Entwicklung eines thermischen Deaktivierungs- und Vorbehandlungsprozesses mittels numerischer Simulation

Verbesserung des Lithium-Ionen Batterierecycling durch thermische Vorbehandlung und Deaktivierung

Die zunehmende Verwendung von Lithium-Ionen-Batterien (LIBs) in der Elektronik, in Elektrofahrzeugen und bei der Energiespeicherung führt zu einem Anstieg von Altbatterien. Für eine nachhaltige und effizientere Nutzung von Sekundärressourcen und auch um die globalen Abhängigkeiten kritischer Rohstoffe entgegenzuwirken hat die Europäische Union mit der Verordnung 2023/1542 vom 12.07.2023 strengere Recyclingvorschriften eingeführt, die u. a. höhere Sammelziele und Lithium-Rückgewinnungsraten vorsehen, die von 50 % im Jahr 2027 auf 80 % im Jahr 2031 steigen sollen. Bei aktuell nach Stand der Technik betriebenen LIB-Vorbehandlungsverfahren werden die Akkus tiefentladen, geschreddert und thermisch behandelt. Die Idee hinter der Methode ist, die Akkus in einem Prozessschritt thermisch zu deaktivieren und vorzubehandeln, gefolgt von einer mechanischen Aufbereitung.

Vorbehandlung von Lithium-Ionen-Akkus

Beim Recycling von LIBs ist das Kathodenmaterial der wertvollste Bestandteil. Dieses ist durch organische Bindemittel auf Aluminiumfolien aufgebracht, welches die Rückgewinnung erschwert. Für ein effizientes Recyclingverfahren, ist deshalb eine Vorbehandlung notwendig, welche den Binder zersetzt und das Kathodenmaterial freilegt.

Für diesen Prozessschritt erweist sich die thermische Vorbehandlung und Deaktivierung als eine vielversprechende Alternative zur Tiefentladung, dem Schreddern der Akkus und anschließender thermischer Behandlung. Bei diesem Verfahren werden die LIBs in einem Ofen einer kontrollierten Temperatur ausgesetzt, wodurch die Bestandteile kontrolliert thermisch zersetzt werden. Im ersten Schritt wird die Batterie bei einer Temperatur von 200 °C geöffnet und Pyrolysegase des organischen Elektrolyten treten aus. Erhöht man die Temperatur weiter auf 240 °C, kollabiert der Separator, wodurch ein interner Kurzschluss entsteht und die gespeicherte Ladung schnell freigesetzt wird. Dies löst einen starken Temperaturanstieg auf 440 °C aus, der zur Zersetzung des Bindemittels und zur explosionsartigen Freisetzung von Anoden- und Kathodenmaterial führt. Zu den entstehenden Produkten (Abbildung 1, rechts) gehören Aluminium- und Kupferfolien, das Stahlgehäuse sowie Kathoden- und Anodenmaterialien.

Die Herausforderung bei dieser Methode besteht darin, einen Ofen zu entwickeln, der zuverlässig Mischungen verschiedener LIBs thermisch behandeln kann und eine Kettenreaktion der Akkus verhindert. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde eine gekoppelte Computational Fluid Dynamics (CFD), Discrete Element Method (DEM) entwickelt, die den Prozess der thermischen Vorbehandlung und Deaktivierung abbilden kann.

Verantwortlich für den Inhalt: Emerson Barros de Souza und Christoph Spijker (K1-MET GmbH bzw. MUL-TPT)

Laborcharakterisierung der thermischen Vorbehandlung und Deaktivierung

Um das thermische Deaktivierungsverhalten verschiedener LIBs zu untersuchen, wurde ein Versuchsaufbau mit einer mit Inertgas gespülten Kammer in einem Ofen konzipiert. In deren Mitte ist eine Batterie platziert (Abbildung 1, links). Die Kammer wird nach einem bestimmten Temperaturprofil aufgeheizt, wobei die Temperaturen an verschiedenen Stellen und die Zusammensetzung des Abgases kontinuierlich überwacht werden.

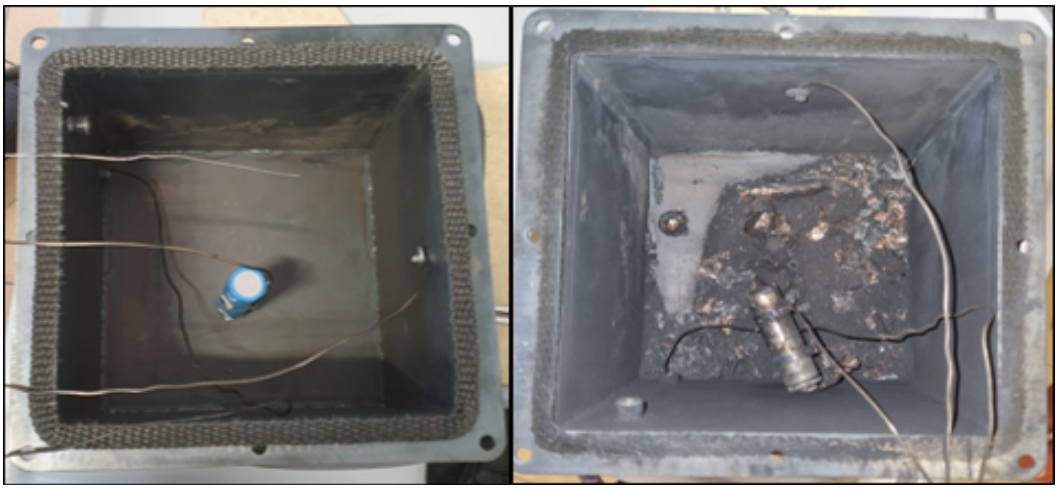

Abbildung 1: Links: Die Zelle in der Messkammer der Behandlung. Rechts: Produkte der thermischen Behandlung. Diese bestehen aus Aluminium- und Kupferfolien, Stahlgehäuse sowie Kathoden- und Anodenmaterialien.

CFD-DEM Simulation der thermischen Behandlung von LIBs

Basierend auf den bei den Versuchen gesammelten Daten wurden mathematische Modelle der Vorgänge der thermischen Behandlung entwickelt und in die DEM-Partikel implementiert. Diese werden mit der CFD-Berechnung der Gasphase gekoppelt. Mit diesem Ansatz können die Transporteffekte, die chemische Zusammensetzung, Strömung, Partikelbewegung und die Temperaturen für verschiedene Ofenkonzepte im Industriemaßstab analysiert werden.

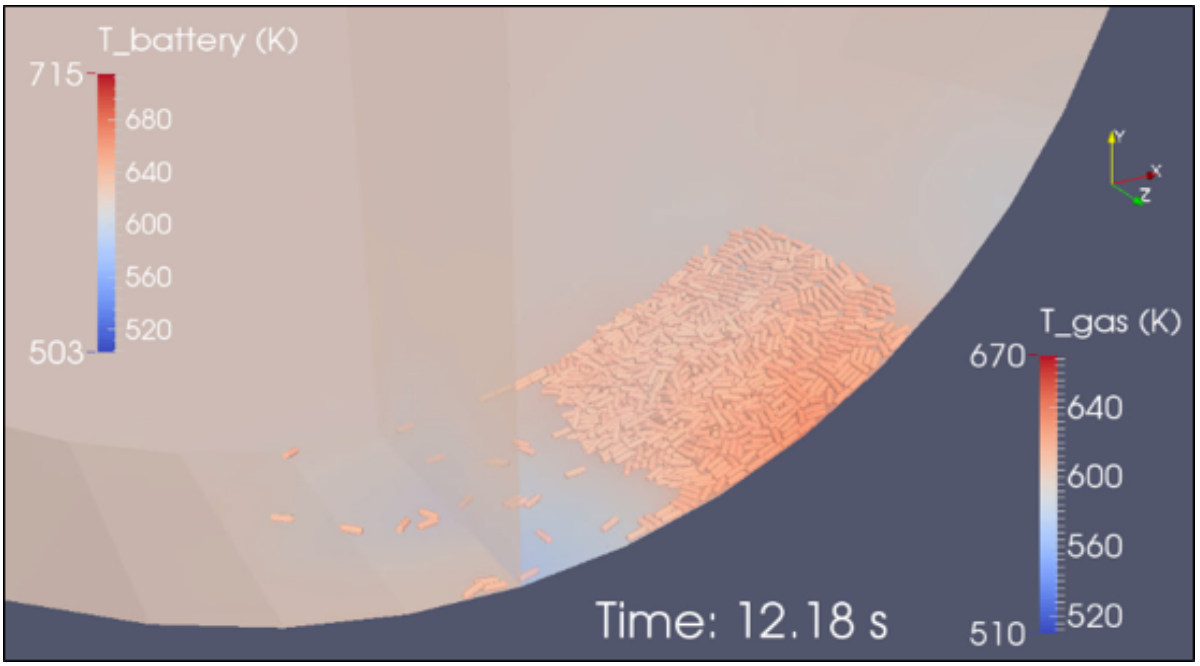

Abbildung 2: Simulation von 1.000 Zellen, die in einem Drehtrommelofen. Ein Teil der Zellen erhitzt sich durch das Versagen des Separators.

Verantwortlich für den Inhalt: Emerson Barros de Souza und Christoph Spijker (K1-MET GmbH bzw. MUL-TPT)

Am 20. Februar 2025 wurde der zweite Workshop des COMET-Moduls FuLIBatteR an der BOKU Universität in Tulln in hybrider Form abgehalten. Es fand ein reger Austausch mit externen Stakeholdern über Forschungsaktivitäten zum nachhaltigen Recycling von Lithium-Ionen-Batterien statt, um eine effiziente und nachhaltige Rückgewinnung von kritischen Rohstoffen aus gebrauchten LIBs voranzutreiben.

Abbildung 3: 2. FuLIBatteR Workshop, BOKU Universität in Tulln.

Weitere Disseminationsaktivitäten im Rahmen von FuLIBatteR im ersten Quartal 2025 waren auszugsweise:

- Sieber, A., Spiess, S., Rassy, W. Y, Schild, D., Rieß, T., Singh, S., Jain, R., Schönberger, N., Lederer, F., Kremser, K., Guebitz, G. M., Fundamentals of bio-based technologies for selective metal recovery from bio-leachates and liquid waste streams, Frontiers in Bioengineering and Biotechnology 12, 1528992
- „Verwertungs- und Entsorgungsstrategien für Li-Antriebsbatterien – aktuelle Trends und Entwicklungen“, 18. März 2025, Wien (Österreich), Vortrag von J. Rieger „Rückgewinnung kritischer Rohstoffe aus verschiedenen LIB-Anwendungen“ (Beitrag aus Projekt 1, 2 und 3)

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 Innovation, Mobilität und Infrastruktur, das Bundesministerium für Wirtschaft, Energie und Tourismus und die Länder Oberösterreich und Steiermark gefördert. Das Konsortium umfasst (alphabetisch aufgelistet) acib GmbH, Audi AG, BOKU University of Natural Resources and Applied Sciences, 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 Engineering GmbH. Das Projektkonsortium wird von der K1-MET GmbH als Konsortialführung koordiniert.

Weitere Informationen über das COMET Modul FuLIBatteR und seine Fortschritte finden Sie unter LinkedIn und der K1-MET-Website.

Verantwortlich für den Inhalt: Emerson Barros de Souza und Christoph Spijker (K1-MET GmbH bzw. MUL-TPT)