



## Welche Zukunftschancen haben Li-Io-Batterien?

Können Li-Io-Batterien überhaupt nachhaltig recycelt werden?  
Werden die zurückgewonnenen Rohstoffe am Markt preislich mithalten können?  
Wiesiehtes mit den Risiken und der Sicherheit aus, wie werden sich Lithiumbatterien weiterentwickeln – und sind sie tatsächlich die Batterien der Zukunft?

*Lesen Sie in der aktuellen UPDATE-Sonderausgabe mehr über die Herausforderungen, die sich alltäglich für die Entsorgungsbranche ergeben und welche technologischen Strategien auf dem Sektor der Batterieforschung sowie der CO<sub>2</sub>-neutralen Mobilität heute schon verfolgt werden.*

### **Schwerpunktthema:**

In dieser Sonderausgabe liegt der Fokus auf Lithiumbatterien. Dabei wird die brisante Thematik aus unterschiedlichen Perspektiven näher beleuchtet. Der thematische Bogen erstreckt sich von den rechtlichen Rahmenbedingungen über die Sicherheit bei der Entsorgung sowie den möglichen Recyclingverfahren bis hin zu aktuellen technologischen Standards in der Batterieforschung.

Das Heft zum Thema „Welche Zukunftschancen hat die LI-IO-Batterie?“ ist eine Beilage der Mitgliederzeitung UPDATE Nr. 43/2021 des Fachverbandes Entsorgung- und Ressourcenmanagement der Wirtschaftskammer Österreich.

Erscheinungstermin: Juli 2021



Medieninhaber und Herausgeber: Fachverband Entsorgungs- und Ressourcenmanagement, A-1045 Wien, Wieder Hauptstraße 63, Zimmer B366, Tel.: 05 90 900-5524, Fax: 05 90 900-5535 • Link zur Offenlegung: <https://www.wko.at/branchen/information-consulting/entsorgungs-ressourcenmanagement/Offenlegung.html> • Konzeption & Umsetzung: Solutions in PR, 1080 Wien • Grafik: cdc • Druck: Druckerei Schmidbauer, 8280 Fürstenfeld • Verlagspostamt: A-1041 Wien • Redaktionsschluss: 15. Juni 2021

# update

## INHALT:

EU-Batterieverordnung – Erhöhung der Sicherheit hat oberste Priorität Rechtliches.....	4
Lithium-Ionen-Batterien – Wie gehen wir in Zukunft mit den Risiken um? Univ.-Prof. DI Dr. Roland Pomberger   Montan Universität Leoben.....	5
Nicht nur eine Frage der Sicherheit: Wenn der Betrieb brennt - wer zahlt den Schaden? Mag. (FH) Werner Bleiberger   KAB.....	6
Gefährliches Lithium: Absicherung mit Aerosol mindert Brandrisiko Florian Engel und Ing. Markus Brunner   AustrianAerosol GmbH.....	8
Ist Recycling der Lithiumbatterien die Zukunft? Mag. Sabine Balaz   ERP.....	11
Recycling von Lithiumbatterien – der Mythos vom nicht gelösten Problem DI Thomas Maier   ERA Elektro Recycling Austria GmbH.....	12
Lithiumbatterien: Design for Recycling spielt Schlüsselrolle Robert Töschler   MSc., MBA UFH-Gruppe.....	14
Der Anfang am Ende Ing. Mag. Gerald Schmidt   Saubermacher Dienstleistungs AG.....	15
Schweizer Elektrofahrzeughersteller revolutioniert das Recycling von Lithiumbatterien Olivier Groux   KYBURZ.....	16
Recycling: Tophema der Batterieforschung Prof. Dr. Martin Winter   Universität Münster, MEET Batterieforschungszentrum und Forschungszentrum Jülich, Helmholtz-Institut Münster.....	18
Herausforderung – Lithium-Ionen-Batterie Recycling M.Sc. Stefan Doose, M.Sc. Julian K. Mayer, Dr. Peter Michalowski, Prof. Dr.-Ing. Arno Kwade   Techn Uni Braunschweig, Insitut für Partikeltechnik & Battery LabFactory Braunschweig.....	20
Recycling von LI-IO-Batterien – From cradle-to-cradle Dr. Fabian Jeschull   Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institute for Applied Materials – Energy Storage Systems.....	22
Mit Batterie und Brennstoffzelle zum CO2-neutralen Transport Peter Smodej   Daimler Truck AG.....	24
Es gibt keinen Königsweg Katrín Satizabal   Shell Austria Gesellschaft m.b.H.....	26

# EU-Batterieverordnung

## Erhöhung der Sicherheit hat oberste Priorität

**So viel vorweg: Mit Spannung wurde der Änderungsvorschlag der EU-Kommission<sup>1</sup> für die Verordnung über Batterien und Altbatterien erwartet. Gerade in Hinblick auf einheitliche Rückführungssysteme zu den gesicherten Sammelstellen insbesondere für Lithiumbatterien waren die Erwartungen der Entsorgungsbranche dahingehend groß. Bedauerlicherweise erfüllt der vorliegende Entwurf eben diese Möglichkeit zur Risikominimierung der allgegenwärtigen Brandgefahr aufgrund von Fehlwürfen aber nicht.**

Das größte Problem dabei ist, dass die Versicherungsgesellschaften zusehends nicht mehr bereit sind, Entsorgungsbetriebe auf Brandschäden zu versichern. Der Fachverband Entsorgungs- und Ressourcenmanagement hat daher in seiner Stellungnahme die Forderung vor allem für eine nachhaltige Verbesserung des Batterierücklaufs gerade für Li-Io-Batterien nochmals bekräftigt. Nur wenn es gelingt, die Rückführung in die richtige Sammelschiene mittels geeigneter Anreizsysteme, besserer Erkennbarkeit bzw. Kennzeichnung zu erhöhen, besteht die Chance, die Brandrisiken durch falsch entsorgte Batterien einzudämmen. Darüber hinaus erachten wir zudem die Einbeziehung des Onlinehandels als notwendig, denn ein Großteil der Gerätebatterien wird via Internet bezogen.

### Systemteilnahmepflicht hat sich bewährt

In Österreich wurden die europäischen Vorgaben der EU-Batterienrichtlinie in der österreichischen Batterienverordnung<sup>2</sup> so normiert, dass Geräte- oder Fahrzeugbatteriehersteller an einem Sammel- und Verwertungssystem teilzunehmen haben - dies hat sich bestens bewährt und den Aufbau einer guten Sammellogistik ermöglicht. Wir fordern daher, eine derartige Systemteilnahmepflicht auch in der geplanten EU-Batterienverordnung zu verankern. Dies würde dabei helfen, die bestehende Praxis fortzusetzen und keine Türen für allfällige Trittbrettfahrer zu öffnen.

Generell ist zu kritisieren, dass es in dem Entwurf sehr viele Ermächtigungen für die EU-Kommission zur Erlassung von delegierten Rechtsakten speziell im Anlagenbereich gibt: So bereiten uns die Recyclingeffizienzen in Artikel 56 und Artikel 57 große Sorgen.

Erwägungsgrund (87) und Artikel 58 lassen eine Behandlung und ein Recycling von Altbatterien auch außerhalb der Europäischen Union (EU) zu. Das in Österreich für Altbatterien angewandte Klassifizierungssystem für Abfälle (Abfallverzeichnisverordnung) impliziert eine unmittelbare Wettbewerbsverzerrung, da alle Arten von Altbat-



© Shutterstock

terien in Österreich als gefährlicher Abfall einzustufen sind. Damit sind Exporte solcher Abfälle in Staaten verboten, in denen der OECD-Beschluss über die grenzüberschreitende Verbringung von Abfällen nicht gilt. Dies kann insbesondere für Abfallströme in kleinen Mengen (z.B. Knopfzellen) zu Spezial-Recyclinganlagen außerhalb der EU, aber auch für den Bereich der Li-Io-Batterien und -Akkus, die üblicher Weise gemäß Europäischem Abfallverzeichnis unter „16 06 05 andere Batterien und Akkumulatoren“ (nicht gefährlich) eingestuft werden, zu Wettbewerbsnachteilen für die heimischen Fachbetriebe führen.

**Die ausführliche Stellungnahme finden Sie als Download unter**  
<https://update.dieabfallwirtschaft.at>

<sup>1</sup>Vorschlag der Verordnung COM (2020) 798 final des Europäischen Parlaments und des Rates über Batterien und Altbatterien zur Veränderung der Verordnung (EU) 2019/1020 und zur Aufhebung der Richtlinie 2006/66/EG  
<sup>2</sup>Österreichische Batterienverordnung § 16 Abs. 1

## Lithium-Ionen-Batterien

# Wie gehen wir in Zukunft mit den Risiken um?

**In den letzten Jahren zeigte sich eine steigende Anzahl an Brandereignissen in der österreichischen Abfall- und Ressourcenwirtschaft. Als eine der zentralen Ursachen konnten Gerätebatterien, vor allem Lithium-basierte Batterietypen identifiziert werden, die als Fehlwürfe in verschiedenen Abfallströmen landen. Diese Lithium-Ionen-Batterien (LIB) stellen ein neues, die gesamte abfallwirtschaftliche Wertschöpfungskette bedrohendes Brandrisiko dar - beginnend bei der Sammlung, über den Transport und die Lagerung hin zur Behandlung und Verwertung von Abfällen.**

Der Blick auf betriebliche Brandstatistiken lässt schließen, dass die 285 ermittelten (öffentlich bekannten) Brände nur die sprichwörtliche Spitze des Eisberges darstellen. Laut Angaben von Anlagenbetreibern beträgt das Verhältnis von öffentlich bekannten Brandereignissen und jenen, die betriebsintern gelöscht werden können zumindest eins zu fünf. Daraus lässt sich schließen, dass im Hinblick auf die unbekanntes Grundgesamtheit - in Österreich (im Zeitraum von 2007 bis 2017) zumindest mit 1.500 Brandereignissen stattgefunden haben.

Lithium-Ionen-Batterien haben aufgrund der im Vergleich zu anderen Batterietypen hohen Energiedichte ein sehr hohes reaktives Potenzial. Durch verschiedene Gründe, wie etwa mechanische Beschädigung, thermische Einwirkungen, Überladung, innerem oder äußerem Kurzschluss, können diese hohen Energiemengen schlagartig freigesetzt werden, wodurch es zu einer raschen thermischen Zerlegung (auch thermisches Durchgehen oder thermal runaway genannt) bzw. einer unkontrollierten Wärmefreisetzung kommt.

Im Zuge des Forschungsprojektes BAT-SAFE durchgeführte Sortieranalysen für die Stoffströme Restmüll, Leichtverpackungen, Metallverpackungen und Elektrokleingeräte zeigten, dass zum Teil erhebliche Mengen an Gerätebatterien nicht fachgerecht entsorgt werden. Knapp 800 Tonnen Gerätebatterien wurden in Abfallströmen entsorgt, die dafür völlig ungeeignet waren. Neben der daraus resultierenden Umweltgefährdung stellen diese Batterien im Restmüll, der Leicht- und Metallverpackungen ein erhebliches Sicherheitsrisiko dar.

Groß angelegte Sortieranalysen, welche 2018 in Österreich durchgeführt wurden, zeigten zwar nur geringe Massenanteile. Bei Umrechnung auf die

Partikelanzahl zeigt sich aber, dass in einer Tonne Restmüll, Leichtverpackung oder Metallverpackung bereits durchschnittlich 1 Lithium-Batterie zu finden ist. In Elektrokleingeräten finden sich pro Tonne durchschnittlich 12 Lithium-Batterien. In Summe finden sich in diesen Fraktionen pro Jahr ca. 2.000.000 Stück Lithium-Batterien. Aufgrund der weiter steigenden Verkaufszahlen ist in 5 Jahren, bei unverändertem Entsorgungsverhalten mit der doppelten Anzahl an Fehlwürfen in unseren Siedlungsabfällen zurechnen.

Zirka 24% der Lithium-Batterien weisen am Ende ihrer Lebensdauer einen Ladezustand auf, welcher bei kritischer Beschädigung zu leichten (bei 12% der LIB sogar schweren) Reaktionen durch thermal runaway führen kann. Die dadurch bedingte Wärmefreisetzung reicht in der Regel aus, um Abfallbrände auszulösen.



Univ.-Prof. DI Dr.  
Roland Pomberger,  
Montan Universität Leoben  
© R. Pomberger



© KAB

## Nicht nur eine Frage der Sicherheit: **Wenn der Betrieb brennt — wer zahlt den Schaden?**

Die Entsorgungsbranche brennt - und das nicht nur im herkömmlichen Sinn des Wortes. Denn wer kommt für den durch eine schadhafte und falsch entsorgte Lithiumbatterie verursachten Brandschaden auf? Und was passiert, wenn der Betrieb gleich mehrmals brennt? Die Update-Redaktion hat dazu ein Gespräch mit Werner Bleiberger geführt. Als Geschäftsführer der Kärntner Abfallbewirtschaftung GmbH (KAB) weiß er nur zu gut, vor welchen Problemen ein Betrieb steht, der gleich mehrmals der Feuerglut ausgesetzt war. Als Obmann der Kärntner Fachgruppe Entsorgungs- und Ressourcenmanagement bemüht er sich intensiv um Lösungen für die Entsorgungsbranche.

Es ist mittlerweile bekannt, dass Lithiumbatterien äußerst brandgefährlich sind. Insbesondere dann, wenn sie beschädigt sind oder falsch entsorgt im Restmüll geshreddert werden. Die Entsorgungsbetriebe sind sich der Gefahr bewusst und stehen vor großen Herausforderungen — fühlen sich zunehmend von der Politik alleine gelassen. Denn kommt es im Unternehmen zu einem Großbrand, geht es natürlich in erster Linie um die Sicherheit und Gesundheit der Mitarbeiter\*Innen. Aber auch um den Weiterbestand und die Existenz des Betriebes. Denn es gibt nur mehr wenige Versicherungen, die Brandschäden in diesem Ausmaß - Tendenz steigend — absichern wollen und können.

*Herr Bleiberger, wie oft waren Sie in den vergangenen 2 Jahren von durch Lithiumbatterien ausgelösten Feuereinsätzen betroffen?*

*Wurden Mitarbeiter verletzt und wie hoch war der Schaden?*

Die KAB hatte sowohl im Mai 2019 als auch im September 2019 durch Lithiumbatterien ausgelöste Feuerwehreinsätze. Es wurden Gottseidank keine Personen verletzt, weder Mitarbeiter noch Einsatzkräfte der Feuerwehren. Die Sachschäden beliefen sich pro Brandfall auf zirka 1 Million Euro.

### *Waren Sie ausreichend versichert und wurde der Schaden von der Versicherung bezahlt?*

Die KAB war ausreichend versichert und die beiden Brandschäden wurden von der Versicherung bezahlt. Allerdings hatten wir pro Brandfall einen hohen Selbstbehalt zu leisten, den die KAB selbst tragen musste.

### *Mussten Sie die Versicherung wechseln?*

Die KAB musste die Versicherung nicht wechseln, allerdings wurden die Versicherungsprämien und die Selbstbehalte — sowohl für Sachschäden als auch für die Betriebsunterbrechungsversicherung — enorm erhöht.

### *Welche Versicherungen gibt es für die Entsorgungsbranche derzeit in Österreich?*

Die Donau Versicherung, die Wiener Städtische Versicherung und die Generali sind meines Wissens nach die einzigen österreichischen Versicherungsunternehmen, die derzeit Brandschutzversicherungen für die Entsorgungswirtschaft anbieten. Darüber hinaus kann man sich an Versicherungsmakler sowohl in Österreich als auch in Deutschland wenden. Eine Deckung durch eine Brandschutzversicherung erhalten Entsorgungsbetriebe grundsätzlich nur mehr bei ausreichenden Investitionen in den Brandschutz.

Bei der KAB flossen für Brandschutzmaßnahmen in den vergangenen Jahren einige Millionen Euro für Schaum- und Gaslöschanlagen, Löschwasserteich, Löschwasserrückhaltebecken, modernste Lagerhallen mit überdimensionierten Brandabschnitten und so weiter.

Außerdem verlangen die Versicherungen heutzutage enorme Selbstbehalte von bis zu 500.000 Euro pro Brandfall für die Wiederherstellung und nochmals bis zu 500.000 Euro für die Betriebsunterbrechung.

Die Jahresprämie für eine neue Brandschutzversicherung mit einer Deckung für einen Versicherungswert von zirka 5 Millionen Euro beläuft sich im österreichischen Durchschnitt auf zirka 50.000 bis 100.000 Euro. Liegt der zu versichernde Wert bei 10 bis 15 Millionen Euro, dann kann es leicht dazu führen, dass ein Entsorgungsbetrieb bei einem Neuabschluss für die Brandschutzversicherung inklusive Betriebsunterbrechung zirka 200.000 Euro Jahresprämie zu leisten hat - sofern, wie eingangs erwähnt, sich überhaupt noch ein auf die Entsorgungsbranche spezialisierter Versicherungsanbieter findet.



© KAB

### *Wie sicher fühlen Sie sich heute nach den Investitionen in den Brandschutz? Wie hoch schätzen sie das Gefahrenpotenzial für Ihren Betrieb heute ein?*

Das Gefahrenpotenzial ist nach wie vor äußerst hoch, da tagtäglich unzählige Lithium-Ionen-Akkus unachtsam in den Restmüll geworfen oder gesetzeswidrig mit dem Gewerbe- bzw. Sperrmüll entsorgt werden.

Auf Grund der immens hohen Investitionen in den Brandschutz können wir nunmehr etwas beruhigter schlafen — wobei es eine 100%ige Sicherheit aber auch mit dem modernsten Brandschutzeinrichtungen nie geben kann und wird.

### *Welche Maßnahmen könnten die Situation nachhaltig für die Entsorgungsbranche verbessern und das Brandrisiko deutlich mindern?*

Die Bevölkerung muss noch besser über die Medien, den kommunalen Abfallberatern und auch von den Inverkehrsetzern wie beispielsweise Hersteller, Importeure, Onlinehändler bzw. Handel sowie Elektrofachgeschäfte und so weiter, über die richtige Handhabung beziehungsweise sachgerechte Entsorgung der brandgefährlichen Lithium-Ionen Batterien und -Akkus aufgeklärt werden. Eine wirkliche Verbesserung für die Entsorgungsbranche wird vermutlich aber nur ein Pfandsystem auf alle Lithium-Ionen Batterien und -Akkus bringen.



Mag. (FH) Werner Bleiberger  
Geschäftsführer KAB Kärntner  
Abfallbewirtschaftung GmbH  
Obmann der Fachgruppe  
Entsorgungs- und  
Ressourcenmanagement  
(WK Kärnten)

© KAB

## Gefährliches Lithium:

# Absicherung mit Aerosol mindert Brandrisiko

Autoren: Florian Engel & Ing. Markus Brunner | Austrian Aerosol GMBH

**Lithium Akkus begleiten unser tägliches Leben vom Aufstehen bis zur Nachtruhe. Von der elektrischen Zahnbürste über Smartphones, E-Bikes und -Autos, autonome Haushaltshilfen bis hin zu Tablet und Laptop oder immer stärker werdenden kabellosen Werkzeugen. Lithium Akkus sind allgegenwärtig. Sie sind der „Treibstoff“ für unsere moderne Lebensweise. Gleichzeitig sind sie aber auch der „Zündstoff“. Abgesehen von der Brandgefahr während der Produktion und des Lebenszyklus stellen sie außerdem im „leeren Zustand“ noch ein hohes Risiko für alle Bereiche in der Entsorgungs- und Kreislaufwirtschaftskette dar. Innovative Brandschutzkonzepte mit Aerosol Generatoren können in vielen Bereichen mehr Sicherheit bieten.**

### Brandgefährlicher Restmüll

Vor großen Herausforderungen stehen heute gerade Kommunen und Unternehmen im Bereich der Abfallwirtschaft. Laut aktuellen Schätzungen der Montan Universität Leoben landen jährlich alleine in Österreich rund 2 Millionen Batterien im Restmüll. Diese erhöhen die Brandgefahr bei Sammlung, Lagerung und Sortierung erheblich, da sie dort mechanischer Einwirkung oder Hitze ausgesetzt sind. Der eindeutige Zusammenhang zwischen der steigenden Anzahl von Lithium Akkus im Restmüll und den zunehmenden Bränden bei Entsorgungsunternehmen wird auch von österreichischen Versicherungsunternehmen bestätigt. Durch den Einsatz von Aerosol Löschgeneratoren können hingegen weitreichende vorbeugende Maßnahmen gesetzt werden.

### Anspruchsvolle Aufgaben

Der Brandschutz bei Lithium-Ionen-Batterien und Akkus ist mit großen Herausforderungen verbunden. Die Brände entstehen äußerst schnell, und da die brennenden Batterien in der Regel in einem Gehäuse oder in einer Maschine verbaut sind, ist es zudem schwierig, an sie heranzukommen. Ohne ausreichende Kühlung können die Akkus sich rasch wieder entzünden. Deshalb bedarf es einer große Menge an herkömmlichen Löschmittel, um die Akkus zu kühlen, das Feuer zu löschen und eine Wiederentzündung zu vermeiden. Die größten Herausforderungen sind also die schnelle Branddetektion und die Positionierung der Löschtechnik in der direkten Umgebung. Und weil eben über längere Zeit mit Rückzündungen zu rechnen ist, sollte ein Lösch-

mittel mit einer möglichst lang anhaltenden Wirksamkeit gewählt werden.

### Wirkungsvolles Aerosol

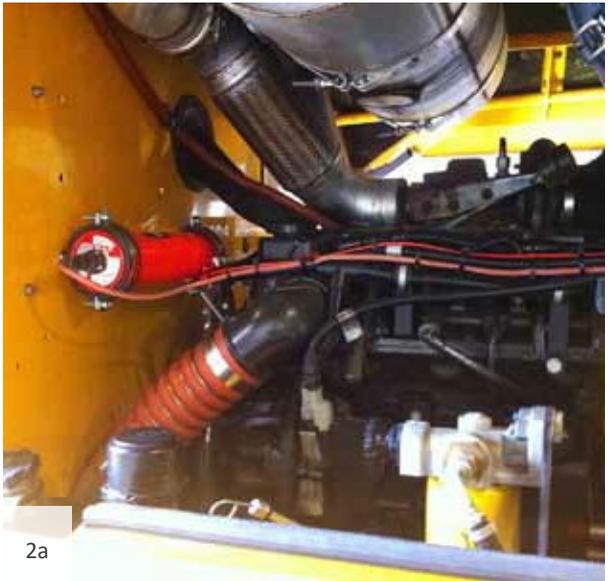
Der Einsatz von Aerosol Generatoren zum vorbeugenden Brandschutz in Verbindung mit Lithium Batterien bietet grundlegende Vorteile gegenüber CO<sub>2</sub> oder Wassernebelanlagen in der Brandbekämpfung: Während Räume bei CO<sub>2</sub> Anlagen luftdicht sein müssen, genügen beim Einsatz von Aerosol beispielsweise bereits normale Türen, um die Haltedauer zu optimieren. Ein entsprechendes Aerosol kann sich in geschlossenen Räumen sehr lange halten und so einen dauerhaften Schutz bieten. Aerosol hat gleichzeitig auch noch den Vorteil, dass bei der endothermen Reaktion während des Löschvorgangs auch die Hitze entzogen wird. Wassernebel kann das Feuer zuerst einmal löschen und die Batterie abkühlen. Neben dem Risiko der Trinkwasser-Kontamination können damit aber auch gefährliche Kurzschlüsse verursacht werden. Das von Austrian Aerosol verwendete Aerosol ist außerdem zu 100 % umweltfreundlich und verursacht bei Kontakt zu Lithium keine gefährlichen Kreuzreaktionen wie Säurebildung.

### Einfache Installation

Ein weiterer Vorteil sind die technischen Anforderungen und baulichen Maßnahmen, die charakteristisch für die Brandschutzkonzepte von Austrian Aerosol sind: Das Löschmittel sitzt in fester Form direkt in dem Edelstahlgenerator, steht dabei nicht unter Druck und ist praktisch immun gegen jegliche Umwelteinflüsse. Weder beim Neubau oder der Nachrüstung müssen weder Leitungen noch



1a



2a



1b



2b

Abb.2a-b: Best Practice: Schweres Gerät ist gerade in der Abfallwirtschaft oftmals eine mögliche Brandquelle. Aerosol Generatoren im Motorraum können Abhilfe schaffen.



1c

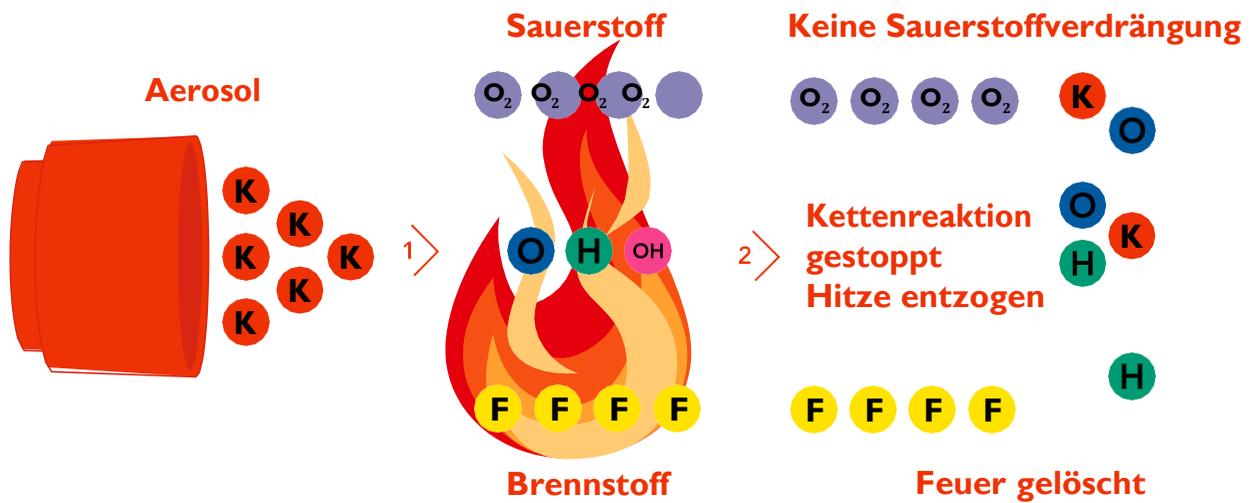
Abb.1a-c: Vom kompakten AerosolGenerator RSL8 mit einem Löschpotenzial von 250 Litern bis hin zum größten Modell RSL 6300 für 63 m<sup>3</sup> bietet Austrian Aerosol das perfekt auf die Anforderung abgestimmte Brandschutzkonzept.

© F.Engel/Ing. M. Brunner, Austrian Aerosol



3

Abb.3: Die Einsatzmöglichkeiten der Aerosolgeneratoren sind extrem vielfältig. Bis hin zur gesamten Haustechnik oder auch E-Ladeinfrastruktur lassen sich sehr effizient Gefahrenquellen schützen.



Einer der großen Vorteile des Aerosols ist der Löschvorgang selbst. Es findet keine Sauerstoffverdrängung statt und die Brandquelle wird gleichzeitig auch noch gekühlt. © F.Engel/Ing. M. Brunner, Austrian Aerosol

Druckbehälter oder Wasserreservoirs angelegt werden. Die Aerosol Generatoren arbeiten vollautomatisch und können vollständig in die bereits bestehenden Brandschutzsysteme integriert werden.

**Praxiserprobte Lösungsansätze**

Folgen wir dem Weg des Abfalls: Bereits bei der Müllsammlung können direkt in den Fahrzeugaufbauten Aerosol Generatoren verbaut werden, um in der Presse entstehende Brände unter Kontrolle zu bringen und im Idealfall das Fahrzeug zu retten, - jedenfalls verbleibt ausreichend Zeit, um aus den Gefahrenbereichen zu fahren und Kollateralschäden zu vermeiden.

Bei Entsorgungs- und Recyclingunternehmen selbst sind die Brandquellen vielfältig. Schweres Gerät, das den Abfall sortiert, erreicht aufgrund immer schärferer Abgasnormen und der daraus resultierenden Nachbehandlung an manchen Bauteilen sehr hohe Temperaturen. Vom Teleskoplader über den großen Radlader bis hin zum (Elektro-)Stapler kann durch den Einsatz kompakter Aerosol Generatoren rasch und günstig zusätzlicher Schutz geboten werden. Im nächsten Schritt übt die Sortieranlage mechanischen Stress auf die entsorgten Akkus aus und kann Brände durch interne Kurzschlüsse verursachen. Zu guter Letzt folgt die Zwischenlagerung der Batterien. Hier kann für maximale Sicherheit nur eine räumliche Trennung empfohlen werden. Optimal sind eigene Brandschutzcontainer mit fix installierten Aerosol Generatoren, da hier im Brandfall eine größtmögliche Haltedauer des feinen Aerosols garantiert ist und somit etwaige Wiederentzündungen im Keim unterbunden werden.

**Fazit**

Aerosol ist für den vorbeugenden Brandschutz optimal geeignet, da es den direkten Schutz einer potenziellen Brandquelle - vom Sicherungskasten über Motorräume bis hin zu Lagerräumen bis etwa 100 m<sup>3</sup> Raumvolumen - ermöglicht. Um das Übel allerdings direkt an der Wurzel zu packen und dem Idealzustand perfekter Kreislaufwirtschaft für Batterien ein großes Stück näher zu kommen, wäre als Empfehlung an die politischen Entscheidungsträger die Einrichtung markanter Sammelstellen mit entsprechend sicherer sowie umweltfreundlicher Aerosol Absicherung äußerst wünschenswert.



Für die sichere Lagerung von Lithium Batterien haben die Experten von RSL Fire bereits unterschiedliche Lösungen in diversen Größen umgesetzt. © F.Engel/Ing. M. Brunner, Austrian Aerosol

**Weitere Informationen zur Wirkungsweise, Best Practice Lösungen und Videos zu Löschversuchen mit Lithium Akkus finden Sie auf [www.austrianaerosol.com](http://www.austrianaerosol.com)**

# Ist Recycling der Lithiumbatterien die Zukunft?

Autorin: Mag. Sabine Balaz | ERP – European Recycling Platform Austria GmbH

Lithium-Ionen-Batterien erfreuen sich dank ihres geringen Gewichts und ihrer hohen spezifischen Energie großer Beliebtheit und finden sich in immer mehr Anwendungen wieder. Im Jahr 1991 erstmals von Sony für den Einsatz in elektrischen Geräten mit besonderen Gewichtsanforderungen entwickelt, werden sie heute aufgrund dieser Vorteile in nie da gewesener Menge nachgefragt. Mit dem zunehmenden Einsatz in batterieelektrischen Fahrzeugen und Heimspeichern sowie in elektrischen und elektronischen Haushaltsgeräten wächst auch die Bedeutung einer ordnungsgemäßen Verwertung von Lithium-Ionen-Batterien und einer Auseinandersetzung mit den damit verbundenen Risiken und Chancen.

Die hohe Zyklenzahl und Energiedichte, die geringe Selbstentladung und die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten von Lithium-Ionen-Batterien bieten entscheidende Vorteile gegenüber anderen Akkumulatortypen, wie Nickel-Metall-Hydrid-Akkus (Ni/MH), die zum Beispiel in Fernbedienungen oder Taschenlampen eingesetzt werden, oder Nickel-Cadmium-Verbindungen (NiCd), die sich zwar gut recyceln lassen, aber aufgrund des umweltschädlichen Cadmiums bis auf wenige Ausnahmen in der Europäischen Union verboten sind. Auch Bleiakkumulatoren, zum Beispiel Blei-Calcium-Batterien (PbCa), die seit über 20 Jahren als Starterbatterien in Autos eingesetzt werden, haben auf Grund der geringeren Entladungstiefe und des größeren Gewichts in vielen Anwendungsbereichen entscheidende Nachteile gegenüber Lithium-Ionen-Akkus.

## Wertvolle Rohstoffe

Lithium-Ionen-Akkus gibt es in unterschiedlichen Zusammensetzungen, je nach Einsatzgebiet und qualitativen Ansprüchen. Am Minuspol wird Kupfer als Stromleiter eingesetzt, welcher zur Anode aus Kohlenstoff (Grafit) führt. Die Anode und die Kathode werden durch einen Separator getrennt, der für die Ionen durchlässig sein muss und meistens aus Kunststoffen hergestellt wird. Für die Kathode von Hochenergiezellen werden bei sogenannten NCA-Zellen Nickel, Cobalt und Aluminium (LiNi<sub>x</sub>Co<sub>y</sub>Al<sub>z</sub>O<sub>2</sub>) und bei NMC-Zellen Nickel, Mangan und Cobalt verwendet. Die jeweiligen Anteile in der Kathode sind nach Typus unterschiedlich. Als veraltet gilt NMC-622, also eine Kombination aus 60% Nickel, 20% Mangan und 20% Cobalt, da Cobalt teuer und begrenzt verfügbar ist und der Anteil an Nickel die Energiedichte erhöht. Somit haben moderne Akkus oft eine Aufteilung von NMC-541 oder NMC-811.

## Besondere Ansprüche an Lagerung und Transport

Lithiumbatterien haben aufgrund ihrer - eigentlich positiven - Produkteigenschaften, wie der höheren Energiedichte und der geringeren Selbstentladung, über die gesamte Lebensdauer hinweg, vor allem zum Zeitpunkt ihrer Entladung, besondere Anforderungen an Lagerung und Transport. Sie können sich noch sehr reaktiv zeigen. Daher besteht bei falscher Handhabung und/oder mechanischer Schädigung eine erhöhte Brandgefahr (thermisches Durchgehen). Lithiumbatterien unterliegen als Gefahrgut dem Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR). Es gibt spezielle Sammel- und Transportbehälter, die zusammen mit einem entsprechenden Füllmittel (zum Beispiel Vermiculite oder Blähglasgranulat) den erhöhten (Brandschutz-)Anforderungen gerecht werden.

## Recycling

Wie immer gilt: Je höher der Wert eines Materials, desto attraktiver ist das Recycling. Da immer unterschiedlichere Chemismen im Einsatz sind mit teilweise signifikant niedrigeren Cobalt- oder Nickelanteilen, sinkt der Materialwert. Eine Alternative für preiswertere Akkus sind Lithium-Eisenphosphat-Zellen (LFP). Diese Technologie wächst besonders auf dem asiatischen Markt beachtlich. Zu guter Letzt ist an der Kathode noch ein Stromleiter aus Aluminium verbaut. Auch das Lithiumsalz kann theoretisch recycelt werden. Technisch ist vieles möglich. Auch die Umnutzung wird mit zunehmender Anzahl von Zellen in Akkus, insbesondere im Bereich der Elektromobilität, immer wichtiger und zu einer potenziell finanziell sehr attraktiven Option. Es gibt viele Unternehmen, die Lösungen in diesem Bereich entwickeln.

# Recycling von Lithiumbatterien – der Mythos vom nicht gelösten Problem

Autor: DI Thomas Maier | ERA Elektro Recycling Austria GmbH

**Seit Jahren wird in Europa von Energiewende und Elektromobilität gesprochen. Dabei werden immer wieder Bedenken geäußert. Ein häufig geäußertes Argument ist, dass die Herausforderungen beim Recycling der Lithiumbatterien noch nicht gelöst seien.**

Technisch ist das Recycling von Lithiumbatterien hingegen schon seit längerem gut gelöst. Rückgewinnungsraten von 90% bei Kobalt, Nickel und Kupfer werden heute bereits erreicht. Der Entwurf der neuen Batterieverordnung sieht für 2030 ein Ziel von 95% vor, was erreichbar sein wird. Lediglich bei Lithium sind die Rückgewinnungsraten noch gering. Das Ziel der Kommission von 30% 2030 ist hier technisch sehr ambitioniert. Der massive Anstieg der Weltmarktpreise für Lithiumcarbonat dürfte jedoch die technische Entwicklung hin zu höheren Rückgewinnungsraten beflügeln. Ein guter Indikator für einen vitalen Lithiumbatterie-Recycling Markt ist die hohe Nachfrage der nachgeschalteten Industrie nach dem Aufbereitungsprodukt „Schwarzmasse“. Dieser Teilstrom enthält die interessanten Elektrodenmaterialien.

## Lange Lebensdauer

Ein Grund für die Zweifel an einem funktionierenden Recycling dürfte sein, dass es noch relativ wenige Recyclinganlagen für Lithiumbatterien gibt. Das wiederum liegt weniger an den technischen Schwierigkeiten, sondern am noch immer geringen Aufkommen von Lithium-Alt-Batterien. Denn Lithiumbatterien halten im Durchschnitt wesentlich länger, als man annimmt. So hat erst im März 2021 die BMW Group aufgrund der bisherigen Erfahrungen die Garantie für die Batterie des BMW i3 (Markteinführung 2013) von 100.000 km auf 160.000 km erhöht. Für Consumer-Batterien (vom Handy-Akku bis zum e-Bike Akku) zeigen unsere Erhebungen ein ähnliches Bild. Das durchschnittliche Alter der Akkus im Abfall ist deutlich höher als erwartet. Am längsten sind Werkzeug-Akkus in Gebrauch – ihr Durchschnittsalter liegt bei mehr als 10 Jahren bevor sie weggeworfen werden.

Nachdem der Boom sowohl in der e-Mobilität als auch bei Produkten wie e-Bikes erst in den letzten Jahren Fahrt aufgenommen hat, haben die meisten Batterien ihr Lebensende noch gar

nicht erreicht. Die noch geringen Rücklaufmengen müssen daher auf wenige Anlagen konzentriert werden, um einen wirtschaftlichen Betrieb zu gewährleisten. Dass die gesammelten Batterien das Land nur mit aufrechter Notifizierung verlassen dürfen, ist in Österreich glücklicherweise eine Selbstverständlichkeit.

## Kostenfrage

Natürlich ist die Entwicklung der Recyclingtechnologie nicht zu Ende. Entwicklungspotentiale sehen wir in der Rückgewinnungsrate von Lithium und in einfacheren Verfahren, mit denen Lithiumbatterien ein „Second Life“ bekommen. Die Kosten für die Wiederaufbereitung von Batterien aus dem Automotive Bereich übersteigen vielfach noch die Kosten für neue Batterien. Der gewünschte Wiedereinsatz von Antriebsbatterien im stationären Betrieb (etwa bei Photovoltaikanlagen) - ebenfalls ein Ziel der neuen EU-Batterieverordnung - scheidet daher an den hohen Aufarbeitungskosten. Mit steigender Nachfrage nach neuen Batterien und steigendem Angebot an Altbatterien sind jedoch auch in diesen Feldern Fortschritte zu erwarten.

Ob aber die neue EU-Batterieverordnung - zumindest in der gegenwärtig vorgeschlagenen Form - Anstöße in diese Richtung geben wird, bleibt abzuwarten. Der vorliegende Entwurf wirft zumindest mehr Fragen auf als er Antworten gibt.



[www.lithium-info.at](http://www.lithium-info.at)

Die online Informationsplattform des Fachverbands  
Entsorgungs- und Ressourcenmanagement (WKO) für  
Verbraucherinnen und Verbraucher zur sachgerechten  
Entsorgung von Lithiumbatterien und -akkus.

# Lithiumbatterien: Design for Recycling spielt Schlüsselrolle

Autor: Robert Töscher MSc. MBA | Geschäftsführer der UFH-Gruppe

**Sie stecken in Smartphones und Saugrobotern, in E-Bikes und Elektroautos. Sogar der Drohnenhubschrauber „Ingenuity“, mit dem kürzlich der erste Flug auf dem Mars glückte, hat sie an Bord: Lithium-Ionen-Akkus sind aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken, die Nachfrage nach den vielseitig einsetzbaren Stromspendern steigt stetig. Laut einer Prognose des Öko-Instituts e.V. wird der Batterietyp im Jahr 2026 - in Tonnen gerechnet — erstmals das Ranking der meistverwendeten Batterien im EU-Markt anführen, von heute 500.000 auf über 1,5 Millionen Tonnen wird die Menge anwachsen. Im Jahr 2035 werden es bereits 4 Millionen Tonnen sein.**

Insgesamt wird die Nachfrage nach Batterien bis zum Jahr 2030 um das Vierzehnfache steigen. Damit geht zwangsläufig ein entsprechender Bedarf an Rohstoffen einher, was wiederum höhere Anforderungen an die europäische Kreislaufwirtschaft mit sich bringt. Letztlich geht es darum, wertvolle Materialien wie Kobalt, Lithium, Nickel oder seltene Erden, die in Batterien verwendet werden, so lange wie möglich in der europäischen Wirtschaft zu halten.

Mit verpflichtenden Sammel- und Recyclingquoten will der Entwurf der EU-weiten Batterien-Verordnung vom Dezember 2020 einen wichtigen Schritt in Richtung Ressourceneffizienz setzen. Die darin enthaltenen Regelungen — unter anderem verpflichtende Rückgewinnungsraten für bestimmte Metalle — bedeuten für die Recyclingbranche Planungssicherheit, zudem sollten sie als Investitionsmotor dienen. Als Sekundärrohstoffe für Lithiumbatterien kommen u.a. Kobalt, Nickel, Kupfer und Lithium selbst infrage, aber auch Metalle wie Mangan oder Aluminium. Positiv auch, dass die neuen EU-Bestimmungen einen verpflichtenden Anteil an Rezyklaten in Neuprodukten vorsehen — auch damit werden neue Recyclingaktivitäten forciert.

Grundsätzlich sollten Batterien so lange wie möglich eingesetzt werden, sei es für die primäre Nutzung (z.B. als Antriebsbatterie) oder als Second-Use-Produkt (z.B. als Speicherbatterie). Vom Zustand einer Altbatterie, aber auch von der stofflichen Zusammensetzung der Bauteile hängt es ab, was mit ihr weiter geschehen soll: Ist sie noch funktionsfähig? Ist sie als Second-Use-Produkt geeignet? Oder muss sie entsorgt werden? Spätestens nach einer Zweitnutzung müssen Batterien jedenfalls dem Recycling zugeführt werden. Und die Beurteilung des Zustands sollte möglichstfrüh-

zeitig erfolgen — ein sogenannter Produktpass, der ebenfalls im Entwurf der neuen EU-Batterien-VO vorgesehen ist, könnte dabei helfen.

## Sicherheit geht vor

Bei allen Batteriesystemen, besonders aber bei Lithium-Ionen-Akkus, sind im Entsorgungs- und Recyclingprozess hohe Sicherheitsanforderungen erforderlich, vor allem im Zusammenhang mit Brandgefahr, elektrischer (Rest-)Ladung und toxischen Bestandteilen. Deshalb sind auch bei der Einstufung dieser Abfälle bezüglich ihres Gefährdungspotenzials sowie für die Abfallverbringung EU-weit einheitliche Regelungen wünschenswert.

## Neue Herausforderungen für Recyclingverfahren

Lithiumbatterien weisen sehr unterschiedliche Zusammensetzungen auf, die Technologie wird ständig weiterentwickelt und immer komplexer. Recyclingverfahren müssen also „robust“ genug sein, um unterschiedliche Batterien verarbeiten zu können und „flexibel“ genug, um mit unterschiedlichen chemischen Zusammensetzungen umgehen zu können.

Gerade deshalb wird künftig bei Lithiumbatterien das „Design for Recycling“ eine wichtige Rolle spielen – schon im ureigenen Interesse der Hersteller. Die zuverlässige Versorgung mit Rohstoffen ist für die Branche essenziell. Geschlossene Stoffkreisläufe ergänzen die Primärversorgung und verringern die Abhängigkeit von Bergbauländern und Abbaugebieten. Auch der Verbrauch an Energie, Wasser und Fläche fällt geringer aus als bei Primärrohstoffen, dies wiederum verringert den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck deutlich.

# Der Anfang am Ende

Autor: Ing. Mag. Gerald Schmidt | Saubermacher Dienstleistungs AG

**Von Smartphones über E-Bikes bis hin zu E-Autos, sie alle verbindet ein zentrales Element: der Lithium-Ionen-Akku. Dementsprechend rasant schreitet die Forschung voran und die Produktionszahlen erhöhen sich massiv. In weiterer Folge steigt auch die Zahl der ausrangierten Akkus. Hier gibt es vielversprechende Second-Life Ansätze und gute Recycling-Quoten dank innovativer Verwertungsanlagen. Doch die Rücklaufzahlen sind nach wie vor niedrig.**

Die Verkaufsmengen an Lithiumbatterien sollen sich laut Prognosen bis zum Jahr 2031 verachtfachen! Nicht zuletzt deshalb wird die Gewinnung der Rohstoffe immer wieder thematisiert. In erster Linie geht es dabei um Nickel, Kobalt und Lithium. Ebenso wie die Gewinnung der Rohstoffe ist auch die Entsorgung und das Recycling der Akkus ein wichtiger Aspekt. Schon heute führen Rückrufaktionen von E-Autohersteller zu einer unerwarteten Verknappung der Verwertungsanlagen - hat doch ein E-Auto-Akku eine Lebensdauer von sieben bis zu zehn Jahren. Doch auch die effizientesten Recyclingmethoden helfen nichts, wenn die ausrangierten Batterien nicht zu den entsprechenden Anlagen gelangen. Die Rücklaufquote bei Haushalts- und Gerätebatterien liegt in Österreich derzeit bei knapp unter 50 Prozent. Für die Erhöhung der Sammelmengen wäre die Einführung eines Pfands denkbar. Auch im Hinblick auf die EU-Vorgaben wird man in Zukunft um solche Systeme wohl eher nicht herumkommen.

## Großes Potenzial

Neben der fachgerechten Sammlung spielen Abfallvermeidung und Re-Use eine wichtige Rolle. Vor allem Auto-Batterien bieten ein großes Potential im Hinblick auf den Second-Life Ansatz. Ist eine Batterie noch in gutem Zustand, aber aufgrund der Lebensdauer zu schwach für den anspruchsvollen E-Auto-Antrieb, kann sie etwa als Energiezwischenspeicher für Photovoltaikanlagen genutzt werden. Im Rahmen von Saubermachers Forschungsarbeiten erprobt man am Standort in Premstätten mittels eines großtechnischen Speichers die Glättung von Lastspitzen beim Stromverbrauch, auch „peak shaving“ genannt, und die Energierückgewinnung im industriellen Kontext.

Die große Vielfalt an Lithiumbatterien stellt für das Recycling eine große Herausforderung dar. Es gibt zum Beispiel Batterien mit hohem Kobaltgehalt und andere ohne Kobalt. Dementsprechend stark schwanken der Behandlungsaufwand und

die Entsorgungskosten. Der Verwertungsprozess ist komplex und erfordert speziell ausgebildetes Personal, wie beispielsweise Hochvolttechniker.

## Recycling in fünf Schritten

Erst werden die Akkus klassifiziert, geöffnet und entladen. Dann werden die Batterien und Akkus manuell demontiert. Alleine diese Arbeitsschritte können je nach System bis zu vier Arbeitsstunden beanspruchen. Die Restenergie durch die Entladung wird bei Saubermacher in das firmeneigene Betriebsnetz eingespeist. Bei der Demontage werden beispielsweise Kunststoffe, Aluminium und elektronische Bauteile gewonnen. Danach folgt die thermische Behandlung, bei der das Elektrolyt verdampft und energetisch verwendet wird. Erst nach diesem Prozess können die Zellen gefahrlos zerkleinert und mechanisch aufbereitet werden. Hier werden Aluminium, Kupfer und Eisen sowie Aktivmasse, die hochkonzentriertes Kobalt, Nickel, Mangan und Lithium enthält, herausgeholt. Das Aktivmaterial wird dann mittels hydro- und pyrometallurgischen Prozessen weiter aufbereitet, um die Wertstoffe Kobalt und Nickel wiederzugewinnen. Noch nicht rückgewonnen wird das Lithium. Obwohl es namensgebend für diese Art von Akkus ist, macht es nur einen Anteil von zwei bis drei Prozent aus. Die Rückgewinnung wäre derzeit nicht wirtschaftlich. Die deutsche Redux, ein Unternehmen der österreichischen Saubermacher AG, erreicht schon heute eine Verwertungs-Quote von rund 70 Prozent, bei der Aktivmasse sogar über 85 Prozent. Das Verfahren wurde in jahrelanger Forschungsarbeit selbst entwickelt.

Die EU versucht mit deutlich höheren Vorgaben sowohl im Bereich der Recyclingraten als auch mit vorgeschriebenen Recyclinganteilen in den neuen Batterien das Recycling zu fördern. Prognosen gehen davon aus, dass im Jahr 2035 in der EU rund 65% des in neuen Batterien enthaltenen Kobalts aus Recyclingmaterialien stammen wird. Bei Nickel hingegen nur rund 20%.



Olivier Groux (links im Bild) und Martin Kyburz vor der Inhouse-Recyclinganlage. © Kyburz

## Schweizer Elektrofahrzeughersteller revolutioniert das Recycling von Lithiumbatterien

Autor: Olivier Groux | KYBURZ

**Der E-Mobilitäts-Pionier KYBURZ geht beim Akku-Recycling neue Wege: Das Zürcher Unternehmen hat eine innovative Inhouse-Anlage in Betrieb genommen – die erste dieser Art in der Schweiz. Das mit Unterstützung der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) und der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) entwickelte Recycling-Verfahren erlaubt es, bis zu 91 Prozent der enthaltenen Metalle wiederzugewinnen.**

Die E-Mobilität boomt und dies lässt die Nachfrage nach Lithiumbatterien rasant ansteigen. Elektrofahrzeuge haben jedoch einen Haken: Die Herstellung der Akkus ist ressourcenintensiv und das Recycling der Batterien steckt noch in den Kinderschuhen. Die KYBURZ Switzerland AG hat gemeinsam mit ihren Partnern eine innovative, umweltschonende Lösung für dieses Problem entwickelt und bietet Potenzial über die eigene Produktion hinaus.

### Von der Bachelorarbeit zum Pionierprojekt

Die elektrischen Dreiradroller von KYBURZ sind rund um die Welt im Einsatz, auch bei der Schweizerischen Post. Bisher wurden die Lithiumbatterien der Fahrzeuge extern recycelt, wobei die gängigen Verfahren aus Sicht des Unternehmens zu wenig nachhaltig sind. Die Batterien werden geschreddert und danach entweder eingeschmolzen oder mit Chemikalien behandelt. Beides verbraucht viel Energie - und während beim heißen Verfahren (Pyrometallurgie) wertvolle Rohstoffe verlorengehen, belastet das kalte Verfahren (Hydrometallurgie) die Umwelt.

KYBURZ suchte eine Alternative: „Unser Ziel war es, einen Recycling-Prozess zu entwickeln, der effizient, umweltschonend und sicher ist“, sagt der Projektverantwortliche Olivier Groux. Der gelernte Chemielaborant hat im Rahmen seines Bachelor-Studiums Umweltingenieurwesen an der ZHAW einen Weg gesucht, wie sich Lithiumionenbatterien nachhaltig recyceln lassen. „Ich dachte mir, wenn Batterien aus verschiedenen Materialien zusammengesetzt werden, so muss es doch möglich sein, diese auch wieder zu trennen.“ Olivier Groux leistete mit seiner Bachelorarbeit Pionierarbeit und entwickelte ein völlig neues Verfahren: Durch optimales Entladen, eine sorgfältige Zellerlegung und eine Aufreinigung mittels Wasser lassen sich Lithiumeisenphosphat-Batterien (LFP) nachhaltig recyceln – ohne jeglichen Einsatz von Chemikalien.

### Ein Schritt in Richtung Kreislaufwirtschaft

Geschäftsführer Martin Kyburz überzeugte die Idee und so stellte er Olivier Groux ein. „Wir legen großen Wert auf Nachhaltigkeit und suchen nach Wegen, wie wir die Ideen der Circular Economy in



Die KYBURZ Schweiz AG mit Standort in Freienstein bei Zürich wurde 1991 von Martin Kyburz gegründet. Mit über 150 Mitarbeiter entwickelt und produziert das Unternehmen high-quality Elektrofahrzeuge für Zustell- und Industriebetriebe sowie für Privatpersonen. Weltweit sind heute über 23.000 KYBURZ-Fahrzeuge im Einsatz, das bekannteste Modell prägt als Zustellfahrzeug der Post mittlerweile das Schweizer Straßenbild. © Kyburz

unserem Betrieb umsetzen können. Eine Inhouse-Anlage für das Recycling unserer Akkus ist ein großer Schritt in diese Richtung, meint Martin Kyburz überzeugt.

Die Grundlagen für den Aufbau der Inhouse-Recycling-Anlage entwickelte Olivier Groux in enger Zusammenarbeit mit Marcel Gauch, Lorena Toledo und Rolf Widmer von der Empa St. Gallen. Die Erkenntnisse aus dem Projekt fasste das Projektteam in einem Forschungspapier zusammen, das anlässlich des World Resources Forum mit dem ersten Preis prämiert wurde.

### So funktioniert die Recycling-Anlage

In einem ersten Schritt werden die Batterien des Typs LiFePO<sub>4</sub> auf 2,5 Volt entladen und in die einzelnen Komponenten zerlegt. Darauf werden die Kathoden und Anoden mit Wasser behandelt, um die Aluminium- und Kupferfolien zu trennen. Die Anoden werden zusätzlich mit Hitze behandelt, um die Bindematerialien zu zersetzen.

### Potenzial für verschiedenste Batterietypen

Langfristiges Ziel ist eine Produktionsanlage, die alle von KYBURZ je verbauten LiFePO<sub>4</sub>-Batterien wieder zurück in die Ausgangsstoffe zerlegen kann. In der ersten Ausbaustufe sollen rund 4.000 Zellen pro Jahr verarbeitet werden. Im Endausbau wird die Anlage eine Kapazität von bis zu 24.000 Zellen pro Jahr erreichen, was der Jahresproduktion von 3.000 Fahrzeugen entspricht.

KYBURZ sieht in der Recycling-Anlage großes Potenzial, auch weil das Anwendungsgebiet über die eigene Produktion hinausreicht. Das Verfahren lässt sich 1:1 auf einen Großteil der Akkus übertragen, die bei Hausspeichern zum Einsatz kommen. Unter Verwendung von bestimmten Chemikalien eignet sich der Verarbeitungsprozess auch für das Recycling anderer Lithiumbatterietypen, wie zum Beispiel Lithium-Nickel-Cobalt-Mangan-Batterien (NMC) oder Lithium-Nickel-Cobalt-Aluminium-Batterien (NCA). Diese werden in den meisten E-Fahrzeugen eingesetzt - von Autos über Velos bis hin zu Rollern und Trottinett (Tretrollern).

### Know-how wird zur Verfügung gestellt

KYBURZ will das Verfahren bewusst nicht patentieren lassen. Die gesamte Grundlagenforschung und alle Prozessschritte der eigenen Recycling-Anlage werden transparent gemacht. Ihre Beratung von Organisationen aus den Bereichen e-Mobilität und Recycling soll dazu beitragen, dass sich der neue Ansatz im Sinne einer effizienten Kreislaufwirtschaft auch in anderen Unternehmen und Ländern rasch durchsetzt.

**Nähere Informationen und Kontakt:**  
**Olivier Groux, R&D Projektmanager**  
**E-Mail: [olivier.groux@kyburz-switzerland.ch](mailto:olivier.groux@kyburz-switzerland.ch)**  
**[www.kyburz-switzerland.ch](http://www.kyburz-switzerland.ch)**



© WWU/MEET Judith Kraft

## Recycling: Tophema der Batterieforschung

**Autor:** Prof. Dr. Martin Winter | Universität Münster, MEET Batterieforschungszentrum und Forschungszentrum Jülich, Helmholtz-Institut Münster

**Aktuell dominiert die Lithium-Ionen-Batterie (LIB) den Markt. Sie vereint die entscheidenden Faktoren, die in Summe über die Markttauglichkeit einer Batterie bestimmen: eine hohe Leistung und Energiedichte, eine lange Lebensdauer, Sicherheit und geringe Kosten. Mit der Nachhaltigkeit ist in den vergangenen Jahren ein weiterer Parameter hinzugekommen, der die Batterieforschung entscheidend prägt. Um diese Faktoren zu berücksichtigen, konzentriert sich die Forschung – auch am MEET Batterieforschungszentrum der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster – parallel auf drei komplementäre Stränge.**

### Gleichklang von drei Forschungssträngen

Über die gesamte zirkuläre Wirtschaft hinweg spielt die Forschung an der Lithium-Ionen-Batterie eine entscheidende Rolle. Sie weiterzuentwickeln, ihre Energiedichte zu erhöhen und gleichzeitig kritische Rohstoffe wie etwa Kobalt und Nickel zu substituieren, sind dabei die wichtigsten Ziele. Doch Materialien mit Übergangsmetallen wie Mangan und Eisen, durch die Kobalt und Nickel ausgetauscht werden könnten, kämpfen derzeit noch mit mehreren Problemen: ihr Energiegehalt ist kleiner, ihre Stabilität schnell beeinträchtigt und

sie zeigen teilweise eine größere Löslichkeit im Elektrolyten. All das führt zu Nebenreaktionen in der Batterie, die ihre Leistung, Lebensdauer und Sicherheit beeinträchtigen, sodass weitere Forschung erforderlich ist.

Ein zweiter Forschungsstrang befasst sich mit der Entwicklung von Hochenergiebatterien jenseits der LIB. Konkret im Fokus stehen derzeit Lithium-Metall-Batterien, insbesondere mit Feststoffelektrolyt und/oder mit Schwefelkathode. Da die Lithium-Metall-Batterie eine höhere Energie als die Lithium-Ionen-Technologie verspricht, ist sie vor allem für den Einsatz in der Elektromobilität, in der

hohe Reichweiten gefragt sind, vielversprechend. Aktuell kämpft sie jedoch noch mit Sicherheits-Performance-Mängeln, die durch ganzheitliche Forschung gelöst werden müssen.

Noch in der Grundlagenforschung verankert ist der dritte, zukunftsweisende Zweig: die Forschung an und Entwicklung von lithiumfreien Batteriesystemen. Eine Ausnahme bildet hierbei die Natrium-Ionen-Batterie, die bisher allerdings hinsichtlich der Kosten und der Performanz noch nicht an die Lithium-Ionen-Batterie heranreicht. Daher gilt, Durchbrüche zunächst in der Materialforschung und in Laborzellen zu erreichen, bevor weitere Schritte wie zum Beispiel die Produktionsforschung eingeleitet werden, zumal die Produktionsschritte sehr ähnlich der LIB sind.

### Zirkuläre Wertschöpfung: Batterierecycling als Topthema

Über alle Forschungsansätze hinweg kommt dem Recycling und der zirkulären Wirtschaft eine wichtige Rolle zu. Bereits heute schreibt eine Richtlinie der Europäischen Union vor, dass die Hälfte einer Batterie recycelt werden muss. Oftmals wird dieser Anteil jedoch schon durch das Entfernen von Gehäuse und Komponenten erreicht, die meist aus Aluminium, Stahl oder Kunststoff bestehen. Dabei würde der Einsatz recycelter Materialien nicht nur die Kosten für die Ausgangsrohstoffe senken, sondern auch Energieeinsparungen in der Batterieproduktion ermöglichen. Indem Batterien bisher geschreddert, verbrannt und mit Säure behandelt werden, fehlt die notwendige Trennung der Materialien, auch sind die resultierenden Produkte ihr Reinheitsgrad ist nicht ausreichend, um sie in Batterien wiederzuverwenden.

Hinzu kommt, dass schon die Demontage von Batterien Herausforderungen birgt. Zahlreiche unterschiedliche Batteriesysteme verschiedener Hersteller existieren auf dem Markt. Wie die jeweilige Batterie im Inneren aufgebaut ist, wie ihr Zustand ist oder welche Rohstoffe in welcher Konzentration enthalten sind, ist von außen nicht zu erkennen. Das erschwert eine Vereinheitlichung und Automatisierung des Recyclingprozesses. Die Forschung an Batteriedesigns, die durch ein einfacheres Auseinanderbauen der Zellen ein effizienteres Recycling ermöglichen, nimmt daher — in Verbindung mit der Entwicklung entsprechender Prozessschritte — Fahrt auf. Mittelfristig wird es dann voraussichtlich möglich sein, bis zu 40 Prozent des Rohstoffbedarfs von Lithium und des derzeit noch benötigten Kobalts aus recycelten Batterien zu gewinnen. Und das ist erst der Anfang.



© WWU/MEET Judith Kraft

**Nähere Informationen & Kontakt:**  
**Universität Münster**  
**MEET Batterieforschungszentrum**  
[www.uni-muenster.de/MEET](http://www.uni-muenster.de/MEET)

# Herausforderung Lithium-Ionen-Batterie Recycling

Autoren: Stefan Doose, Julian K. Mayer, Dr. Peter Michalowski, Prof. Dr.-Ing. Arno Kwade |  
Technische Universität Braunschweig, Institut für Partikeltechnik & Battery LabFactory Braunschweig

**Lithium-Ionen-Batterien (LIB) nehmen zunehmend Einzug in das alltägliche Leben, insbesondere innerhalb von Konsumgütern und in der Elektromobilität. LIB sind dabei in der Lage auf relativ kleinem Bau- raum große Mengen an Energie ohne signifikante Kapazitätsverluste über eine große Lebensdauer zu speichern. Die chemische Energie wird hierbei beim Entladen in elektrische umgewandelt und entsprechend umgekehrt beim Laden. Hierbei lagern sich die Li-Ionen in die Kathode (Entladen) bzw. die Anode (Laden) ein und es kommt zu einem Elektronenfluss (Strom) über den angeschlossenen Verbraucher bzw. Stromerzeuger. Die verwendeten Elektroden enthalten eine Vielzahl von werthaltigen Stoffen, wie z.B. Lithium, Kobalt, Nickel, Mangan, Aluminium, Kupfer und Graphit, die am Ende des Batterielebens in den Kreislauf der Materialien zurückgeführt werden sollen.**

## Recycling

Das Recycling von LIB spielt nach dem Batterie- leben eine zentrale Rolle, um die werthaltigen Bestandteile in eine Kreislaufwirtschaft zu überfüh- ren. Die Hauptziele der Kreislaufwirtschaft sind die unbegrenzte Wiederverwendung von Materialien durch das Schließen des Produkt-Lebenszyklus<sup>4</sup> und die damit einhergehende reduzierte Abfallent- sorgung sowie die signifikante Reduzierung der Abhängigkeit von Primärmaterialquellen. Die hohe Diversität der in Batterien verbauten Komponenten führt zu einer aufwändigen Prozessgestaltung aus konventionellen Prozessen des Recyclings sowie spezielleren Prozessen zur Sekundäraktivmateri- algewinnung. Diese setzen sich grundlegend aus mechanischen, pyrometallurgischen und/oder hydrometallurgischen Prozessschritten und deren Kom- binationen zusammen. Die verwendeten Verfahren können in unterschiedlichen Weisen miteinander verknüpft werden. Jedoch stellt das übergeord- nete Ziel die Erreichung von hohen Gesamtrecyc- lingquoten von >70% und der nahezu gesamten stofflichen Rückgewinnung der enthaltenen Metalle (bis zu >95% werden in der geplanten EU Directive angestrebt) dar.

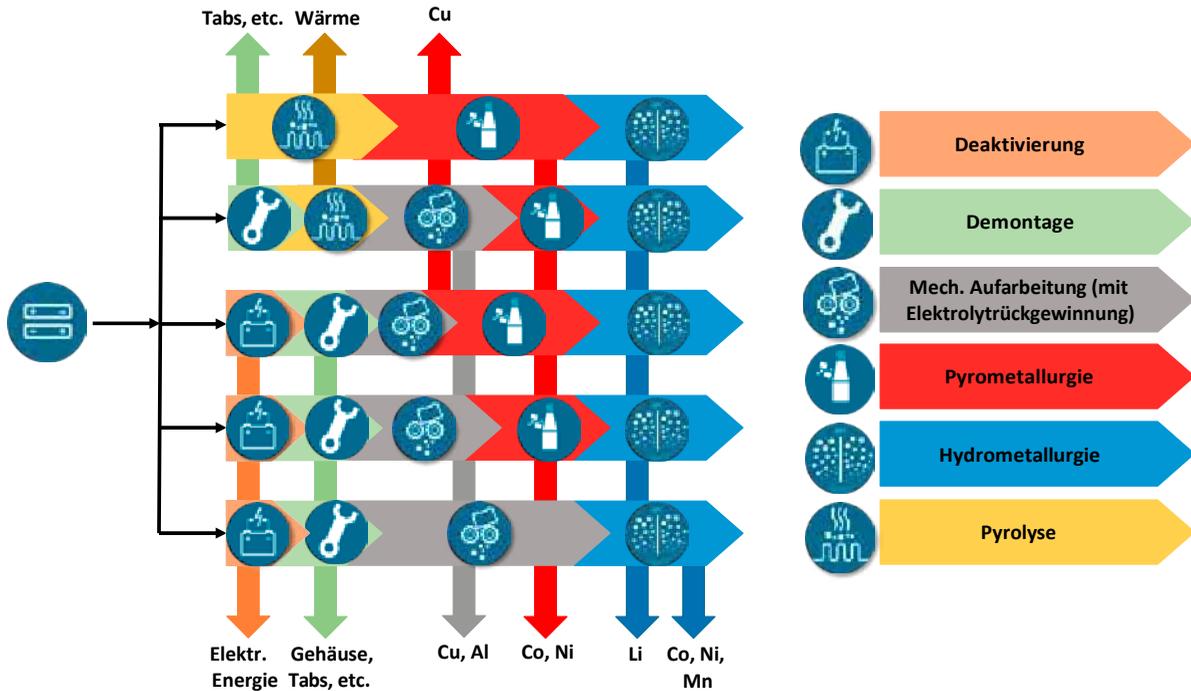
## Thermische Behandlung

Einen bereits industriell etablierten Ansatz stellt die größtenteils thermische Behandlung der Batterie- zellen dar. Die Batteriemodule bzw. -zellen werden nach der Entfernung von Gehäuse, Kabeln und Rahmen bei Temperaturen von 400 °C zur Entfernung von polymeren und Elektrolytbestand- teilen vorbehandelt. Im weiteren Prozess kommen Temperaturen bis 1.450°C zum Einsatz, die die

Batteriezellmasse zu einer Legierung, Schlacke und weiteren Komponenten umwandelt. Mit Hilfe von intensiven nasschemischen Prozessen können im Anschluss Metalle wie Kupfer, Kobalt und Nickel in eine erneut verwendbare Form für die Katho- denmaterialherstellung überführt werden. Stoffe wie Graphit, Lithium oder Mangan werden nur mit äußerst großem Aufwand bzw. überhaupt nicht auf diesem Weg wiedergewonnen.

## Mechanische Aufbereitung

Ein weiterer attraktiver Ansatz zur Verarbeitung ist die Integration von mechanischen Aufbereitungs- schritten in das Batterierecycling. Die Batterien werden dabei zuerst demontiert sowie mittels elek- trischer Entladung oder autothermischer Pyrolyse deaktiviert. Folgend werden die Batteriemodule oder -zellen über Zerkleinerungs-, Trocknungs- so- wie Sortier- und Klassierschritte in ihre wertstoff- haltigen Bestandteile aufgetrennt. Zum Teil können auch hierbei noch Schritte mit hohen Temperaturen zur Entfernung von Elektrolytresten sowie Binder- und Polymerbestandteilen integriert werden. Ein alternativer Ansatz verfolgt die Demontage der Zellen bis auf Elektroden- und anschließende nasse Auftrennung der Materialien. Die abgetrenn- te metallhaltige Elektrodenbeschichtung (Li, Co, Ni, Mn, C) kann im Folgenden idealerweise über nas- schemische Prozesse zu neuen Materialien für die Aktivmaterialherstellung aufgearbeitet werden. Die Prozesstiefe der unterschiedlichen Verfahrens- schritte kann dabei variabel gestaltet sein. Auch diese Prozesse konnten bereits im Pilot- sowie Industriemaßstab umgesetzt werden.



Kombinationsmöglichkeiten und Prozessstufen beim Recycling von LIB, die bereits in Pilot- oder industrieller Anwendung sind. (Quelle: Doose, S.; Mayer, J.K.; Michalowski, P.; Kwade, A. Challenges in Ecofriendly Battery Recycling and Closed Material Cycles: A Perspective on Future Lithium Battery Generations. *Metals* 2021, 11, 291. <https://doi.org/10.3390/met11020291>)

### Sicherheit

Einen keinesfalls zu vernachlässigender Aspekt des Recyclings stellt die Sicherheit im Umgang mit LIB während der Prozesse dar. Hohe Energie- und Leistungsdichten, hohe Systemspannungen von bis zu 800 V und gesundheitsgefährdende Materialien bedingen elektrische, chemische und thermische Gefahren. Externe Kurzschlüsse durch direkte Kontaktierung der Stromableiter müssen durch geeignete Sicherheitsmaßnahmen ausgeschlossen werden, da diese zum elektrischen Schock führen könnten. Vor der direkten Handhabung oder der Demontage von Batteriesystemen/-modulen müssen diese mit geeignetem Gerät bzw. Methode entladen und final kurzgeschlossen werden. Externe, aber auch interne Kurzschlüsse können zur Entwicklung von Joulescher Wärme durch eine hohe Stromstärke bei kleinen Leiterquerschnitten führen, wodurch Temperaturen von weit über 120 °C erreicht werden können. Diese Grenztemperatur kann den Start von exothermen, d.h. sich selbst verstärkenden chemischen Reaktionen zwischen Batteriekomponenten bedingen, die zu Oberflächentemperaturen der Zellen von bis zu 800 °C und für den Menschen sowie die Umwelt kritische Gase und Partikel führen können. Generell muss bei der Verarbeitung auf die Vermeidung von Stäuben und Inhalation dieser sowie der Vorbeugung des direkten Materialkontakts geachtet werden.

### Post-LIB Technologie

In zukünftigen Batteriegenerationen können neue Materialien zum Einsatz kommen. Na-Ionen können eine gut verfügbare Alternative zu Li-Ionen darstellen. Allerdings liegt hier die Energiedichte niedriger, was möglicherweise die Anwendungsfelder einschränkt. Zudem müssen die Materialien in den Elektroden entsprechend angepasst werden. Eine weitere Möglichkeit ist, den bisher eingesetzten flüssigen Elektrolyt durch Feststoffe wie bspw. Oxide, Sulfide oder Polymere zu ersetzen. Dies verspricht durch Einsatz einer dünnen Lithiumschicht statt dicken Graphitschicht potenziell höhere Energiedichten und zudem durch Verzicht auf dem leicht entflammaren Elektrolyten bessere Sicherheit. Unabhängig von der genauen Zusammensetzung der zukünftig erwarteten Technologien ist zu erwarten, dass bisherige Prozesse des LIB-Batterierecyclings adaptiert und auf jeden spezifischen Fall je nach Zusammensetzung angepasst werden müssen. Zentraler Baustein für ein erfolgreiches Recycling wird die Einführung eines „Batteriepasses“ sein, der Informationen über Zusammensetzung oder auch bisherigen Einsatzspektrum geben kann.

#### Nähere Informationen & Kontakt:

**Stefan Doose M.Sc.**

**Research Associate Battery Process Engineering**  
**s.doose@tu-braunschweig.de**

**Web: [www.ipat.tu-bs.de/de](http://www.ipat.tu-bs.de/de)**

# Recycling von LI-IO-Batterien

## From cradle-to-cradle

**Autor: Dr. Fabian Jeschull | Karlsruher Institut für Technologie (KIT),  
Institute for Applied Materials - Energy Storage Systems (IAM-ESS)**

**Lithium-Ionen-Batterien (LIB) nehmen zunehmend Einzug in das alltägliche Leben, insbesondere innerhalb von Konsumgütern und in der Elektromobilität. LIB sind dabei in der Lage auf relativ kleinem Bau- raum große Mengen an Energie ohne signifikante Kapazitätsverluste über eine große Lebensdauer zu speichern. Die chemische Energie wird hierbei beim Entladen in elektrische umgewandelt und entsprechend umgekehrt beim Laden. Hierbei lagern sich die Li-Ionen in die Kathode (Entladen) bzw. die Anode (Laden) ein und es kommt zu einem Elektronenfluss (Strom) über den angeschlossenen Verbraucher bzw. Stromerzeuger. Die verwendeten Elektroden enthalten eine Vielzahl von werthaltigen Stoffen, wie z.B. Lithium, Kobalt, Nickel, Mangan, Aluminium, Kupfer und Graphit, die am Ende des Batterielebens in den Kreislauf der Materialien zurückgeführt werden sollen.**

Nach Massenanteilen getrennt, tragen Anode und Kathode ca. mit 14-19 bzw. 25-30 Gewichtsprozent (Gew.-%), der Stromableiter aus Aluminium (5-7 Gew.-%) und Kupfer (5-9 Gew.-%), das Gehäuse (20-25 Gew.-%), Elektrolyt (10-15 Gew.-%) sowie der Separator (ca. 4 Gew.-%) zur Gesamtmasse der Batterie bei. Der Lithiumgehalt ist mit ca. 14 g pro kg Batterie (1,4 Gew.-%) vergleichsweise gering. Auf den ersten Blick sind es vor allem die Stromableiter und die Kathode, die kostbare Elemente wie Kobalt und Nickel enthalten, die nach der Lebensdauer der Batterie wirtschaftlich interessant sind und eine Wiederverwertung von Hochleistungsbatterien, allen voran Traktionsbatterien aus Elektroautos, in Zukunft profitabel machen.

Bis neue LIB aus Alten hergestellt werden, wird allerdings noch einige Zeit vergehen. Ein Synthesepapier der Öko-Initiative e.V. im Auftrag des Think Tanks Agora Verkehrswende<sup>2</sup> kommt beispielsweise zum Ergebnis, dass 2030 erst 10% des Kobaltbedarfs durch Sekundärmaterialien aus recycelten Fahrzeugbatterien gedeckt werden wird (2050 ca. 40%), was aus der längeren Nutzungsdauer von Traktionsbatterien im Vergleich zu Gerätebatterien folgt. Immerhin dürfte die Sammelquote von Hochleistungsbatterien deutlich höher liegen als die von Gerätebatterien (in Deutschland belief sich die Sammelquote laut Umweltbundesamt 2019 auf 52,2%<sup>3</sup>).

Nach heutigem Stand basieren die meisten Verfahren zumindest in einem der Kernprozessschritte auf einem Pyrolyseverfahren<sup>4</sup>. Ein prominentes Beispiel ist das pyrometallurgische Verfahren von Umicore in dem die Altbatterien eingeschmolzen werden. Der flüchtige und brennbare Elektrolyt, Graphit aus

der Anode sowie Kunststoffkomponenten wirken als intrinsischer Brennstoff. Das Hauptprodukt ist eine Legierung aus Kobalt, Nickel und Kupfer mit Verunreinigungen von Eisen und Mangan. Die resultierende Legierung muss allerdings noch weiter getrennt und aufgereinigt werden, um den hohen Reinheitsanforderungen bei der Materialsynthese gerecht zu werden. Welcher Grad an Verunreinigungen noch akzeptabel ist, d.h. sich nicht negativ auf die Batterielebensdauer auswirkt, ist nach derzeitigem Stand noch nicht vollständig geklärt.

Als Nebenprodukt fällt Aluminium- und Lithiumhaltige Schlacke bzw. Schwarzmasse an<sup>5</sup>. Sie kann prinzipiell durch anschließende hydrometallurgische Verfahren (nasschemisch) aufgearbeitet werden, wodurch die Recyclingquote noch einmal gesteigert werden kann. Laut einer Studie im Auftrag der Swedish Energy Agency von 2019 wird Schwarzmasse in Europa zur weiteren Prozessierung eher exportiert als weiterverarbeitet<sup>6</sup>. Die enthaltenen Mengen an Lithium betragen nur wenige Prozent, wodurch eine Extraktion nur ab einem gewissen Recyclingvolumen profitabel durchgeführt werden kann. Zum Teil endet Schwarzmasse daher auch als Baustoff z.B. im Straßenbau. Bedenkt man den Arbeits- und Energieaufwand oder den gewaltigen Wasserverbrauch bei der Förderung von Lithium und Aluminium<sup>2</sup>, ist die stofflichen Verwertung daher eher kritisch zu betrachten.

Ein entscheidender Vorteil der Hydrometallurgie ist, dass die resultierenden Sekundärrohstoffe als Sulfate oder Carbonate bei der Fällung der gelösten Metallionen anfallen, welche auch gleichzeitig als Ausgangsstoffe bei der Materialsynthese von Lithium-Übergangsmetalloxiden, die als Kathoden-

materialien eingesetzt werden, wiederverwendet werden können. Der hydrometallurgische Ansatz ist auch deshalb attraktiv, weil durch entsprechende vorgeschaltete Prozessschritte weitere Batteriekomponenten abgetrennt und wiederverwertet werden können. So werden beim LithoRec Verfahren (Duesenfeld GmbH) durch die Kombination von mechanischer und anschließend hydrometallurgischer Aufarbeitung, Recyclingquoten von bis zu 91% erreicht<sup>8</sup>. Hierbei werden die Altbatterien zuvor entladen und anschließend geschreddert. Auf diese Weise können auch wesentliche Bestandteile des flüssig-organischen Elektrolyten (z.B. durch Destillation) zurückgewonnen werden. Problematisch ist das Elektrolytsalz  $\text{LiPF}_6$ , dass in Kontakt mit Wasser Fluorwasserstoffsäure (HF) bildet und nicht nur extrem korrosiv, sondern auch hochgiftig ist und deshalb frühzeitig dem Prozess entzogen werden muss. Gleichzeitig erlaubt eine Vermeidung von Hochtemperaturprozessen Einsparungen bei den  $\text{CO}_2$ -Emissionen<sup>7</sup>.

Eine rein mechanische Aufarbeitung führt im allgemeinen zu niedrigeren Recyclingquoten. Durch thermische Vorbehandlung, wie sie von der Redux Recycling GmbH (Saubermacher AG) durchgeführt wird, lassen sich allerdings gesteigerte Recyclingquoten von bis zu 70% erreichen, in dem Elektrodenbeschichtungen von Stromableiter und Separator gelöst und Elektrolytbestandteile entfernt werden. Bei der anschließenden mechanischen Trennung lassen sich dann beispielsweise die ferromagnetischen Elektrodenaktivmaterialien zurückgewinnen. Weiter Prozessschritte (z.B. hydrometallurgisch) sind allerdings notwendig. Am Fraunhofer-Institut für Silicatforschung (ISC) werden zudem neue Zerkleinerungskonzepte im Rahmen des Projekts „AutoBatRec2020“ untersucht, wie die elektrohydraulische Zerkleinerung mit Hilfe von Druckwellen<sup>9</sup>.

Einen anderen Weg beschreitet beispielsweise OnTo Technology<sup>9</sup>, deren Prozess das Ziel verfolgt, das Kathodenmaterial zurückzuerhalten ohne es vollständig zu zersetzen. Im Anschluss sollen Lithiumgehalt und Kristallstruktur regeneriert werden

um damit eine komplette Resynthese des Kathodenmaterials zu vermeiden und somit den Energieverbrauch, sowie  $\text{CO}_2$ - und Feinstaubemissionen zu senken. Der Lithiumgehalt des abgetrennten Recyclats lässt sich z.B. durch hydrothermal Verfahren im Autoklaven und dessen Kristallstruktur durch kurzes Sintern wieder herstellen. Andererseits kann direktes Recycling mit einem Mehraufwand bei der Zellzerlegung und Trennung der Elektrodenbestandteilen verbunden sein. Wie die KYBURZ Switzerland AG kürzlich demonstrierte sind automatisierte Zellzerlegungsanlagen durchaus umsetzbar<sup>10</sup>. Die größte Herausforderung ist hierbei die Entwicklung von Anlagenprozesse, die in der Lage sind unterschiedlichste Zellformate und Zellchemien zu zerlegen und zu trennen.



Elektroden aus einer ausgedienten Autobatterie, mitte: Elektrodenaktivmaterial nach der Trennung, rechts: Aluminiumstromableiter nach der Trennung. © KIT

In Bezug auf Regenerierungsprozesse ist zudem zu beachten, dass diese nicht zwangsläufig auf alle Kathodenmaterialien im Umlauf gleichermaßen anwendbar sind. Außerdem bestehen Kathoden oftmals aus Materialgemischen deren Zusammensetzung über die Zeit an neue Materialentwicklungen angepasst wird. Direktes Recycling scheint daher vor allem dann sinnvoll, wenn ein definierter Batterietyp vorliegt und recycelt werden soll.

**Kontakt und nähere Informationen unter:**  
**fabian.jeschull@kit.edu**  
**www.iam.kit.edu/ess**

<sup>[1]</sup> Pressemitteilung der Europäischen Kommission am 10. Dezember 2020 „Grüner Deal: Nachhaltige Batterien für eine kreislauforientierte und klimaneutrale Wirtschaft“ (IP/2020/2312)

<sup>[2]</sup> Öko-Institut (2017): Strategien für die nachhaltige Rohstoffversorgung der Elektromobilität. Synthesepapier zum Rohstoffbedarf für Batterien und Brennstoffzellen.

<sup>[3]</sup> <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/altbatterien#im-jahr-2019-hat-deutschland-alle-von-der-eu-geforderten-mindestziele-erreicht> (zuletzt aufgerufen am 29.05.2021)

<sup>[4]</sup> W. Lv, Z. Wang, H. Cao, Y. Sun, Y. Zhang, Z. Sun, A Critical Review and Analysis on the Recycling of Spent Lithium-Ion Batteries, ACS Sustain. Chem. Eng. 6 (2018) 1504–1521.

<sup>[5]</sup> Öko – Institut e.V., Ökobilanz Libri, 2011, Entwicklung eines realisierbaren Recyclingkonzepts für die Hochleistungs-batterie zukünftiger Elektrofahrzeuge.

<https://www.oeko.de/uploads/oeko/oekodoc/1499/2011-068-de.pdf> (zuletzt aufgerufen am 30.05.2021)

<sup>[6]</sup> Hans Eric Melin (2019), State-of-the-art in reuse and recycling of lithium-ion batteries – A research review, <https://www.energimyndigheten.se/globalassets/forskning-innovation/overgripande/state-of-the-art-in-reuse-and-recycling-of-lithium-ion-batteries-2019.pdf> (zuletzt aufgerufen am 30.05.2021)

<sup>[7]</sup> <https://www.duesenfeld.com/recycling.html> (zuletzt aufgerufen am 30.05.2021)

<sup>[8]</sup> Pressemitteilung vom 28.10.2018 des Fraunhofer-Institut für Silicatforschung (ISC) <https://www.isc.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/autobatre2020-altbatterien-intelligent-wiederverwerten.html> (zuletzt aufgerufen am 31.05.2021)

<sup>[9]</sup> <https://www.onto-technology.com/>

<sup>[10]</sup> <https://battery-recycling.kyburz-switzerland.ch/>



Die Daimler Truck AG hat sich zum Ziel gesetzt bis zum Jahr 2039 in Europa, Japan und Nordamerika nur noch Neufahrzeuge mit CO<sub>2</sub>-neutralem Fahrbetrieb („tank-to-wheel“) anzubieten. © Daimler Truck AG

# Mit Batterie und Brennstoffzelle zum CO<sub>2</sub>-neutralen Transport

**Die Daimler Truck AG bekennt sich voll und ganz zum Pariser Klimaschutzabkommen und damit zur Dekarbonisierung des Straßengüterverkehrs und anderen Bereichen. Auf den Punkt gebracht bedeutet das für uns als Lkw- und Bushersteller: Ein CO<sub>2</sub>-neutraler Transport auf den Straßen bis 2050. Das ist unser ultimatives Ziel und darauf basiert unsere Elektrifizierungsstrategie.**

Bereits bis zum Jahr 2022 soll unser Fahrzeugportfolio in den Hauptabsatzregionen Europa, USA und Japan Serienfahrzeuge mit batterieelektrischem Antrieb umfassen. Ab 2027 wollen wir unser Fahrzeugangebot zusätzlich um Serienfahrzeuge mit wasserstoffbasiertem Brennstoffzellenantrieb ergänzen. Da für eine vollständige Flottenerneuerung bis 2050 rund zehn Jahre nötig sind, haben wir die Ambition bis zum Jahr 2039, in Europa, Japan und Nordamerika nur noch Neufahrzeuge anzubieten, die im Fahrbetrieb („tank-to-wheel“) CO<sub>2</sub>-neutral sind.

## [Unsere Technologiestrategie auf dem Weg zum CO<sub>2</sub>-neutralen Transport](#)

Weshalb Batterie und wasserstoffbasierte Brennstoffzelle? Dies sind die wirklich lokal CO<sub>2</sub>-neutralen Technologien, die auch auf lange Sicht das Potenzial bieten, sich am Markt durchzusetzen. Mit dieser Kombination können

wir unseren Kunden je nach Anwendungsfall die besten Fahrzeug-Optionen anbieten. Je leichter die Ladung und je kürzer die Distanz, desto eher wird die Batterie zum Einsatz kommen. Je schwerer die Ladung und je länger die Distanz, desto eher wird die Brennstoffzelle das Mittel der Wahl sein.

## [Mit großen Schritten Richtung Serie: Unsere Fahrzeuge mit batterieelektrischem Antrieb](#)

Beim Batterie-Antrieb sind wir schon sehr weit – und das in verschiedensten Anwendungsbereichen. Mit mehreren hundert Fahrzeugen in Kundenhand haben wir in den vergangenen Jahren eine umfassende, praxisbezogene E-Expertise gewonnen und können insgesamt deutlich über zehn Millionen mit batterieelektrischen Lkw und Bussen weltweit von Kunden gefahrene Kilometer vorweisen.

Einige Beispiele: Unseren leichten E-LKW von FUSO haben wir bereits 2017 in Kleinserie auf den Markt gebracht. Der schwere Lkw Mercedes-Benz eActros für den Verteilerverkehr ist seit über zwei Jahren in der Praxiserprobung und geht in der zweiten Jahreshälfte in Serie. Der Start der Serienfertigung des Niederflur-Lkw Mercedes-Benz eEconic ist für das Jahr 2022 angedacht.

Darüber hinaus haben wir letztes Jahr zum ersten Mal einen Ausblick auf einen rein batterieelektrisch angetriebenen Fernverkehrs-Lkw gegeben: den Mercedes-Benz eActros LongHaul mit einer Reichweite von etwa 500 Kilometern. Er soll regelmäßige Fahrten auf planbaren Routen energieeffizient abdecken. Die Serienreife des eActros LongHaul sehen wir für das Jahr 2024 vor.

### Wasserstoffbasierter Brennstoffzellenantrieb für anspruchsvolle Fernverkehrsaufgaben

Letztes Jahr feierten wir die Weltpremiere des Brennstoffzellen-Konzept-Lkw Mercedes-Benz GenH2 Truck. Mit dem GenH2 Truck zeigen wir, welche konkreten Technologien wir mit voller Kraft vorantreiben, damit schwere Brennstoffzellen-Lkw flexible und anspruchsvolle Fernverkehrseinsätze mit Reichweiten von bis zu 1.000 Kilometer und mehr mit einer Tankfüllung fahren können. In diesem Jahr kommen die ersten Prototypen des Fahrzeugs auf die Straße, Kundenerprobungen sind für 2023 geplant und ab 2027 kann mit den ersten

Serienfahrzeugen des GenH2 Truck gerechnet werden. Die Leistungsfähigkeit des Fahrzeugs soll dabei dank des Einsatzes von flüssigem anstatt gasförmigem Wasserstoff aufgrund der deutlich höheren Energiedichte gleichauf mit der eines vergleichbaren konventionellen Diesel-Lkw liegen.

### Drei Schlüsselfaktoren für den Erfolg elektrischer Antriebe

Allein mit unseren elektrischen Fahrzeugen, zu denen wir auch eine entsprechende Beratung anbieten, ist es jedoch nicht getan. Die Transportwende ist sehr komplex und eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe: Denn es braucht nicht nur eine ausgereifte Fahrzeugtechnologie. Es braucht darüber hinaus auch Wirtschaftlichkeit und Infrastruktur: Kunden müssen mit CO2-neutralen Fahrzeugen Geld verdienen und sie müssen sie natürlich auch laden bzw. betanken und im Transportalltag unkompliziert nutzen können. Daher ist hier auch ein politischer Rahmen nötig, der sowohl Nachfrage als auch Wirtschaftlichkeit sicherstellt.

### Über die Daimler Truck AG

Die Daimler Truck AG ist einer der weltweit größten Nutzfahrzeug-Hersteller, mit weltweit über 35 Hauptstandorten und rund 100.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Das Unternehmen vereint sieben Fahrzeug-Marken unter einem Dach.



© Daimler Truck AG



Peter Smodej  
Daimler Truck AG Stuttgart  
© Daimler Truck AG

[www.daimler-truck.com](http://www.daimler-truck.com)



Die Zukunft braucht Vielfalt. ©Shell

## Es gibt keinen Königsweg

Autorin: Katrin Satizabal | Shell Austria Gesellschaft m.b.H.

**Der Verkehrssektor spielt eine wichtige Rolle, wenn es darum geht, die Treibhausgasemissionen auf dem Weg zu Netto Null Emissionen zu senken. Etwa neun Prozent der weltweiten Emissionen entstehen heute im Straßentransport. Die Dekarbonisierung des Sektors ist allerdings eine komplexe Aufgabe und sowohl Frage der Technologien, der Anwendungsbereiche, der Wirtschaftlichkeit bzw. Wettbewerbsfähigkeit als auch des Timings.**

Es gibt diverse Technologiepfade. Gemein ist ihnen, dass sie ihren Anfang in erneuerbaren Energien nehmen: Wind, Solar und Biomasse. Diese Energie gilt es sprichwörtlich auf die Straße zu bringen — entweder als Elektron über Batterieantrieb mit Strom aus dem Netz oder der Brennstoffzelle mit Wasserstoff gefüttert oder als Molekül für die uns vertrauten Verbrennungsmotoren. Da geht es um Biokraftstoffe der neuen Ge-

neration und auch Bio-LNG; oder perspektivisch vielleicht eFuels, wo die meisten an synthetischen Diesel denken, aber auch eLNG durchaus denkbar ist und sogar kostengünstiger sein könnte.

Tatsache ist, wir alle — kommunale und gewerbliche Fuhrparkbetreiber, Lkw-Hersteller und Energieunternehmen — können den Hebel nicht über Nacht umlegen. Zu unterschiedlich sind Techno-

logiereife für unterschiedliche Anforderungen, zu unterschiedlich ist der Ausbaugrad der Infrastruktur und zu unterschiedlich sind die Betriebskosten der Varianten.

Als Partner der Transportbranche richtet sich Shell danach aus, was Kunden für welche Art der Anwendung brauchen und für sie wirtschaftlich ist. Das hängt wesentlich davon ab, welche Technik für welche Anwendung zu welchem Zeitpunkt ausgereift ist bzw. sein wird.

Für alle Anwendungen gilt erst einmal: Der EURO VI Diesel wird noch geraume Zeit Begleiter bleiben. Daher ist es heute wichtig, Effizienzsteigerungen in Fahrzeug- und Antriebstechnologien einschließlich Fahrweise und Verhaltensoptimierung zu forcieren.

Biokraftstoffe leisten den bisher größten Beitrag zur Treibhausgasreduktion im Güterverkehr. Shell glaubt, dass es mit (co)hydrierten Biokomponenten aus Abfallstoffen noch besser geht.

#### Ausbau der e-Ladeinfrastruktur

Auf kurzer Strecke und bei leichteren Fahrzeugen legt die Batterieelektrik zu. Nicht nur im Privatbereich. Davon zeugen etwa elektrische Lieferfahrzeuge, die den Menschen Pakete zustellen. Shell baut die e-Ladeinfrastruktur massiv aus. Weltweit soll das Ladenetze für Elektrofahrzeuge von heute mehr als 60.000 Ladepunkten auf rund 500.000 bis 2025 wachsen. E-Mobilität muss auch anwenderfreundlich sein, z.B. durch nutzerfreundlichen Zugriff auf tausende Ladepunkte via Shell Recharge App, e-Ladeinstallationen im Betrieb und zuhause. E-Fahrzeugbetreiber müssen sich auch auf Effizienz und Zuverlässigkeit der Aggregate verlassen können, wozu e-Fluids, wie Shell sie entwickelt hat, einen wesentlichen Beitrag leisten.

Auch Wasserstoff für leichte Anwendungen scheint weit genug, dass er es mit etwas Kreativität und Partnerschaften auf die Straße schaffen kann. Shell treibt dazu im H2Mobility Joint Venture in Deutschland den Wasserstoff-Tankstellenbau voran mit heute 87 Stationen insgesamt, von denen 37 an Shell Standorten sind. Mit der Beteiligung am Next Mobility Accelerator Consortium in Bayern will Shell zusammen mit den Firmen MaierKorduletsch und Paul die Herstellung von grünem Wasserstoff, Aufbau einer Tankinfrastruktur und Logistik sowie Bau bzw. Umbau, Vermarktung und Wartung von Wasserstoff-Nutzfahrzeugen vorantreiben.

Für schwerere Lkw und große Reichweiten sind Batterien und Brennstoffzellen dagegen heute

noch keine Option - Batterien sind zu groß und zu schwer und Brennstoffzellen-Modelle der schweren Lkw-Klasse noch nicht marktreif. Große Serien werden erst in den 2030ern erwartet.

Bis dahin will Shell führend sein in der Herstellung und dem Vertrieb von grünem Wasserstoff und entwickelt die nötigen Schritte vom Einstieg in Windenergie über Ausbau der Elektrolysekapazität bis zur Entwicklungszusammenarbeit mit Lkw-Herstellern für die Verbraucherseite. H2Accelerate ist so eine Kooperationsplattform, wo Shell gemeinsam mit Daimler Truck AG, IVECO, OMV und Volvo Group die Voraussetzungen für den Massenmarktausbau von Wasserstoff-Lkw in Europa schaffen will.

Allerdings brauchen Logistiker und Speditionen schon heute CO<sub>2</sub>-ärmere Lösungen. Immer mehr Auftraggeber und letztlich auch Endkunden verlangen das unter Eindruck von Klimadebatte und spürbarem Klimawandel. Genau hier kann verflüssigtes Erdgas, also LNG, einen wesentlichen Beitrag leisten. Fossiles LNG kann bis zu 22% CO<sub>2</sub> sparen gegenüber Diesel — mit Bio-Methan / Bio-LNG sogar CO<sub>2</sub>-neutral. Das unterstützt Shell mit rasantem Zubau von LNG-Tankstellen und Aufbau der Lieferkette für CO<sub>2</sub>-neutrales LNG — vor allem in Deutschland, aber auch in weiten Teilen des restlichen West-Europas.

#### Passende Voraussetzungen schaffen

Damit sich unterschiedliche Antriebslösungen in einem Land entwickeln und etablieren können, braucht es Technologieoffenheit und geeignete Rahmenbedingungen nicht nur für E-Mobilität und Wasserstoff, sondern auch für LNG, Bio-LNG, eFuels etc. Im freien Wettbewerb sollen die diversen klimaschonenden Alternativen ihre Rolle am Markt und beim Kunden einnehmen können. Es gibt also keinen Königsweg. Die Zukunft braucht Vielfalt und das auf lange Sicht. Die neuen Alternativen kommen, um zu bleiben.

**Nähere Informationen & Kontakt:**  
**Shell Austria Gesellschaft m.b.H.**  
**Carmen Hausner, Communications**  
**E-Mail: Shell-Austria-Press@shell.com**

