

# REVOLUTIONIERUNG DES BATTERIERECYCLINGS:

## DER INDURED-REAKTOR UND NACHHALTIGE PYROMETALLURGISCHE VERFAHREN

Die Sicherung der wirtschaftlichen Unabhängigkeit und die Entwicklung effizienter Recyclingmethoden sind entscheidend, um wertvolle Metalle in Europa zu halten und den Rohstoffmarkt abzusichern. Die Vielseitigkeit von Lithium-Ionen-Batterien (LIBs) ermöglicht ihre Verwendung in verschiedenen Anwendungen, stellt jedoch auch Herausforderungen für das effiziente Abfallmanagement und das Recycling dar, da die Abfallströme eine schwankende chemische Zusammensetzung aufweisen. Die aktuellen Recyclingtechnologien stoßen auf erhebliche Hindernisse bei der Erreichung der angestrebten Recyclingquoten.

Obwohl mehrere hochmoderne Recyclingtechnologien zur Rückgewinnung wertvoller Metalle aus LIBs zur Verfügung stehen, hat jede der Methoden ihre Einschränkungen. Hydrometallurgische Recyclingansätze erzielen bereits beeindruckende Recyclingeffizienzen, sind jedoch äußerst empfindlich gegenüber den variierenden Eigenschaften der Ausgangsmaterialien. Die unterschiedliche Kathodenchemie in den Batterien führt zu einem erheblich schwankenden Abfallstrom, der eine Herausforderung für das Recycling darstellt. Im Gegensatz dazu zeigen pyrometallurgische Recyclingmethoden eine größere Beständigkeit gegenüber variablen Eingangsmaterialien. Sie stoßen jedoch auf das Problem des Lithium-Slagging, was die effiziente Rückgewinnung behindert und dazu führt, dass die vorgegebenen Recyclingziele nicht erfüllt werden können. Darüber hinaus machen die konventionell energieintensiven Methoden, die auf Quellen wie Öl und Gas angewiesen sind, diese ökologisch ungünstig.

Um diese Herausforderungen anzugehen, konzentrieren sich die Forscher:innen des Moduls FuLiBatter (Future Lithium-Ion Battery Recycling for Recovery of Critical Raw Materials) im Projekt 2 (Pyrometallurgische Verarbeitung von LIBs und Schwarzmasse) auf die Entwicklung einer nachhaltigen Rückgewinnung von Lithium und anderen Metallen aus Lithium-Ionen-Batterien.

Der Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik an der Montanuniversität Leoben hat den InduRed-Reaktor entwickelt, ein neuartiges pyrometallurgisches Recyclingkonzept. Dieser innovative Ansatz nutzt eine induktiv beheizte Kohlenstoffschicht, die eine große Reaktionsfläche bietet und stark reduzierende Bedingungen ermöglicht. Das Hauptziel des InduRed-Reaktors ist die gleichzeitige Rückgewinnung von Nickel, Kobalt und Mangan als Legierung, während Phosphor und Lithium über die Gasphase abgetrennt werden sollen. Der InduMelt-Reaktor ist ein diskontinuierlicher Labormaßstab-Prototyp, der auf dem InduRed-Konzept basiert. Dieser hat in den ersten Experimenten vielversprechende Ergebnisse gezeigt.

Die laufenden Forschungsaktivitäten des Projektteams umfassen die Untersuchung des Verhaltens von gängigen reinen Kathodenmaterialien wie NCA, NMC, LCO und LFP sowie des Aktivmaterials aus dem Batterie-Vorverarbeitungsschritt unter hohen Temperaturen und reduzierenden Bedingungen. Verschiedene Analysen, darunter Heizmikroskopexperimente sowie thermogravimetrische und differentialkalorimetrische Analysen, werden durchgeführt, um Einblicke in die Reaktionsmechanismen zu gewinnen.

Außerdem ist das Team aktiv daran beteiligt, ein mathematisches Modell zur Beschreibung des thermischen Deaktivierungsprozesses von LIBs zu entwickeln. Dieser Versuch zielt darauf ab, unser Verständnis des thermischen Verhaltens von LIBs, der Gasentwicklung und insbesondere die Vorhersage potenzieller Fälle von thermischem Durchgehen zu verbessern. Um



die erforderlichen Daten zu sammeln, führt das Team thermische Deaktivierungstests – sogenannte „Box-Tests“ durch. Die gesammelten Daten aus diesen Tests werden in das mathematische Modell eingearbeitet, um dessen Genauigkeit und Vorhersagefähigkeiten zu verbessern.

Zusammenfassend zeigen die laufenden Forschungen vielversprechende Ergebnisse, insbesondere in Bezug auf die Lithium-Gewinnungsrate. Die zukünftigen Untersuchungen werden sich darauf konzentrieren, den Energiebedarf der Reaktionen zu verstehen und die erforderlichen Modifikationen des Aktivmaterials zur Erfüllung der Anforderungen des gewünschten Recyclingprozesses zu ermitteln. Der InduMelt-Reaktor bietet mit seinem innovativen Design und seinen Fähigkeiten eine vielversprechende Lösung für das Recycling von LIBs. Er trägt zur Rückgewinnung wertvoller Metalle bei und reduziert die Umweltauswirkungen von Batterieabfällen, um die Nachhaltigkeit voranzutreiben.

Zusätzlich wurden folgende Disseminationsaktivitäten fixiert, bei denen die Ergebnisse aus dem Projekt 2 des FuLiBatter-Moduls präsentiert wurden / werden:

- Copper Cobalt Africa 2023, Victoria Falls Livingstone (Sambia), 12. – 16. Juni 2023; „Influences of Pre-treatment Steps and Contaminants in a Pyrometallurgical Recycling Process for NCA (LiNi0.8Co0.15Al0.05O2) Lithium-Ion Battery Material“
- ICBR 2023 in Valencia, 6. – 8. September 2023, „Pyrometallurgical recycling of lithium-ion battery cathode material: The impact of slag formers on meltability and lithium slagging potential“
- AABC 2023 in San Diego, 11.–14. Dezember 2023; “Evaluating Refractory Material Performance in Pyrometallurgical Recycling of Lithium-Ion Batteries under a reducing atmosphere.”

Das Modul FuLiBatter ist Teil des österreichischen Kompetenzzentren-Programms COMET (Competence Center for Excellent Technologies). Dieses Programm wird von der FFG (Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft) koordiniert. FuLiBatter wird durch das Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, das Bundesministerium für Arbeit und Wirtschaft und die Länder Oberösterreich und Steiermark gefördert. Das Konsortium umfasst (alphabetisch gelistet) acib GmbH, Audi AG, BOKU Universität für Bodenkultur Wien, BRAIN Biotech AG, Coventry University, Ebner Industrieofenbau GmbH, Montanuniversität Leoben, RHI Magnesita GmbH, Saubermacher Dienstleistungs AG, TÜV SÜD Landesgesellschaft Österreich GmbH, UVR-FIA GmbH, voestalpine High Performance Metals GmbH und VTU Group GmbH. Das Projektkonsortium wird von der K1-MET GmbH als Konsortialführer koordiniert.