

Lithium-Ionen-Batterien

Märkte und kritische Rohstoffe mit Hinblick auf Kreislaufwirtschaft

Keywords:

Lithium-Ionen-Batterien, Batteriemärkte, kritische Rohstoffe, Lieferengpässe, Kreislaufwirtschaft

Im Sinne der Energie- und Mobilitätswende spielen Lithium-Ionen-Batterien eine Schlüsselrolle. Sie enthalten jedoch auch zahlreiche kritische Rohstoffe, die für die EU wirtschaftlich sehr wichtig sind und aufgrund von Lieferengpässen ein Versorgungsrisiko darstellen. Die praktische Umsetzung der 9R-Strategie der Kreislaufwirtschaft würde solche Risiken minimieren.

Technologische Weiterentwicklung

In den letzten 15 Jahren haben sich Lithium-Ionen-Batterien (LIB) rasant weiterentwickelt, da sie im Vergleich zu Blei-, Nickel-Cadmium- oder Nickelmetallhydrid-Akkus eine höhere Energiedichte und somit höhere spezifische Speicherkapazität aufweisen. Beispielsweise liegt die Energiedichte älterer Batterietechnologien zwischen 60 und 250 Wattstunden pro Liter Volumen (Wh/L) und wird von LIB mit Energiedichten zwischen 350 und 600 Wh/L deutlich übertroffen.¹ Ihre Einsatzgebiete reichen daher von der Raum- und Luftfahrt bis zu Haushaltsanwendungen wie Elektrowerkzeuge, Staubsauger, Handys oder Laptops. In der Mobilitätswende spielen leistungsstarke LIB für E-Autos, E-Busse, E-LKWs, E-Mopeds oder E-Scooter die Schlüsselrolle. Darüber hinaus werden LIB immer häufiger als Energiespeicher eingesetzt, um beispielsweise den aus erneuerbarer Energie produzierten Strom zwischenspeichern oder auch Netzschwankungen auszugleichen.²

Je nach Einsatzgebiet und Leistungsanforderungen werden unterschiedliche LIB-Batteriezellchemien eingesetzt. Die Zellchemie wird vorwiegend durch die Optimierung der Aktivmaterialien (Kathode und Anode) vorangetrieben. Zu den derzeit kommerziell am häufigsten verwendeten Materialien in LIB zählen Nickelreiche Kathoden aus Mangan-Kobalt-Oxid (NMC) und Nickel-Kobalt-Aluminium-Oxid (NCA) und Lithium-Kobalt-Oxid (LCO). Außerdem wird Lithium-Eisenphosphat (LFP) Zellchemie als eine weniger „materialkritische“ Alternative gesehen, die weder Kobalt noch Nickel enthält.¹ Aufgrund sinkender Produktionspreise werden LFP-Akkus immer häufiger eingesetzt. 2024 war der weltweite Marktanteil von LFP-Batterien in E-Neufahrzeugen bereits bei ca. 50 % (siehe Abb. 1).³ Die Massenproduktion und Marktdurchdringung von Batterien, die Lithium-Ionen-basierte Zellchemien ersetzen können, wie beispielsweise Natrium-Ionen-Batterien (SIB), wird jedoch noch Jahre bis Jahrzehnte dauern.

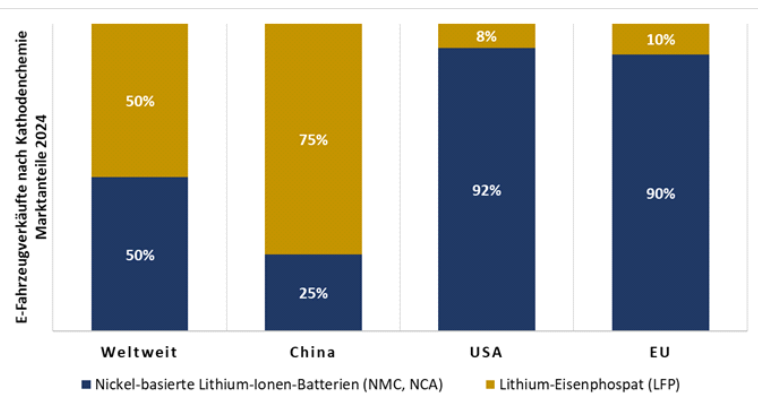


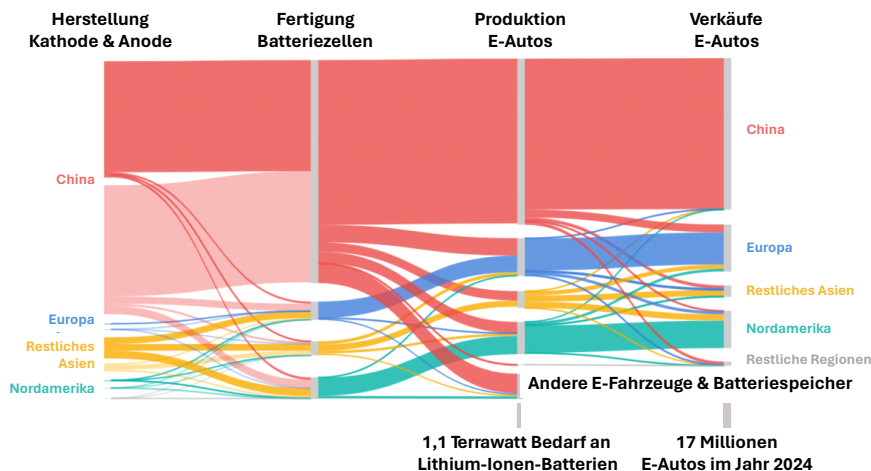
Abb. 1. Übersicht zu Marktanteilen an E-Fahrzeugen nach Batterietechnologie bzw. Kathodenchemie, die weltweit, in China, USA und EU im Jahr 2024 verkauft worden sind. Kathoden aus Lithium-Eisen-phosphat (LFP) dominierten den chinesischen Markt. Nickelbasierte Batterietechnologien werden hingegen in den USA sowie in der EU derzeit am häufigsten für E-Neufahrzeuge eingesetzt. (IEA, 2025 CC BY 4.0).³

Steigender Bedarf und EU-Importabhängigkeiten

Im Jahr 2024 stieg der weltweite Bedarf an LIB für E-Fahrzeuge und Batteriespeicher auf insgesamt eine Terrawattstunde (1 TWh) und soll bis 2030 auf bis zu 3 TWh ansteigen.³ Der Großteil (91 %) der LIB wurden für 17 Mio. verkaufte E-Autos (batterieelektrische Fahrzeuge und Plug-in-Hybridfahrzeuge) produziert, 9 % für andere E-Fahrzeuge sowie Batteriespeicher. Abb. 2 zeigt, dass im Jahr 2024 80 % der Batteriezellen in China gefertigt wurden. Die chinesische Marktdominanz ist bei der Herstellung der Kathodenmaterialien (für NMC- und LFP-Batterien) und Anodenmaterialien (vorwiegend aus Graphit) noch höher und lag 2024 bei ca. 85 % bzw. 90 %. Nichtsdestotrotz werden Batteriezellen auch in den USA, Korea, Japan sowie in der EU gefertigt und mit 2024 haben auch die ersten Batteriefabriken in Indien und Indonesien die Produktion aufgenommen.³ Neben den vielfältigen Einsatzgebieten und dem hohen Marktpotenzial bergen LIB aufgrund der kritischen Rohstoffe in den Batteriekomponenten jedoch auch Risiken.

¹ Die LFP-Batterietechnologie leitet sich vom Kathodenmaterial aus Lithium-Ferrophosphat ab. Für die NMC-, NCA-, LCO-Akkus werden Materialien aus Nickel-Mangan-Cobalt, Nickel-Cobalt-Aluminium-Oxid bzw. Lithium-Cobalt-Oxid verwendet.

Abb. 2. Globale Materialflüsse von der Herstellung der Anoden- und Kathodenmaterialien über die Fertigung der Batteriezellen bis zur Produktion und zum Verkauf von E-Autos, anderen E-Fahrzeugen sowie stationäre Batteriespeicher im Überblick. Der hellrote Materialfluss links stellt Kathodenherstellung dar. Grafik basiert auf der Datenanalyse der Internationalen Energieagentur (IEA, 2025, CC BY 4.0).³



Kritische Rohstoffe

Grundsätzlich ist eine Batteriezelle aus Kathode, Anode, Elektrolyt, Separator und Stromkollektorfolien aufgebaut. Die einzelnen Zellen werden in Batteriemodule gepackt, wobei mehrere Module wiederum, je nach der Anwendungszweck, zu „Packs“ für E-Fahrzeuge oder in „Racks“ für Energiespeicher zusammengeschlossen werden. Neben Nickel und Kobalt beinhalten einzelne Batteriekomponenten noch weitere essenzielle Materialien, die aus Sicht der EU als sogenannte strategische und kritische Rohstoffe (engl. Critical Raw Materials, CRM) bezeichnet werden. Dazu zählen Lithium, Graphit, Silizium, Phosphor, sowie Metalle wie Aluminium, Kobalt, Kupfer, Nickel oder Niob, die aufgrund der ökonomischen Wichtigkeit und des hohen Versorgungsrisikos strategisch sehr wertvoll für die EU und andere Staaten sind.⁴

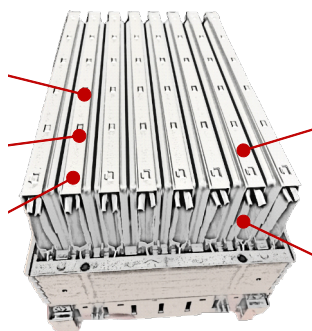
In Abb. 3 wird ein Batteriemodul für E-Fahrzeuge schematisch dargestellt, das kritische Rohstoffe für die unterschiedlichen Kathoden- bzw. Batterietechnologien enthält. Die Batterieanode besteht zumeist aus Graphit, jedoch wird auch an silizium-, titan- und niobhaltigen Legierungen geforscht, um die Speicherkapazität und Lebensdauer einer LIB zukünftig zu verbessern. Für den Elektrolyt wird zurzeit vorwiegend verflüssigtes Lithiumhexafluorophosphat verwendet, wobei bereits erste serienreife, feste Elektrolyte auf den Markt drängen, die für Feststoffbatterien (Solid-State-Batterien) eingesetzt werden. Neueste Batterietechnologien zielen auch darauf ab, den Nickel- und Kobaltanteil zu verringern, oder sogar Lithium ganz durch Natrium zu ersetzen (Natrium-Ionen-Batterien).

Lithium-Ionen-Batteriemodul

Kupfer & Aluminium
in Stromabnehmerfolien

Graphit & Titan
in Anodenmaterial

Silizium, Titan & Niob
in innovativen Anoden



Lithium, Aluminium, Phosphor, Mangan, Kobalt & Nickel
für unterschiedliche Kathoden- bzw. Batterietechnologien

Lithium
im Elektrolyten

● Kritische Rohstoffe in der EU

Abb.3. Übersicht zu sehr wichtigen Rohstoffen, die für Lithium-Ionen-Batterien eingesetzt werden und die nach dem Critical Raw Material Act (Regulation (EU) 2024/1252) als „strategisch“ sowie „kritisch“ für die EU eingestuft worden sind. Eigene Darstellung.

Wichtigkeit der Kreislaufwirtschaft

Um Lieferengpässen und Importabhängigkeiten der EU entgegenzuwirken, wurden in der neuen Batterieverordnung (EU) 2023/1542 Recyclingziele für Lithium, Kobalt, Nickel usw. festgeschrieben. So müssen z.B. bis Ende 2031 80 % des Lithiums sowie 95 % des Kupfers, Kobalts und Nickels rückgewonnen werden. Darüber hinaus ist es unabdingbar, die sogenannten R-Strategien der Kreislaufwirtschaft in die Tat umzusetzen. Abb. 4 fasst die R-Grundsätze zusammen, die bereits beim Batteriedesign und Nutzungsverhalten ansetzen („Design for Circularity“). Am Ende der Batterielebensdauer können kritische Rohstoffe und andere wertvolle Batteriematerialien durch die Kombination von mechanischen mit pyro- und hydro-metallurgischen Recyclingverfahren werden rückgewonnen werden.⁵

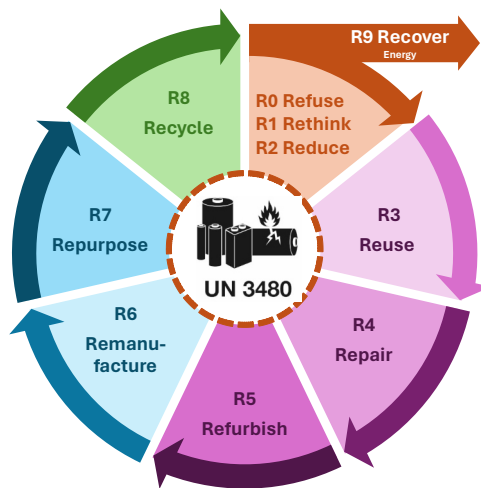


Abb.4. Die R-Strategien der Kreislaufwirtschaft: R0 – Refuse (vermeiden), R1 – Rethink (umdenken), R2 – Reduce (reduzieren), R3 – Reuse (wiederverwenden), R4 – Repair (reparieren), R5 – Refurbish (aufbereiten), R6 – Remanufacture (wiederaufbereiten), R7 – Repurpose (wiedereinsetzen), R8 – Recycle (stofflich rückgewinnen), R9 – Recover (energetisch verwerten). Das „Design for Circularity“ innovativer Batterien basiert auf den R-Grundsätzen. Eigene Darstellung.



Lithium-Ionen-Batterien

Märkte und kritische Rohstoffe mit Hinblick auf Kreislaufwirtschaft

Referenzen

(1) Khan, F. M. N. U.; Rasul, M. G.; Sayem, A. S. M.; Mandal, N. Maximizing energy density of lithium-ion batteries for electric vehicles: A critical review. *Energy Reports* 2023, 9, 11–21. DOI: 10.1016/j.egy.2023.08.069.

(2) Bielewski, M.; Pfrang, A.; Bobba, S.; Kronberga, A.; Georgakaki, A.; Letout, S.; Kuokkanen, A.; Mountraki, A.; Ince, E.; Shtjefni, D.; et al. Clean Energy Technology Observatory: Batteries for energy storage in the European Union - 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets; Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/808352> DOI: 10.2760/808352.

(3) IEA. *Global EV Outlook 2025*. Expanding sales in diverse markets. International Energy Agency (IEA), Paris. URL: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025> (letzter Zugriff am 29.01.2026); 2025.

(4) European Commission: Directorate-General for Internal Market, I. E.; Smes; Grohol, M.; Veeh, C. Study on the critical raw materials for the EU 2023 – Final report; Publications Office of the European Union, 2023. DOI: doi/10.2873/725585. Carrara, S.; Bobba, S.; Blagoeva, D.; Alves Dias, P.; Cavalli, A.; Georgitzikis, K.; Grohol, M.; Itul, A.; Kuzov, T.; Latunussa, C.; et al. Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU – A foresight study; Publications Office of the European Union, 2023. DOI: doi/10.2760/386650.

(5) Windisch-Kern, S.; Gerold, E.; Nigl, T.; Jandric, A.; Altendorfer, M.; Rutrecht, B.; Scherhauser, S.; Raupenstrauch, H.; Pomberger, R.; Antrekowitsch, H.; et al. Recycling chains for lithium-ion batteries: A critical examination of current challenges, opportunities and process dependencies. *Waste management (New York, N.Y.)* 2022, 138, 125–139. DOI: 10.1016/j.wasman.2021.11.038 From NLM Medline.

