



Entwicklung und Scale-Up eines innovativen pyrometallurgischen Recyclingkonzepts für die Rückgewinnung von Wertmetallen aus Lithium-Ionen-Batterien

Dipl.-Ing. Lukas Wiszniewski, lukas.wiszniewski@unileoben.ac.at

C. Gatschlhofer, A. Holzer, S. Windisch-Kern und H. Raupenstrauch

Leoben, 13.04.2023

WO AUS FORSCHUNG ZUKUNFT WIRD



Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik



Inhalt

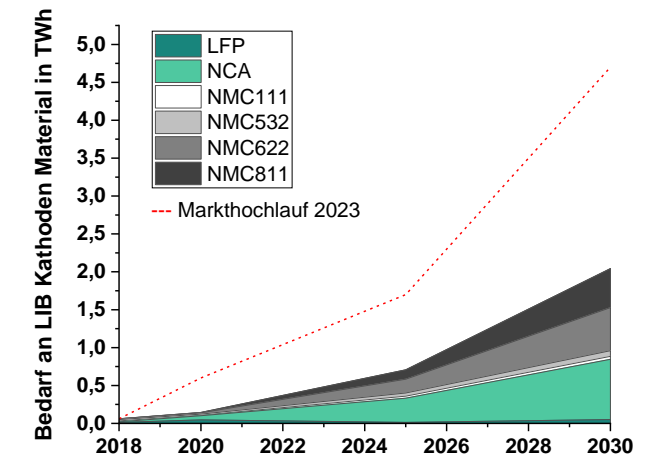
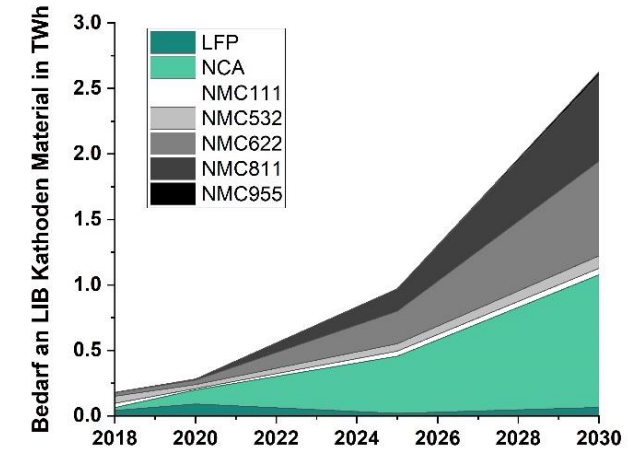




Elektrifizierung energieintensiver Branchen

LIB als Schlüsseltechnologie zur Transformation

- Jährliches Wachstum von bis zu 30% bis 2030 [1]
- Unterschiedliche Anforderungsprofile → Stark fluktuierender Recyclingstrom
- Hohe Anforderungen an effiziente Recyclingmethoden
 - Ökonomie / Ökologie
 - Gesetzgebungen – Recyclingquoten
 - Ni, Co, Cu – 95%, Li – 70%



[1] McKinsey: Battery 2030: Resilient, sustainable and circular., <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/battery-2030-resilient-sustainable-and-circular>

[2] Holzer et al. (2023) A Combined Hydro-mechanical and Pyrometallurgical Recycling Approach to Recover Valuable Metals from Lithium-Ion Batteries Avoiding Lithium Slagging, Batteries, 2022, submitted.

LIB Recyclingrouten

- Pyrometallurgie

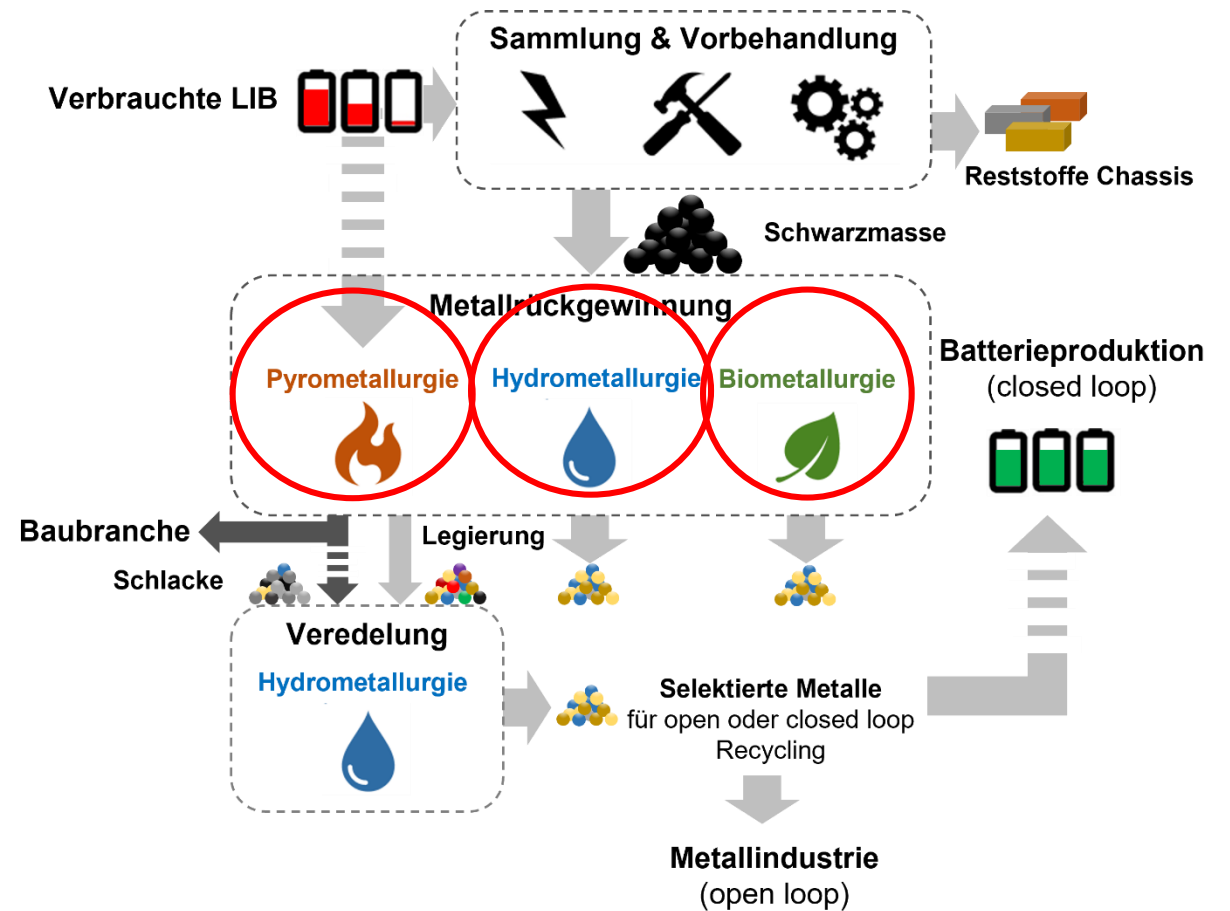
- Konzentration auf Ni, Co
- Lithium – Verschlackung
- Einsatz fossiler Energieträger

- Hydrometallurgie

- Hohe Recyclingquoten
- Hoher Einsatz an Chemikalien und Prozessstufen
- Anfällig für variablen Inputstrom

- Biometallurgie

- Einsatz ökologischer Leachingmaterialien
- Bakterienkulturen anfällig für Cu-Verunreinigungen
- Geringe Durchsatzmengen



[3] Windisch-Kern et al., Recycling chains for lithium-ion batteries: A critical examination of current challenges, opportunities and process dependencies, Waste management (New York, N.Y.) 138 (2022), 125–139. DOI: 10.1016/j.wasman.2021.11.038

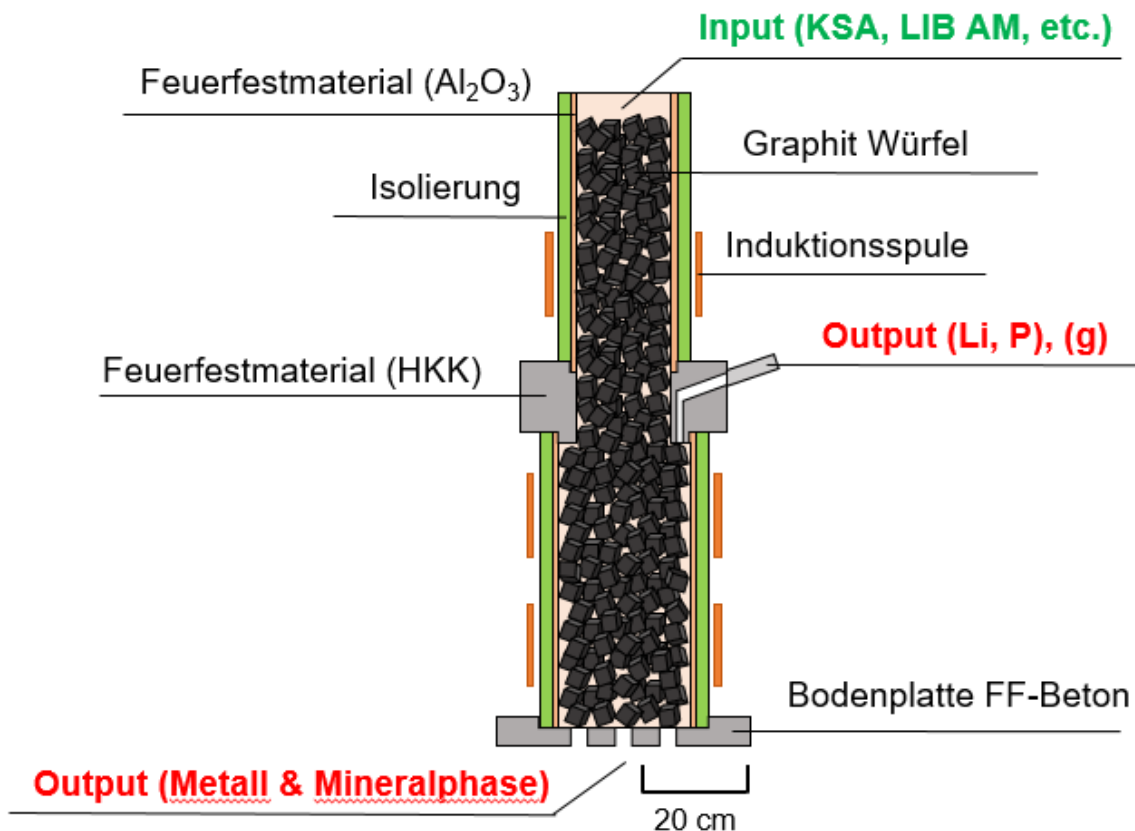


e. Simulatoren
ing
onitoring



Reaktorkonzept

InduRed Reaktor Konzept



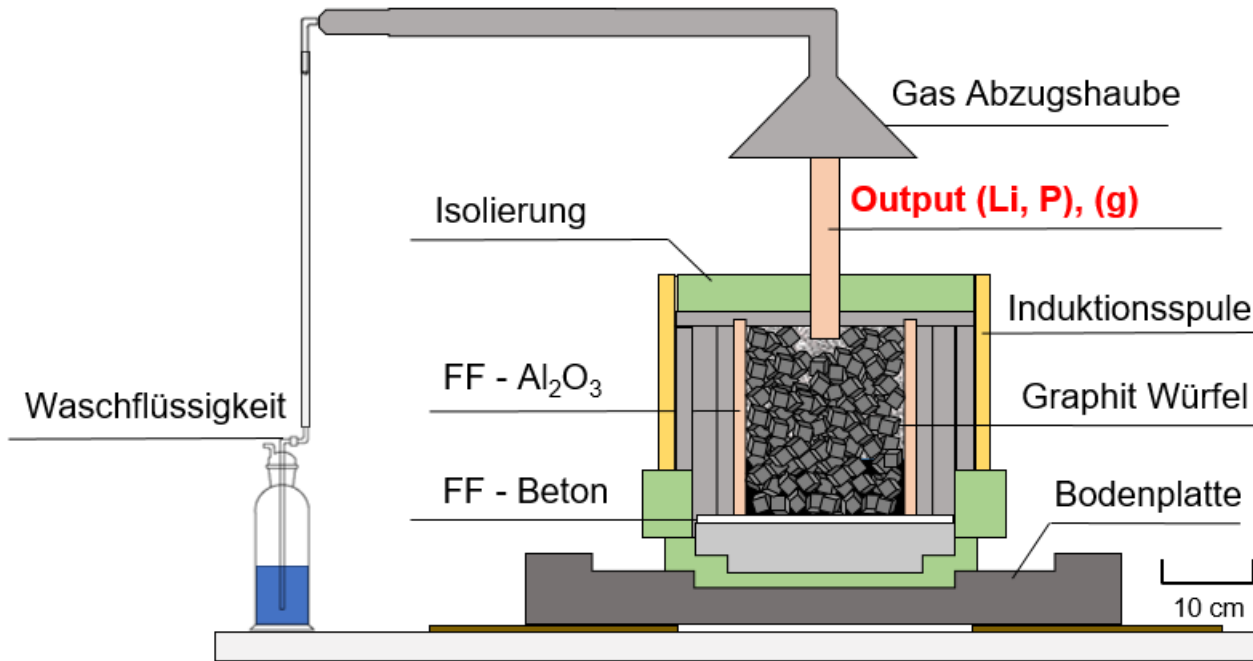
- Jahrelange Erfahrung in den Bereichen:
 - Phosphorrückgewinnung aus Klärschlammmasche ^[4]
 - Behandlung von LD-Schlacke ^[5]
- Niedriger Sauerstoffpartialdruck
- Reduzierende Atmosphäre
- Temperaturen von bis zu 1700°C
- ➔ **Bildung Schmelzfilm**
- **Wesentlicher Vorteil gegenüber Wöhler Prozess:**
 - Einstellbares Temperaturniveau
 - Radial/axial homogene Temperaturen

[4] Windisch, S., Holzer, A., Ponak, C., & Raupenstrauch, H. Thermochemical Processing of Li-Ion Battery Black Matter. Vid. Proc. Adv. Mater., Volume 1, Article ID 200804(2020), DOI: 105185/vpoam-2020-0804

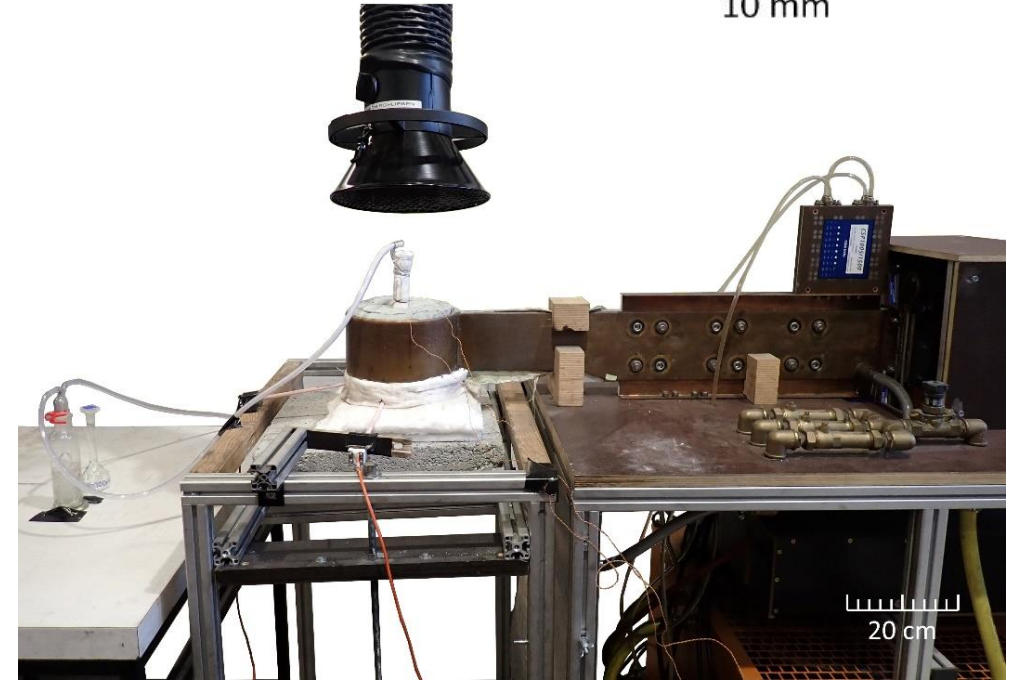
[5] Ponak, C., Carbo-thermal reduction of basic oxygen furnace slags with simultaneous removal of phosphorus via the gas phase, Dissertation, Montanuniversitaet Leoben, Leoben, 2019.

Batch-Versuchsanlage InduMelt

- Einspulensystem basierend auf dem InduRed Reaktorkonzept
- Höhere Versuchszahl durch einfacheren Aufbau
- Al_2O_3 Tiegel im Ursprungsdesign



InduMelt Anlage (Design 1) [7]



Experimenteller Aufbau [7]

[6] Holzer, A.; Windisch-Kern, S.; Ponak, C.; Raupenstrauch, H. A Novel Pyro-metallurgical Recycling Process for Lithium-Ion Batteries and Its Application to the Recycling of LCO and LFP. *Metals* 2021, 11, 149; DOI: 10.3390/met11010149



F&E

F&E: Grundlagenforschung als Basis für die Prozessentwicklung

Grundlagen

Untersuchung LCO, LFP, NCA,
NMC (111, 532, 622, 811)
→ Hochtemperaturverhalten reines
Kathodenmaterial

- Methoden

- Erhitzungsmikroskop
- Thermogravimetrische Analyse
- Dynamische Differenzkalorimetrie
- InduMelt-Versuche
- ICP-MS und ICP-OES
- XRD Analysen
- REM/EDX Analysen

Prozessentwicklung

Weiterentwicklung Anlage
→ Prozessdesign

- Forschung:

- Thermische Stabilität
- Verhalten unter reduzierenden Hochtemperaturbedingungen
→ Ermittlung Prozessparameter
- Reaktionskinetik
- Transferkoeffizienten für Ni, Co, Mn, Li, P
- Standfestigkeit Anlagenkomponenten / Scale-up Anlage
- Forschung mit Schwarzmasse aus Aufbereitung
- Einfluss von Verunreinigungen aus dem Batterieaufbau (Cu, Al, etc.)

Neudesign InduMelt-Anlage zur Prozessoptimierung

Zylinder mit Korbbogenboden aus MgO anstatt eines Al_2O_3 Tiegels

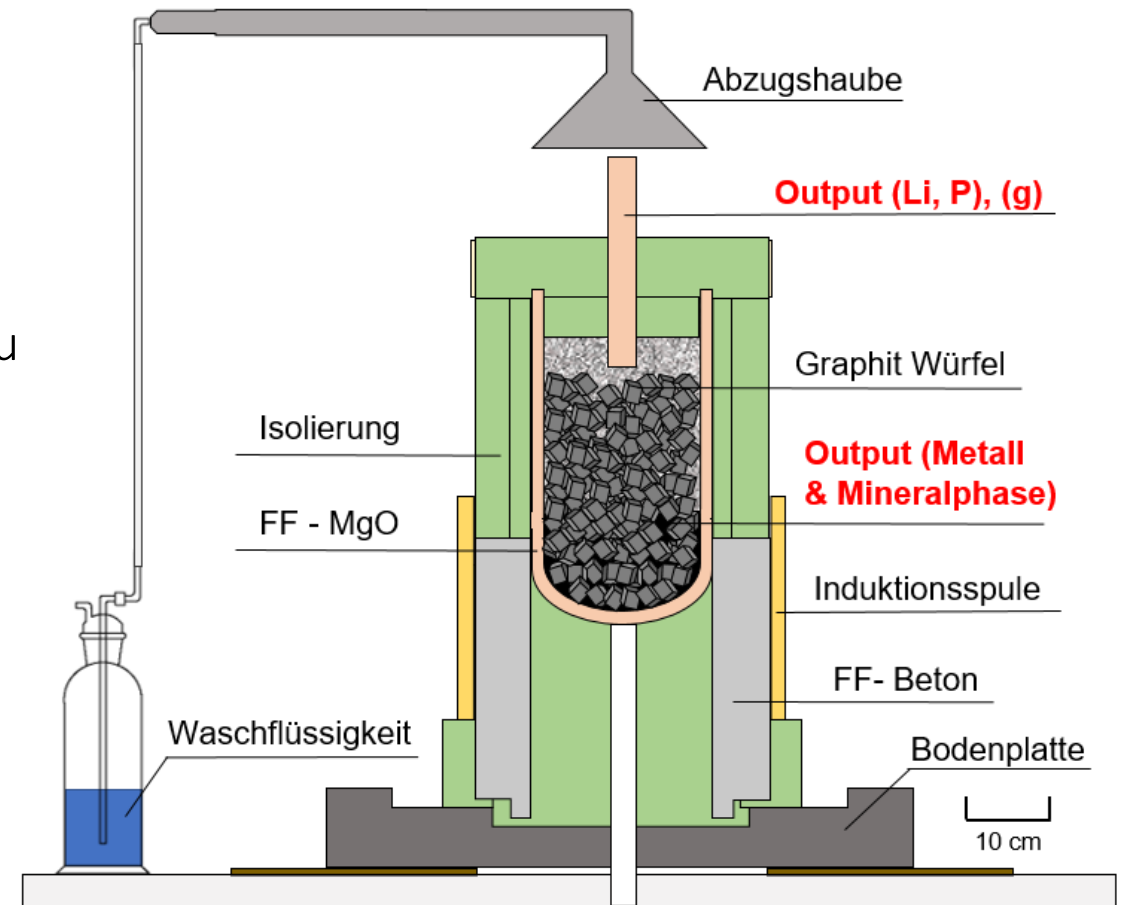
+Vermeidung Reaktion zwischen Kobalt und Al_2O_3 zu Kobaltaluminat (CoAl_2O_4) → zerstörend!

+Schnellerer und einfacherer Aufbau → bessere Vergleichbarkeit der Einzelversuche

– Diffusion in den Tiegel

– Korrosion des Tiegels

→ Forschung alternatives Tiegelmateriale

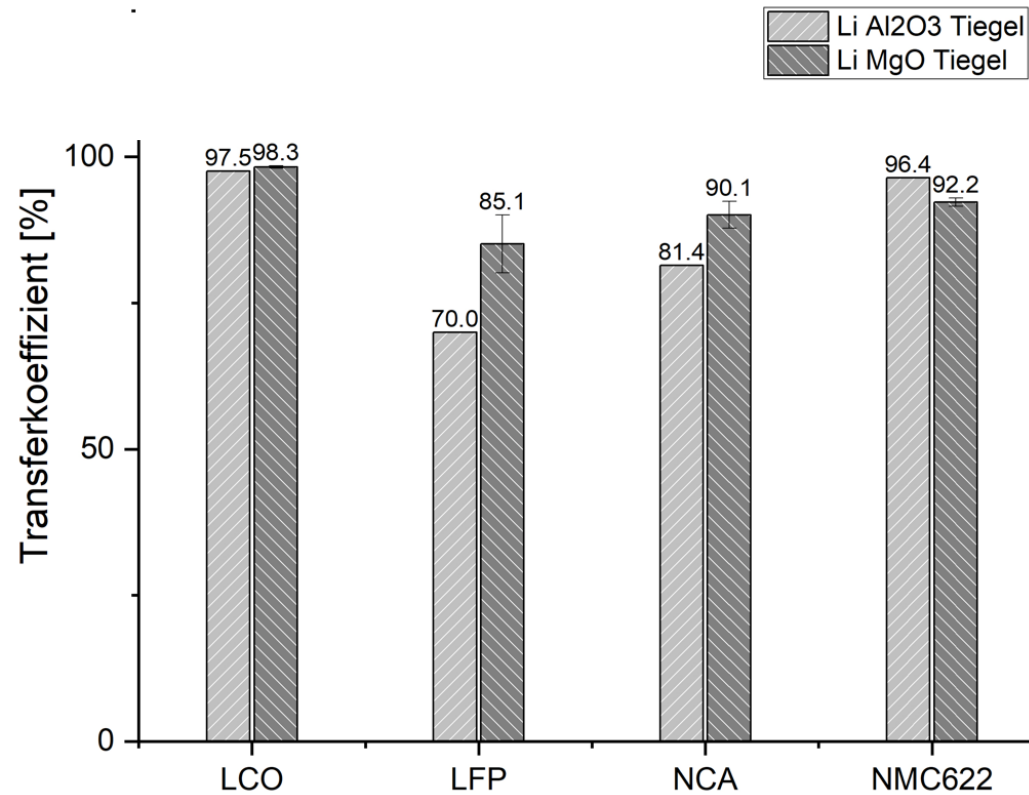


Schematischer Aufbau der InduMelt Anlage (Design 2) ^[7]

[7] Holzer, A.; Wiszniewski, L.; Windisch-Kern, S. and Raupenstrauch, H., Optimization of a Pyrometallurgical Process to Efficiently Recover Valuable Metals from Commercially Used Lithium-Ion Battery Cathode Materials LCO, NCA, NMC622, and LFP, Metals 12 (2022), 10, 1642. DOI: 10.3390/met12101642.

Lithium-Verschlackung wird unterdrückt

- Li-Extraktion aus festem Rückstand / Produkt bei beiden Tiegeldesigns



Vergleich Transferkoeffizient Li aus der Schwarzmasse der beiden Tiegeldesigns^[8]

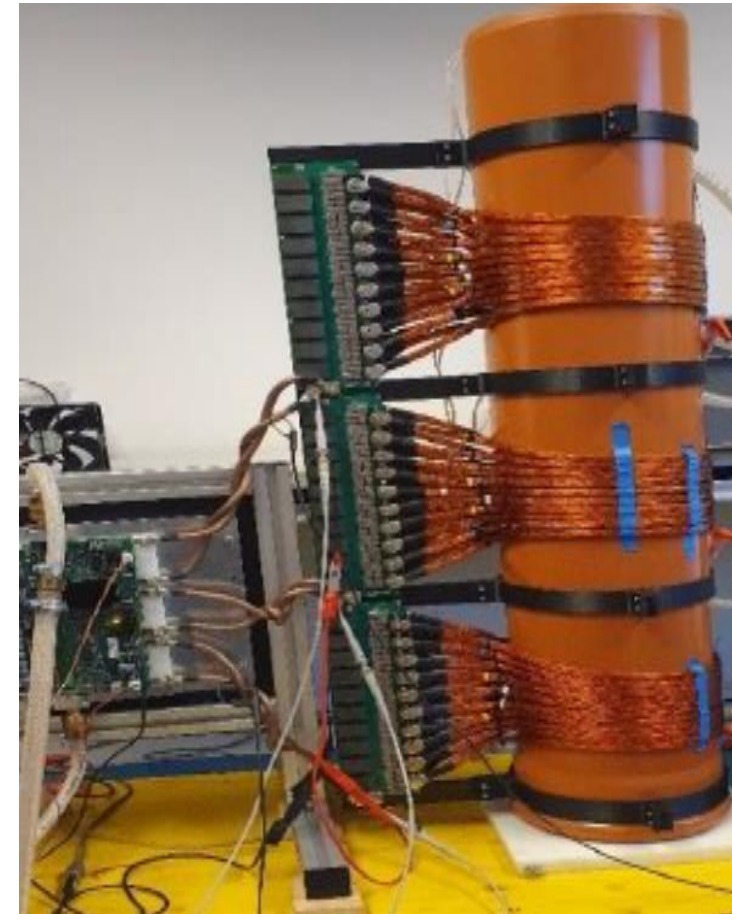
[8] Holzer, A.; Wiszniewski, L.; Windisch-Kern, S. and Raupenstrauch, H., Optimization of a Pyrometallurgical Process to Efficiently Recover Valuable Metals from Commercially Used Lithium-Ion Battery Cathode Materials LCO, NCA, NMC622, and LFP, Metals 12 (2022), 10, 1642. DOI: 10.3390/met12101642.



Ausblick

Optimierung Induktionseinheit

- Kooperation FH Joanneum GmbH Kapfenberg
- Re-Design leistungselektronische Komponenten
 - Höherer Effizienzgrad
 - Minimierung Verluste der Leistungsaufnahme
 - Neugestaltung Resonanzkreisschaltung



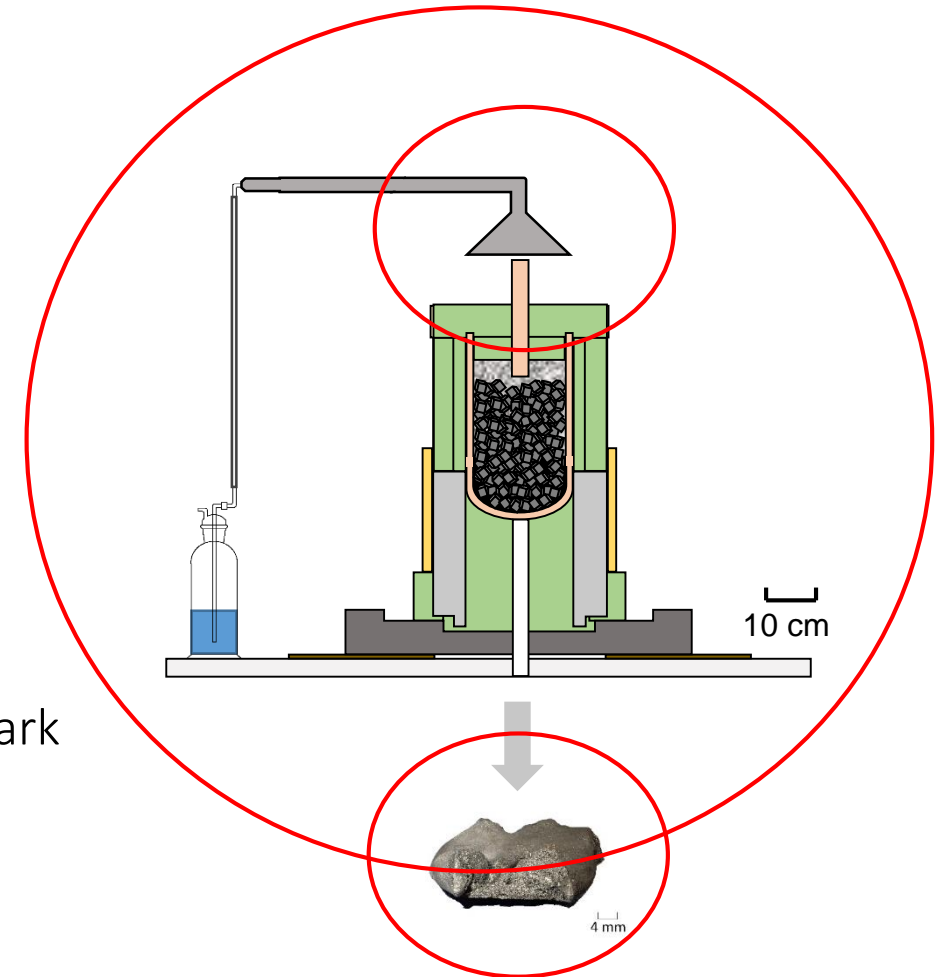
Forschungsplan und Förderprojekte

- 1. Nachbehandlung Gas
 - Li Rückgewinnung
 - CO₂ Verwertung
- 2. Verwertung Metallprodukt
 - Pyro- / Hydro- / Biometallurgische Nachbehandlung
 - Industrielle Verwertung
- 3. Scale-Up
 - Kontinuierlicher Prozess



FFG – COMET Module
FuLiBatter

Zukunftsfonds Steiermark
ScaleFiciency

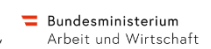
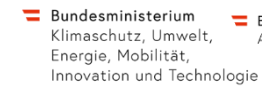




Unterstützt von:



Gefördert von:



Room for questions