

Recycling von Li-Ionen-Batterien

Marktentwicklung und aktuelle Recycling-Methoden

Die Nachhaltigkeit von Li-Ionen-Batterien hängt von ihrem gesamten Lebenszyklus ab, einschließlich dem End-of-Life-Management, also Second Life und Recycling. Auch die Sorge um die Rohstoffversorgung, z. B. mit Kobalt, treibt den Ausbau der Recycling-Kapazitäten voran. Der Beitrag zeigt, wie sich der Batterie-recycling-Markt entwickelt und gibt einen Überblick über aktuelle Recycling-Methoden. *Autor: Dr.-Ing. Nicole Ahmer*

KEYWORDS

Lithium-Ionen-Batterie / Rohstoffe / Recycling-Methoden / Recycling-Unternehmen / Marktprognosen / Batterytypen



Lithium-Ionen-Batterien altern kalendarisch sowie mit jedem Lade- und Entladezyklus. Ursachen dafür sind z. B., dass die SEI-Schicht (solid electrolyte interphase) immer mehr Lithiumionen aufnimmt, die dann nicht mehr für die Zyklen zur Verfügung stehen und dass ständiges Schrumpfen und Anschwellen der Zellen zu mechanischen Beschädigungen führt. Ab einem bestimmten State of Health (SOH) ist die Batterie nicht mehr für den Einsatz in einem E-Auto geeignet. Egal ob sie noch einmal „aufgefrischt“ wird, für einen gewissen Zeitraum ein zweites Leben in stationären Energiespeichern verbringt oder nicht, sie muss recycelt werden (Bild 1).

MARKTPROGNOSEN

Das heißt, dass letztlich jede Hochvolt-Batterie die heute oder in Zukunft in einem Elektrofahrzeug auf die Straße kommt, im Recycling landet. Entsprechend hoch sind die Prognosen für das zukünftige Recycling-Marktvolumen: 11,07 Milliarden US-Dollar schwer soll der Markt in 2027 sein (Bild 2). Noch weiter nach vorn reichende Prognosen schätzen, dass bis 2042 ein Äquivalent von etwa 3000 GWh recycelt wird. Beinahe zwei Drittel davon kommen aus dem Pkw-Bereich, gefolgt vom Herstellungs-Schrott während der Batterieproduktion und dem Lkw-Sektor (Bild 3).

Die beim Batterie-Recycling zurückgewonnenen Rohstoffe sind hauptsächlich Aluminium, Kupfer, Mangan, Lithium, Nickel und Kobalt. Entsprechend unterschiedlich fällt der sogenannte Bergungswert bei verschiedenen Batterie-Typen aus (Bild 4). Am niedrigsten ist der Wert bei Lithium-Eisenphosphat-Batterien (LFP) mit etwa 15 US-Dollar je kWh. Mit steigendem Kobalt-Gehalt steigt auch der Bergungswert der Batterie, der für NCM111 bei über 40 US-Dollar je kWh liegt.

WENIGER KOBALT, MEHR NICKEL

Aktuelle Prognosen zeigen, dass Batterietypen wie LFP, NCA und NCM111 bis 2040 komplett vom Markt verschwinden werden. Auch der Anteil der NMC622-, NMC433- und NMC532-Typen geht bis 2050 stark zurück. Nickelreiche Batterietypen wie NCM811 und NMC955 sollen schon ab etwa 2040 den Markt beherrschen (Bild 5).

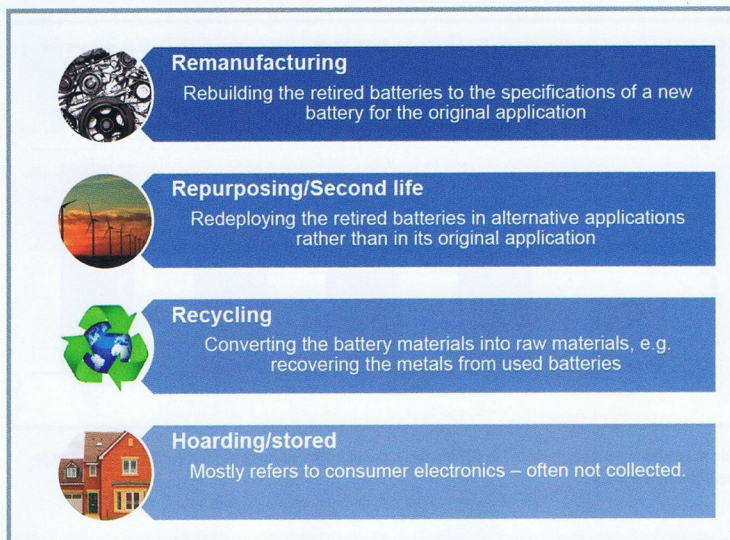


Bild 1: Ausgediente Lithium-Ionen-Batterien können unterschiedliche Wege gehen, von der Wiederaufbereitung über Second Life bis hin zum Recycling.

Size of the global market for lithium-ion battery recycling in 2019 with forecasts for 2020 to 2027 (in billion U.S. dollars)

Projected size of the global market for lithium-ion battery recycling 2019-2027

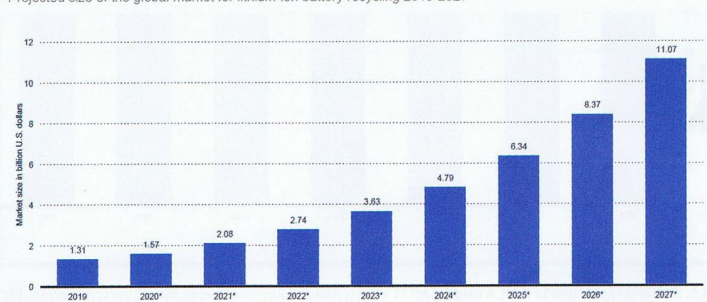


Bild 2: Da durch die Elektromobilität auch immer mehr recycling-fähige Altbatterien zur Verfügung stehen werden, wächst der Recycling-Markt in den nächsten Jahren kräftig.

Global Li-ion battery recycling market 2020-2042: by sector (GWh)

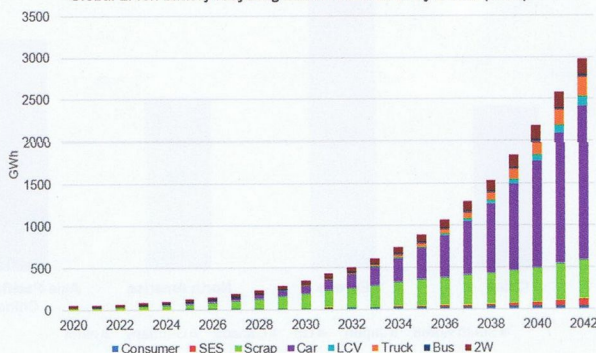


Bild 3: Langfristige Entwicklung des Batterie-Recycling-Marktes. Bis 2042 soll ein Äquivalent von 3000 GWh recycelt werden, wobei etwa zwei Drittel aus dem Pkw-Bereich kommen.

sen. Die Materialien werden geschreddert und zermahlen, was meist in einer inerten Atmosphäre erfolgt. Mittels Pyrolyse brennt schließlich der Elektrolyt ab und die Bindemittel zersetzen sich. Eine Auflösung in Lösemittel entfernt die Elektroden und behält die Folien zurück. Da die Elektrodenmaterialien aus Pulvern im Nano-meter- und Mikrometer-Bereich bestehen, lassen sie sich auch durch Sieben von größeren Fragmenten trennen.

Das pyrometallurgische Recycling nutzt hohe Temperaturen zur Rückgewinnung der Rohstoffe. Typischerweise geschieht dies mit einem Lichtbogen oder in einem Schachtofen. Dabei entstehen Metalllegierungen und ein Schlackestrom, wobei die Schlacke Lithium, Mangan und Aluminium enthält.

HYDROMETALLURGIE

Beide Verfahren erfordern eine hydrometallurgische Weiterverarbeitung um die einzelnen Metalle zurückzugewinnen. Dieser Prozess beginnt mit dem Auslaugen, das aktive Materialien unter Verwendung anorganischer Säuren auflöst. Bei der folgenden Lösungsmittel-Extraktion wird eine organische Säure verwendet, um Metalle über eine Kationen-Austauschreaktion selektiv zu extrahieren. Diese Methode ist besonders wichtig für Nickel und Kobalt.

Eine anschließende Niederschlags-Reaktion erzeugt schließlich einen Feststoff in Lösung. Der letzte Schritt der Rückgewinnung der Metalle ist die Elektrolyse. Dabei scheiden sich die Metalle auf einer Kathode ab, indem durch Stromfluss eine Redoxreaktion erzwungen wird.

Das direkte Recycling ist ein recht junger Recycling-Ansatz, an dem intensiv geforscht und entwickelt wird. Der Prozess gilt als besonders nachhaltig, da die Kathode ein Upcycling erfährt und direkt zurück in die Batterieherstellung geht.

FAZIT

Das Recycling von Lithium-Ionen-Batterien wird wirtschaftlich profitabel für viele Unternehmen. Die Fabrik-Kapazitäten nehmen zu und perspektivisch stehen riesige Mengen an Altbatterien zur Verfügung. Nun ist es die Aufgabe von Forschung und Entwicklung, die Recycling-Verfahren nachhaltiger zu gestalten. //

Automotive OEMs	Asia	North America
BMW	4R Energy Corp	American Manganese
Renault	Anhua Taisen Recycling	Battery Resources
Volkswagen	BRUNP	Heritage Battery Recycling
Tesla	Dowa Eco-System	Li-Cycle
Europe	EcoPro	Lithion Recycling
Accurec	Gangfeng Lithium	OnTo Technology
Akkuser	GEM	Redivivus
BASF	GS E&C	Redwood Materials
Batrec	Guangdong Guanghua Sci-Tech	Retriev
Deussenfeld	Hefei Guoxuan High Tech	Envirostream
Fortum	Kobar	Pure Battery Technologies
Glencore	Kyoei Seiko	Rest of World
Inobat	Lohum	Envirostream
Nickelhütte Aue GmbH	POSCO	Pure Battery Technologies
Northvolt	Sumitomo Metal Mining	
Stena Recycling	SungEel HiTech	
Umicore	TES-AMM	

Bild 7: Batterierecycling-Unternehmen weltweit. Hier sind auch OEMs wie BMW, Renault, Volkswagen und Tesla aktiv.



Bild 8: Geplante Batterierecycling-Fabriken weltweit. Europa ist hier sehr aktiv mit insgesamt sechs Fabriken, zwei in Schweden und jeweils eine in Finnland, den Niederlanden, Serbien und Polen.

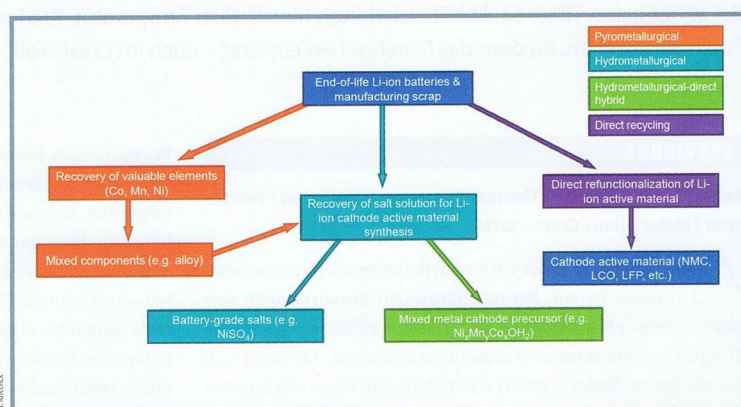


Bild 9: Mögliche Recycling-Abläufe, um die Rohmaterialien aus Lithium-Ionen-Batterien zurückzugewinnen. Das direkte Recycling ist ein noch sehr junger Ansatz, der aber als besonders nachhaltig gilt.

Autoren

Dr.-Ing. Nicole Ahner
Redakteurin emobility tec



Lithium-Ionen-Batterien altern kalendarisch sowie mit jedem Lade- und Entladezyklus. Ursachen dafür sind z. B., dass die SEI-Schicht (solid electrolyte interphase) immer mehr Lithiumionen aufnimmt, die dann nicht mehr für die Zyklen zur Verfügung stehen und dass ständiges Schrumpfen und Anschwellen der Zellen zu mechanischen Beschädigungen führt. Ab einem bestimmten State of Health (SOH) ist die Batterie nicht mehr für den Einsatz in einem E-Auto geeignet. Egal ob sie noch einmal „aufgefrischt“ wird, für einen gewissen Zeitraum ein zweites Leben in stationären Energiespeichern verbringt oder nicht, sie muss recycelt werden (Bild 1).

MARKTPROGNOSEN

Das heißt, dass letztlich jede Hochvolt-Batterie die heute oder in Zukunft in einem Elektrofahrzeug auf die Straße kommt, im Recycling landet. Entsprechend hoch sind die Prognosen für das zukünftige Recycling-Marktvolumen: 11,07 Milliarden US-Dollar schwer soll der Markt in 2027 sein (Bild 2). Noch weiter nach vorn reichende Prognosen schätzen, dass bis 2042 ein Äquivalent von etwa 3000 GWh recycelt wird. Beinahe zwei Drittel davon kommen aus dem Pkw-Bereich, gefolgt vom Herstellungs-Schrott während der Batterieproduktion und dem Lkw-Sektor (Bild 3).

Die beim Batterie-Recycling zurückgewonnenen Rohstoffe sind hauptsächlich Aluminium, Kupfer, Mangan, Lithium, Nickel und Kobalt. Entsprechend unterschiedlich fällt der sogenannte Bergungswert bei verschiedenen Batterie-Typen aus (Bild 4). Am niedrigsten ist der Wert bei Lithium-Eisenphosphat-Batterien (LFP) mit etwa 15 US-Dollar je kWh. Mit steigendem Kobalt-Gehalt steigt auch der Bergungswert der Batterie, der für NCM111 bei über 40 US-Dollar je kWh liegt.

WENIGER KOBALT, MEHR NICKEL

Aktuelle Prognosen zeigen, dass Batterietypen wie LFP, NCA und NCM111 bis 2040 komplett vom Markt verschwinden werden. Auch der Anteil der NMC622-, NMC433- und NMC532-Typen geht bis 2050 stark zurück. Nickelreiche Batterietypen wie NCM811 und NMC955 sollen schon ab etwa 2040 den Markt beherrschen (Bild 5).

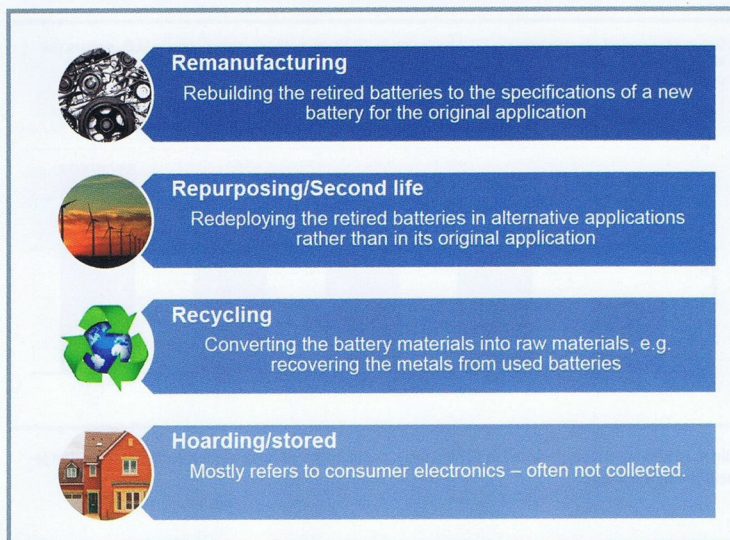


Bild 1: Ausgediente Lithium-Ionen-Batterien können unterschiedliche Wege gehen, von der Wiederaufbereitung über Second Life bis hin zum Recycling.

Size of the global market for lithium-ion battery recycling in 2019 with forecasts for 2020 to 2027 (in billion U.S. dollars)

Projected size of the global market for lithium-ion battery recycling 2019-2027

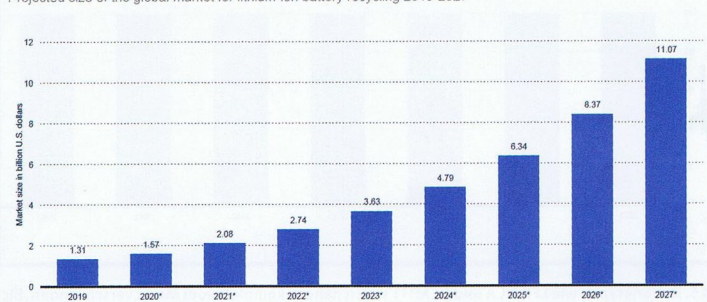


Bild 2: Da durch die Elektromobilität auch immer mehr recycling-fähige Altbatterien zur Verfügung stehen werden, wächst der Recycling-Markt in den nächsten Jahren kräftig.

Global Li-ion battery recycling market 2020-2042: by sector (GWh)

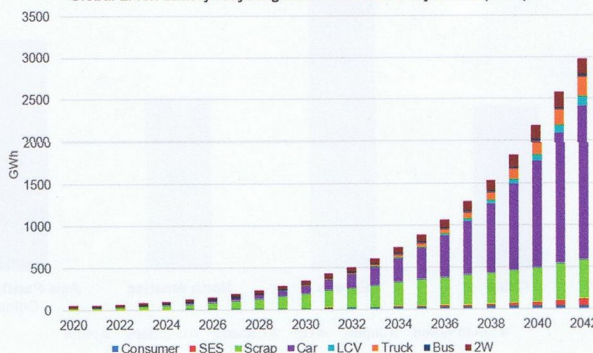


Bild 3: Langfristige Entwicklung des Batterie-Recycling-Marktes. Bis 2042 soll ein Äquivalent von 3000 GWh recycelt werden, wobei etwa zwei Drittel aus dem Pkw-Bereich kommen.