



# Innovative Recyclingtechnologien für Industriebatterien

Ergebnisse des Fachgesprächs  
vom 24. Februar 2022

Ergebnisse des Fachgesprächs: Innovative Recyclingtechnologien für Industriebatterien

Autorin:

Dr.-Ing. Ulrike Lange, VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH

Die Dokumentation wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz erstellt.

Redaktion:

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE)

Bülowstraße 78

10783 Berlin

Tel. +49 30-2759506-0

[zre-info@vdi.de](mailto:zre-info@vdi.de)

[www.ressource-deutschland.de](http://www.ressource-deutschland.de)

# Innovative Recyclingtechnologien für Industriebatterien

Ergebnisse des Fachgesprächs vom  
24. Februar 2022

# INHALTSVERZEICHNIS

1	PROGRAMM	3
2	EINFÜHRUNG	4
3	MENGENENTWICKLUNG VON NEUEN INDUSTRIEBATTERIEN	5
4	REGULATORISCHE ENTWICKLUNGEN FÜR INDUSTRIE- BATTERIEN	7
5	ENTWICKLUNGEN DES RECYCLINGMARKTS	9
	5.1 Entwicklung von Recyclingkapazitäten	9
	5.2 Entwicklung von Recyclingmengen und Zusammensetzung	9
	5.3 Abschätzung von Investitionsbedarfen	10
	5.4 Innovative Recyclingtechnologien	11
	5.5 Einsatz von Sekundärrohstoffen aus dem Batterierecycling	12
6	ZUSAMMENFASSUNG	13

## 1 PROGRAMM

- Moderation Dr. Martin Vogt, Geschäftsführer, VDI Zentrum Ressourceneffizienz
- Top 1 **Recycling von Lithium-Ionen-Batterien: Chancen und Herausforderungen für Europa**  
Dr. Christoph Neef, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)
- Top 2 **Problemstellung Lithium-Ionen-Batterien-Verwertung**  
Georgios Chryssos, GRS Batterien
- Top 3 **Diskussionsrunde Teil I**
- Top 4 **Umweltfreundliches Recycling von Lithium-Ionen-Batterien**  
Julius Schumacher, Duesenfeld GmbH
- Top 5 **Industrielle Demontage von Batteriemodulen und E-Motoren: DeMoBat**  
Eduard Gerlitz, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), wbk Institut für Produktionstechnik
- Top 6 **Diskussionsrunde Teil II**

## 2 EINFÜHRUNG

Am 24. Februar 2022 fand ein Fachgespräch zum Thema „Innovative Recyclingtechnologien von Industriebatterien“ mit 16 Teilnehmerinnen und Teilnehmern aus Forschung, Industrie, Politik und fachlichen Netzwerken statt. Hierzu hatte das VDI Zentrum Ressourceneffizienz eingeladen. Die Teilnehmenden des Fachgesprächs diskutierten im Zuge dessen, welchen Herausforderungen sich Agierende der Wertschöpfungskette „Industriebatterien“ stellen müssen, um die notwendige Hochskalierung der Recyclingkapazitäten vorrangig von Lithium-Ionen-Batterien erfolgreich umzusetzen.

Zur Einordnung des Begriffs der Industriebatterie wird für die vorliegende Dokumentation der § 3 (5), Batteriegesetz herangezogen. Entsprechend werden Industriebatterien als „Batterien, die ausschließlich für industrielle, gewerbliche oder landwirtschaftliche Zwecke, für Elektrofahrzeuge jeder Art oder zum Vortrieb von Hybridfahrzeugen bestimmt sind“, festgelegt.

### 3 MENGENENTWICKLUNG VON NEUEN INDUSTRIE-BATTERIEN

Zu Beginn des Fachgesprächs wurde zunächst dargestellt, dass insbesondere aufgrund der Elektromobilität als wesentlichen Treiber hohe zweistellige Wachstumsraten des Batteriemarkts in Europa zu erwarten sind. Dies betrifft nicht zuletzt neue Industriebatterien aus derzeit stark ansteigenden Produktionskapazitäten in Europa. So wurde u. a. angemerkt, dass beim Anfahren und Einstellen der Prozesse Ausschüsse verursacht würden, noch bevor eine stete Produktion erfolgt. Diese Makulaturen können bis zu 50 Prozent des Anlagenoutputs betragen und stellen bereits jetzt einen großen Anteil der zu recycelnden Industriebatterien dar. Und auch in Zukunft werden diese Produktionsabfälle die Recyclingmengen maßgeblich mit beeinflussen.

Weitere wesentliche Mengen an Neubatterien stammen unterdessen aus Importen aus dem asiatischen Raum und bedeuten für den europäischen Markt einen nicht zu vernachlässigenden Ressourcenimport. Der Wertschöpfungsprozess der Industriebatterien ist jedoch lückenhaft. Die Verbringung von Altfahrzeugen in außereuropäische Länder ist bereits seit Dekaden ein bekanntes Problem. Aufgrund dessen wird davon ausgegangen, dass sich die Verbringung von Elektro-Altfahrzeugen in gleicher Weise etablieren wird. Dieser Prozess bedeutet wiederum einen Ressourcenverlust für den europäischen Raum. An dieser Stelle sehen daher alle Teilnehmenden akuten Handlungsbedarf, um die - auch vor dem aktuellen politischen Hintergrund - dringend benötigten Rohstoffe in der europäischen Wertschöpfungskette zu halten.

Lithium-Ionen-Batterien machen bei Neuinverkehrbringungen einen Mengenteil von ca. 40 Prozent aus und werden auch in den nächsten zehn Jahren die dominierende Batterietechnologie sein. Hierfür sprechen ebenso die aktuell getätigten Investments in neue Produktionsanlagen, denn bereits bei der Anlagenplanung erfolgt eine Festlegung auf die Zellchemie. Eine nachträgliche Umstellung ist nicht nur technisch sehr aufwändig, sondern zudem äußerst kostenintensiv.

Andere Batterietypen wie beispielsweise Natrium- und Feststoffbatterien werden ebenfalls einer Weiterentwicklung unterliegen, allerdings werden sie im Vergleich zu den Lithium-Ionen-Batterien eine untergeordnete Rolle einnehmen. Es wurde jedoch auch darauf verwiesen, dass insbesondere aufgrund der sich derzeit rasant entwickelnden Elektrochemie Langzeitentwicklungen tendenziell schwer abzuschätzen sind.



## 4 REGULATORISCHE ENTWICKLUNGEN FÜR INDUSTRIE-BATTERIEN

Die stark wachsenden, aber auch die bereits im Markt befindlichen Mengen an neuen Industriebatterien erfordern somit die Schaffung und Etablierung einer funktionierenden Recyclinginfrastruktur. Der wertschöpfungskettenumfassende Regulierungsvorschlag der Europäischen Kommission reagiert auf die entsprechenden Marktentwicklungen und hält fest, dass es ab 2022 eine Verpflichtung zum Recycling geben soll.

Im Zuge dieser Verpflichtung wurden Recyclingeffizienzen (Rückgewinnungsraten der stofflichen Verwertung) festgelegt, die sich bis zum Jahr 2030 für Kupfer, Kobalt und Nickel auf 98 Prozent und für Lithium auf 90 Prozent belaufen. Bezüglich des Sprungs von 95 Prozent ab 2026 auf 98 Prozent ab 2030 für die Metalle Kobalt, Kupfer und Nickel wurde festgehalten, dass die aktuellen technologischen Innovationen diese Anpassung durchaus leisten können.

Zudem wird der Einsatz von Rezyklaten aus Altbatterien in neuen Batterien verpflichtend, um die sukzessive Entwicklung eines Recyclingmarkts zu forcieren. In diesem Zusammenhang wurde angemerkt, dass die Einhaltung der ab 2030 regulatorisch geforderten Recyclingquoten unklar ist. Mehrere Gründe wurden hierfür angeführt:

- Da das Recycling nicht in Konkurrenz mit der Primärförderung von insbesondere Lithium stehen wird und zudem technische Limitationen Rezyklatmenge und -qualität begrenzen, wird eingeschätzt, dass ein maximaler Rezyklateinsatz von fünf Prozent, stammend aus Altbatterien, zu erwarten ist. Darüber hinausgehende Rezyklatquoten können unter Umständen die Produktqualität gefährden. Man müsste daher auf weitere Sekundärrohstoffströme aus anderen Industrien zurückgreifen. Dieser Schritt erscheint bei Nickel, Kobalt und Kupfer möglich, gestaltet sich im Fall von Lithium jedoch problematisch.
- Des Weiteren sind aktuell etablierte Recyclingkapazitäten vor allem produktionsnahen Recyclingprozessen, die die vorgenannten Ausschüsse verwerten, zuzurechnen. Diese Ausschüsse zählen

jedoch nicht zu End-of-Life-Batterien und können entsprechend nicht in der zu erzielenden Recyclingquote berücksichtigt werden.

- Die Lebensdauer von Industriebatterien liegt bei durchschnittlich 15 Jahren und kann sich bei einer Überführung von gebrauchten Industriebatterien in eine Second-Life-Anwendung sogar noch verlängern. Dadurch verschiebt sich die Verfügbarkeit der Industriebatterien für den Recyclingmarkt zeitlich nach hinten. Es wurde darauf hingewiesen, dass diese längere Verfügbarkeit jedoch nicht in Konkurrenz zu neuen Geschäftsmodellen (beispielsweise „Nutzen statt Besitzen“) stehen sollte, die sich gleichermaßen positiv auf die Lebensdauer wie auf die Kreislaufführung auswirken. Es gelte daher, Industriebatterien in die Etablierung derartiger Geschäftsmodelle zu integrieren.
- Der Ort des Recyclings ist gemäß dem Regulierungsvorschlag nicht auf Europa beschränkt. Hieraus entsteht die Herausforderung, entsprechende Anreize zu schaffen, um die Industriebatterien und die darin enthaltenen Ressourcen dauerhaft im europäischen Markt zu halten.

Die Verfügbarkeit gesicherter Mengen an End-of-Life-Batterien wird durch die Teilnehmenden auch vor dem Hintergrund der Verbringung von Elektro-Altfahrzeugen als kritisch eingeschätzt. Die genannten Problemstellungen werden jedoch in der Erstellung einer gültigen Berechnungsmethode für die Recyclingquoten im Regulierungsvorschlag der Europäischen Kommission berücksichtigt. Für 2027 ist eine Revision der Richtlinie vorgesehen, mit der etwaige Anpassungen in der Festlegung der Recyclingquoten einhergehen. Dennoch sollen die hochangesetzten Recyclingquoten als politisches Signal wirken und entsprechend Anreize für die Entwicklung innovativer Recyclingprozesse für Batterien schaffen.

## 5 ENTWICKLUNGEN DES RECYCLINGMARKTS

### 5.1 Entwicklung von Recyclingkapazitäten

Die Entwicklung des Recyclingmarkts für Batterien ist aktuell sehr dynamisch. Die Industrie kündigt stetig den Aufbau neuer Recyclingkapazitäten an. Die installierten Prozesse sind dabei sehr divers in ihrer Gestaltung und daher schwer miteinander zu vergleichen. Es wurde somit nur grob geschätzt, dass sich die Recyclingkapazitäten von rund 33 Kilotonnen im August 2021 auf rund 72 Kilotonnen im Februar 2022 mehr als verdoppelt haben. Hierzu wurde angemerkt, dass derzeit lediglich auf eine tatsächliche Recyclingkapazität von ca. 40 Kilotonnen zurückgegriffen werden kann, da einige Marktpartizipierende zwar in die Recyclingkapazitäten eingerechnet werden, diese jedoch de facto kein hochwertiges Recycling von Batterien betreiben. Hierzu zählen beispielsweise Schrotthändler, die ausgediente Batterien nur vom Gehäuse trennen. Zudem werden insbesondere neu am Markt vorgestellte Technologien bezüglich der Hochskalierung kritisch bewertet. Hier können Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit durch sogenannte Test- und Demonstrationszentren überprüft werden.

### 5.2 Entwicklung von Recyclingmengen und Zusammensetzung

Die verfügbaren ebenso wie die geplanten Recyclingkapazitäten reichen aktuell (noch) nicht aus, um die stark wachsenden Mengen an zu recycelnden Industriebatterien (inklusive aller Produktionsabfälle bzw. -ausschüsse) umzusetzen. Es wird zudem geschätzt, dass bis 2025 ca. 100 Kilotonnen und bis 2030 schon knapp 250 Kilotonnen jährlich verwertet werden müssen. Insbesondere für Produktionsabfälle haben sich bereits Partnerschaften zwischen Recyclerinnen und Recyclern sowie Zellherstellerinnen und Zellherstellern etabliert. Hier ist jedoch noch offen, ob und wie sich diese Strukturen in Zukunft weiterentwickeln. Kooperationen, die produktionsnahe Kreisläufe aufbauen, sind insofern sinnvoll, da – anders als End-of-Life-Batterien – Produktionsabfälle bzw. Produktionsausschüsse sortenreiner und weniger verschmutzt vorliegen. Zudem wurde darauf hingewiesen, dass die Wertschöpfungskette der Industriebatterien global aufgestellt ist. Der effiziente und nachhaltige Umgang mit der Wertschöpfungsstruktur setze eine Vernetzung insbesondere mit den asiatischen Märkten voraus. Da der

Recyclingmarkt jedoch sehr jung ist, fällt hier der Gestaltungsspielraum noch sehr groß aus.

Die Zusammensetzung des gesamten Stoffstroms der Batterierückläufe ändert sich über die Zeit. Aktuell befinden sich hauptsächlich Batterien aus Kleinanwendungen im Recyclingstrom, die mittelfristig durch Produktionsabfälle bzw. Ausschüsse ersetzt werden. Langfristig werden Batterien aus Elektrofahrzeugen den Wertstoffstrom dominieren. Hier wurde eingeworfen, dass die Wirtschaftlichkeit der Recyclingprozesse in Abhängigkeit zu den zu recycelnden Batterietypen steht. Gewonnene Wertstoffe aus hochwertigen Lithium-Ionen-Batterien wie beispielsweise Kupfer, Kobalt, Nickel und Mangan ermöglichen einen wirtschaftlichen Betrieb. Die Inhaltsstoffe von Lithium-Eisenphosphat-Batterien (LFP) sind hingegen geringwertiger und erschweren ein wirtschaftliches Recycling. Aus aktueller Sicht stehen daher keine ausreichenden Verwertungskapazitäten für LFP-Batterien zur Verfügung. An dieser Stelle wurde angemerkt, dass der im Rahmen des Fachgesprächs vorgestellte Recyclingprozess der Duesenfeld GmbH neben hochwertigen Batterien auch LFP-Batterien in die Verwertung miteinschließt. Zusätzlich würden bestehende Forschungsbedarfe zur wirtschaftlichen LFP-Verwertung mittels laufender Projekte adressiert.

Aus Sicht der Ressourceneffizienz bietet der Zustand der angelieferten Batterien Material- und Energieeinsparungspotenzial. Ein beachtlicher Teil der Lithium-Ionen-Batterien, so die Einschätzung, könnten einer Second-Life-Anwendung zugeführt werden. Diese Batterien (u. a. Ausschuss) entsprechen jedoch nicht dem Serienstandard der OEMs (Original Equipment Manufacturer, Erstausrüster) und werden deshalb von deren Seite nicht für ein „Second-Life“ freigegeben. Zudem steht die Produkthaftung für Second-Life-Batterien oft in der Diskussion. Hierzu wurde eingeworfen, dass die Gewährleistung von Seiten der Vertreibenden und nicht durch den OEM getragen würde. Jedoch führe die Umsetzung in der Praxis oftmals zu rechtlichen Unsicherheiten.

### 5.3 Abschätzung von Investitionsbedarfen

Die abgeschätzten Investitionskosten für einen beispielhaft entworfenen hydrometallurgischen Prozess und einen Heißprozess liegen bei ca. drei bis vier Millionen Euro je Kilotonne Batterie und Jahr. Die einzelnen Agierenden

der Wertschöpfungskette „Industriebatterien“ schätzen dabei die benötigten Initialinvestitionen unterschiedlich ein. Die Betreibenden sowie die OEMs erwarten jährliche Initialinvestitionen zum Erreichen der nötigen Recyclingkapazität von ca. 2,7 Milliarden Euro, während von Seiten des Maschinen- und Anlagenbaus bis 2040 mit Kosten in Höhe von in etwa fünf Milliarden Euro gerechnet wird. In diesem Bereich kann ein notwendiges Investment für die benötigten Recyclingkapazitäten abgeschätzt werden.

## 5.4 Innovative Recyclingtechnologien

Einer der Teilnehmenden stellte den innovativen Prozess zum Recycling von Lithium-Ionen-Batterien aller Typen (NMC, NCA, LFP, LCO, LMO, LTO) der Duesenfeld GmbH vor. Die Vorteile liegen u. a. in einer hohen Recyclingeffizienz und einem energiearmen Prozess durch den Verzicht auf eine hochenergetische thermische Verwertung. Auf diese Weise kann auf energieintensive und teure Prozesskomponenten wie den Gaswäscher zur Eliminierung der Fluorwasserstoffe (HF) verzichtet, der Genehmigungsaufwand verringert und eine leicht skalierbare Technologie angeboten werden.

Dem Aufbereitungsprozess ist die Demontage vorgeschaltet, die aktuell händisch vorgenommen wird. Jedoch verändert sich sukzessive die Verarbeitungsweise der angelieferten Batterien, die insbesondere bei den Cell2pack-Batterien eine händische Demontage aufgrund von Verklebungen oder Verschweißungen unwirtschaftlich macht. Hier wird künftig der Demontageprozess um eine Schredder-Einheit erweitert werden.

Gleiche Erkenntnisse teilte der Beitrag, der die Forschungsergebnisse des Projektes DeMoBat vorstellte. Das Projekt untersucht die automatisierte Demontage von Industriebatterien. Es wurde festgehalten, dass sich die grundsätzliche Architektur des Designs nicht ändern wird, jedoch die Art der Verarbeitung eine ressourceneffiziente Demontage erschwert. Ein recyclinggerechtes Design würde hier zu einem ressourceneffizienteren Recycling führen. Diese Verantwortung liegt bei den OEMs, die wiederum Anforderungen an die Recyclingfähigkeit stellen können. Diesbezüglich müssen jedoch aktuell keine Auflagen eingehalten werden, sodass abzusehen ist, dass seitens der OEMs aus Wirtschaftlichkeitsgründen keine Anstrengungen unternommen werden. Dies kann sich jedoch mit der sich verknappenden Rohstoffverfügbarkeit ändern.

Nach Ansicht der Teilnehmenden gelte es daher, den Recyclingprozess mit einer höchstmöglichen Flexibilität auszulegen, um auf die sich ändernden Batteriedesigns und die sich ändernde Zellchemie möglichst zeitnah antworten zu können. Wie bereits festgehalten wurde, ist die Variantenvielfalt der am Markt verfügbaren Industriebatterien enorm und damit ein flexibler Recyclingprozess notwendig, um den Wertschöpfungskreislauf möglichst effizient zu schließen. Hier wäre es hilfreich, Informationen zum Aufbau und über die stoffliche Zusammensetzung, insbesondere der Elektrolyte in Form von QR-Codes oder einer Möglichkeit zur Auslesung der Batterien, zu erhalten. Dies würde die effizientere Gestaltung des Recyclingprozesses ermöglichen (beispielsweise chargenweise Verarbeitung der Elektrolyte) und die erzielbare Rezyklatmenge erhöhen. Die Herausgabe solch sensibler Daten ist aus Sicht des OEMs jedoch schwierig und aktuell nicht gängig.

## 5.5 Einsatz von Sekundärrohstoffen aus dem Batterierecycling

Die Recyclinginfrastruktur für Batterien ist jung und führt dazu, dass ein Teil der derzeit produzierten Mengen an potenziellen Rezyklaten noch zu gering ist, um am Markt Abnehmende zu finden. Ein Beispiel ist der Markt für zurückgewinnbare Elektrolyte bzw. Lösemittelgemische. Aktuell sind die generierten Mengen zu gering, um einen Wiedereinsatz in der Primärbatterieproduktion zu erwirken. Zudem besteht im Fall der Elektrolyte die Schwierigkeit, dass diese genau auf die Zellchemie der originären Batterie zugeschnitten sind. Entsprechend schwierig ist es daher zum jetzigen Zeitpunkt, die rückgewonnenen Lösemittelgemische für die Herstellung von Primärbatterien einzusetzen. Diese gehen derzeit in die thermische Verwertung. Forschungsprojekte nehmen sich dieses Themas jedoch sukzessive an.

## 6 ZUSAMMENFASSUNG

Die Wertschöpfungskette für Industriebatterien ist geprägt durch ein dynamisches Wachstum. Sowohl die Produktionskapazitäten von Neubatterien als auch die Recyclingkapazitäten werden stetig ausgebaut. Die regulatorischen Randbedingungen setzen wichtige Signale und reagieren angemessen früh auf den sich entwickelnden Markt. Die genaue Auslegung von insbesondere Recyclingquoten ist unterdessen diversen Unsicherheiten unterworfen, die jedoch über eine geplante Revision adressiert werden.

Die Entwicklung innovativer Technologien gestaltet sich ebenfalls sehr dynamisch. Gute-Praxis-Beispiele wie der Recyclingprozess der Duesenfeld GmbH zeigen einerseits die Möglichkeiten und Potenziale einer kreislaufgeführten Wertschöpfungskette für Industriebatterien und fördern andererseits die Herausforderungen zu Tage, die es noch zu bestreiten gilt. Hierbei sind Forschungsprojekte wie das Projekt DeMoBat hilfreich, denn solche Projekte zeigen u. a. die Notwendigkeit auf, ein recyclinggerechtes Design für eine gesteigerte Ressourceneffizienz zu etablieren und Demontage- bzw. Recyclingprozesse möglichst flexibel zu gestalten, um schnell und adäquat auf die Variantenvielfalt der Industriebatterien reagieren zu können.

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE)  
Bülowstraße 78  
10783 Berlin  
Tel. +49 30-2759506-0  
zre-info@vdi.de  
[www.ressource-deutschland.de](http://www.ressource-deutschland.de)