–507. DOI: 10.1016/j.wasman.2020.05.034.

(8) Schulz-Mönninghoff, M.; Bey, N.; Nørregaard, P. U.; Niero, M. Integration of energy flow modelling in life cycle assessment of electric vehicle battery repurposing: Evaluation of multi-use cases and comparison of circular business models. *Resources, Conservation and Recycling* **2021**, *174*, 105773. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105773>.

(9) Spindlegger, A.; Slotyuk, L.; Jandric, A.; De Souza, R. G.; Prenner, S.; Part, F. Environmental performance of second-life lithium-ion batteries repurposed from electric vehicles for household storage systems. *Sustainable Production and Consumption* **2025**, *54*, 227–240. DOI: 10.1016/j.spc.2025.01.003.

(10) Spindlegger, A.; Jandric, A.; Part, F. Umweltauswirkungen des Repurposing von Lithium-Ionen-Batterien aus E-Fahrzeugen für den Wiedereinsatz in Batterie-Energiespeichersystemen. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft* **2025**. DOI: 10.1007/s00506-025-01188-y.

(11) Prenner, S.; Part, F.; Jandric, A.; Bordes, A.; Leonhardt, R.; Jung-Waclik, S.; Huber-Humer, M.; Djebali, R. Enabling Circular Business Models: Preconditions and Key Performance Indicators for the Market Launch of Repurposed Second-Life Lithium-Ion Batteries From Electric Vehicles. *International Journal of Energy Research* **2024**, *2024* (1). DOI: 10.1155/er/8331870.