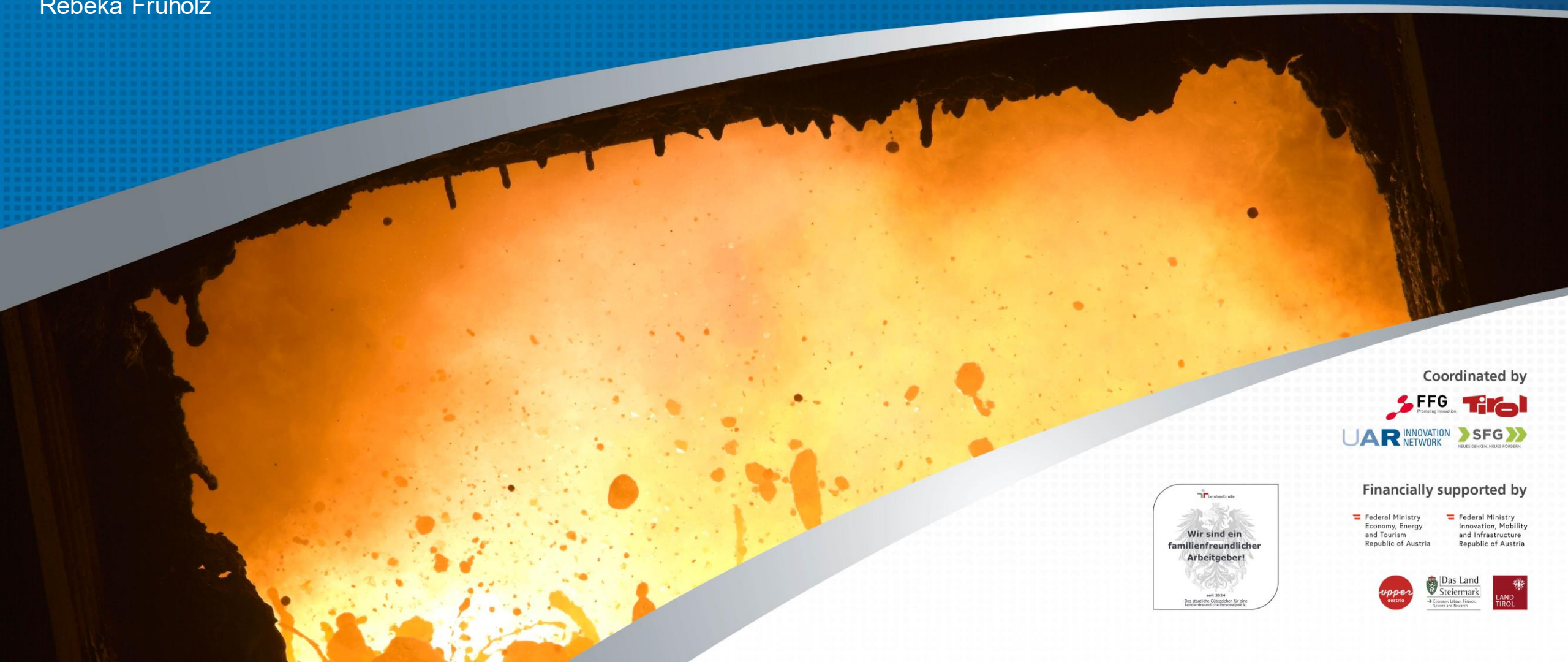


COMET Modul FuLIBatteR

Recycling kritischer Rohstoffe aus Lithium-Ionen-Batterien

Raus aus der Nebelzone, Kreislaufwirtschaft-Welt ohne Müll, Kremsmünster, 18. Mai 2026

Rebeka Frühholz



Coordinated by



Financially supported by

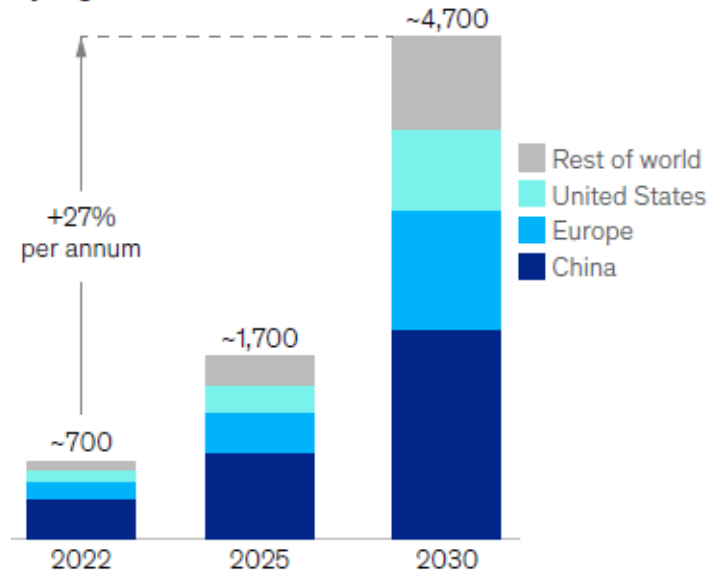


- Motivation
- COMET Modul FuLIBatteR
- Highlights aus Projekt 1 und Projekt 3
- Zusammenfassung und Ausblick

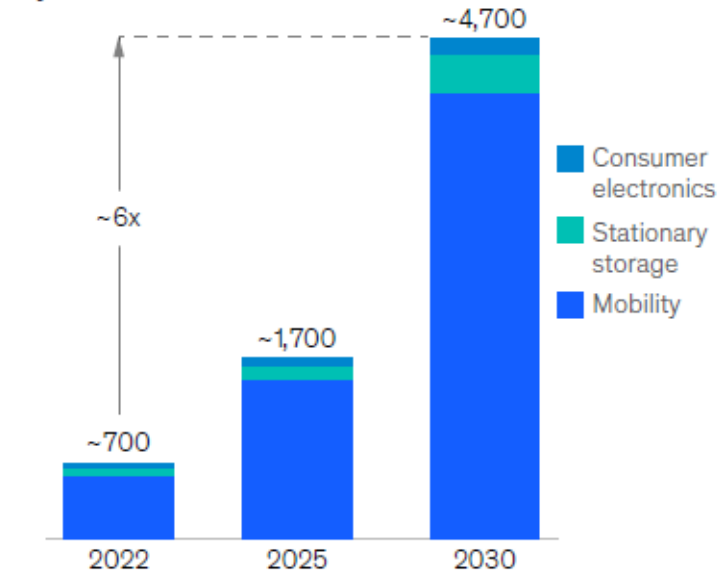
Motivation

Global Li-ion battery cell demand, GWh, Base case

By region

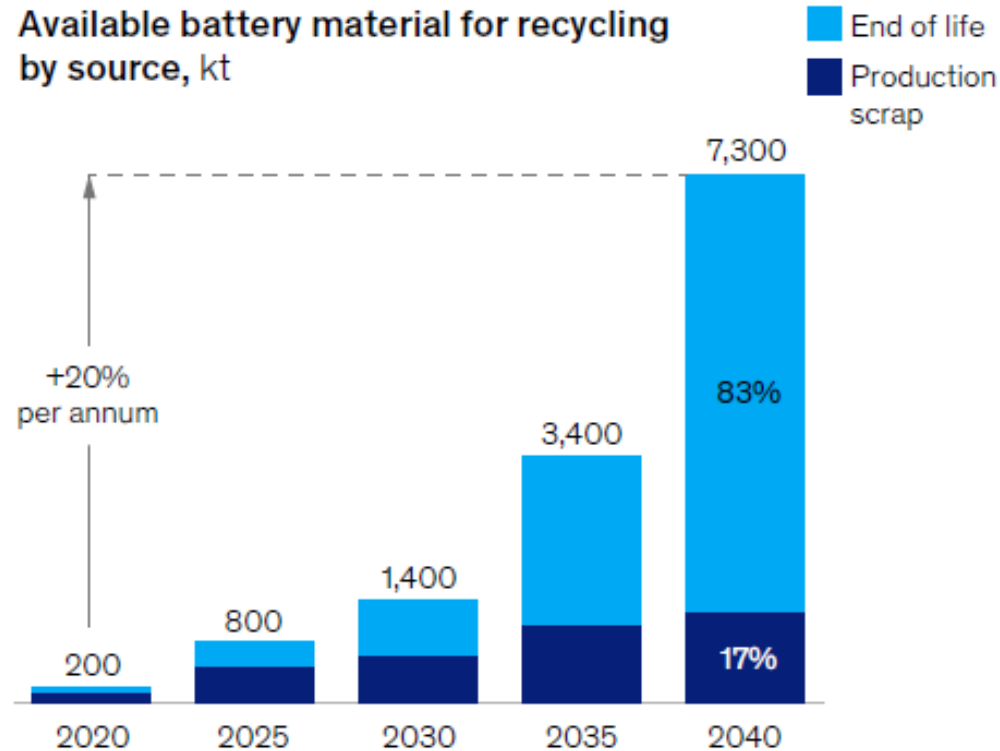


By sector



¹Including passenger cars, commercial vehicles, two-to-three wheelers, off-highway vehicles, and aviation.
Source: McKinsey Battery Insights Demand Model

- Steigender Bedarf an Lithium-Ionen-Batterien (LIBs):
 - 33% jährliche Steigerung
 - 2030: 4700 GWh
- Spielen eine wichtige Rolle für:
 - Dekarbonisierung des Transportes
 - Übergang von fossilen Brennstoffen zu erneuerbaren Energien



¹Values represent an average across all battery types.
Source: McKinsey Battery Insights, 2022

- Verfügbares Recyclingmaterial nimmt jährlich um 20% zu
- Vorteile LIB-Recycling:
 - Reduziert die Importabhängigkeit
 - Rückgewinnung kritischer Metalle wie Li, Ni, Co, Cu und Mn
 - Aufbau einer europäischen Rohstoff-Kreislaufwirtschaft
- Aktuelle Schwierigkeiten beim Recycling:
 - Ändernde Zellchemien
 - Sinkende Batteriekosten und geringerer Materialwert
 - Zunahme an kostengünstigeren LIB-Varianten wie Lithium-Eisenphosphat (LFP) statt Nickel-Mangan-Cobalt (NMC) Batterien



COMET Module FuLiBatter

COMET Module FuLIBatteR

Future Lithium-Ion Battery Recycling for Recovery of Critical Raw Materials



 Project 1

Waste management and waste technological approaches for LIB recycling

 Project 2

Pyrometallurgical processing of LIBs and black matter

 Project 3

Bio-hydrometallurgical treatment of LIB residues

Ziel: Nachhaltige Rückgewinnung wertvoller Metalle und kritischer Rohstoffe und Schließung von Stoffkreisläufen



Duration

01.07.2022 - 30.06.2026



Funding

Federal funding, state funding from Upper Austria and Styria, participation of scientific and industrial partners



Budget

3,75 Mio.€



Federal Ministry Republic of Austria Labour and Economy

Federal Ministry Republic of Austria Climate Action, Environment, Energy, Mobility, Innovation and Technology



UAR INNOVATION NETWORK



COMET Module FuLIBatterR

Project Partners

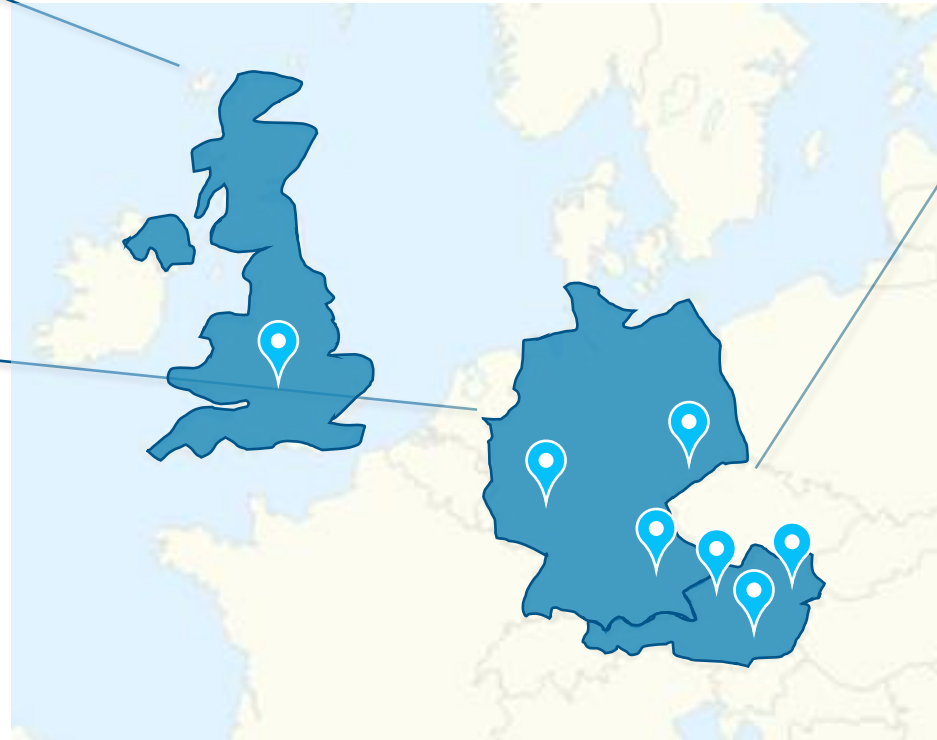
United Kingdom



Germany



B·R·A·I·N



Austria



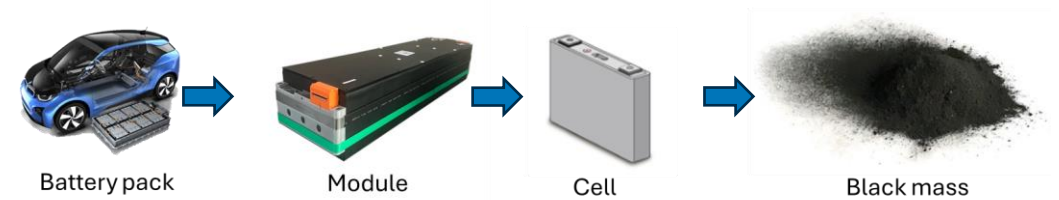
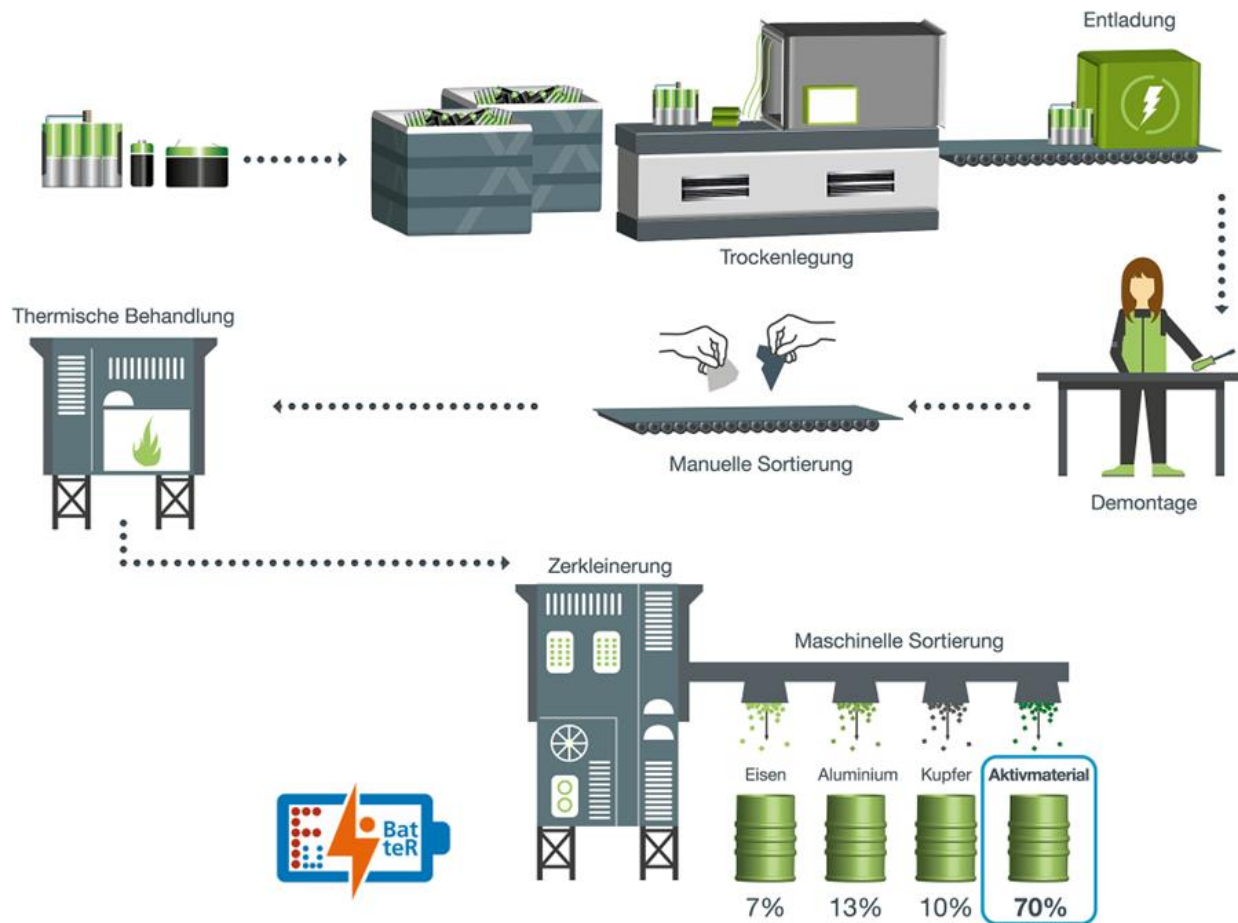
Landesgesellschaft Österreich



Saubermacher

REDUX LIB Recycling Prozess

Aktivmaterial/Schwarzmasse als Ausgangspunkt für FuLIBatteR



Schwarzmasse macht etwa 70 % des gesamten Batteriegewichts aus und enthält C (Graphit) und wertvolle Elemente wie Li, Co, Ni, Mn und P

Auszug Batterietypen:

- NMC: Nickel-Mangan-Cobalt
- LFP: Lithium-Eisen-Phosphat
- LCO: Lithium-Cobalt-Oxide

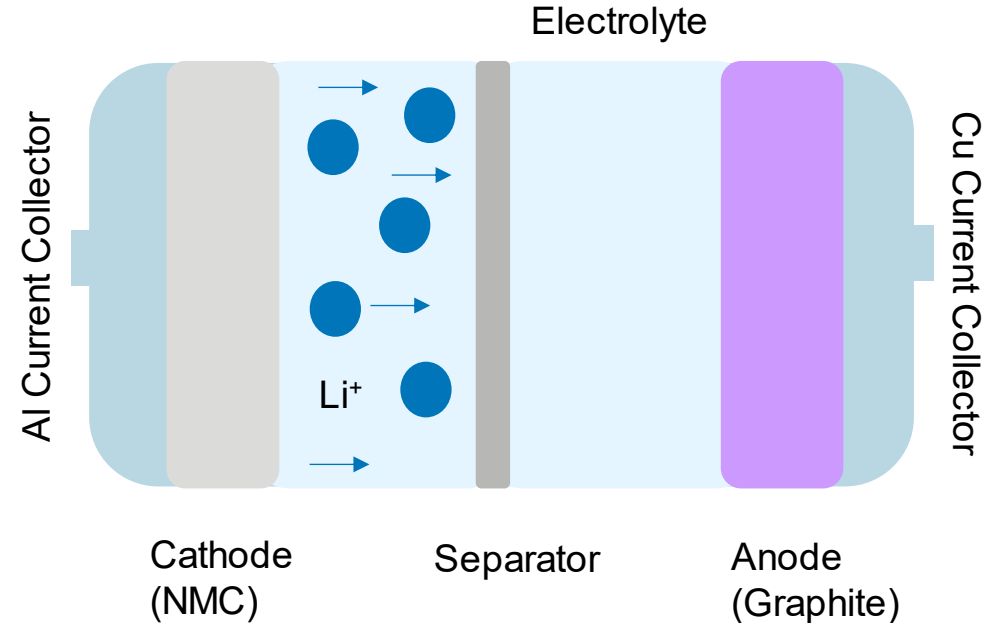
Regulatorischen Vorgaben

EU-Batterieverordnung 2023/1542, Critical Raw Materials (CRM) Act



- Mindesteffizienzen für das Batterierecycling
- Graphit: kritischer Rohstoff

Metall	2027	2031
Li	50%	80%
Co	90%	95%
Ni	90%	95%
Cu	90%	95%





Projekt 1: Waste management and waste technological approaches for LIB recycling

- Graphit Abtrennung mittels Flotation:
 - 90% Kohlenstoffrückgewinnung erreicht für NMC, LCO und LFP
 - Starker Einfluss des Aktivmaterials auf Selektivität
 - Flotierter Graphit wurde erfolgreich als sekundäre Kohlenstoffquelle in Feuerfeststeinen eingesetzt (Magnesia-Kohlenstoffsteine)
- Beispiel für open-loop Recycling

Publikation dazu veröffentlicht:

*Rieger, Johannes, et al. "Graphite separation from lithium-ion battery black mass using froth flotation and quality evaluation for reuse as a secondary raw material including non-battery applications." *Recycling* 10.2 (2025): 75.

<https://www.mdpi.com/2313-4321/10/2/75>



Saubermacher

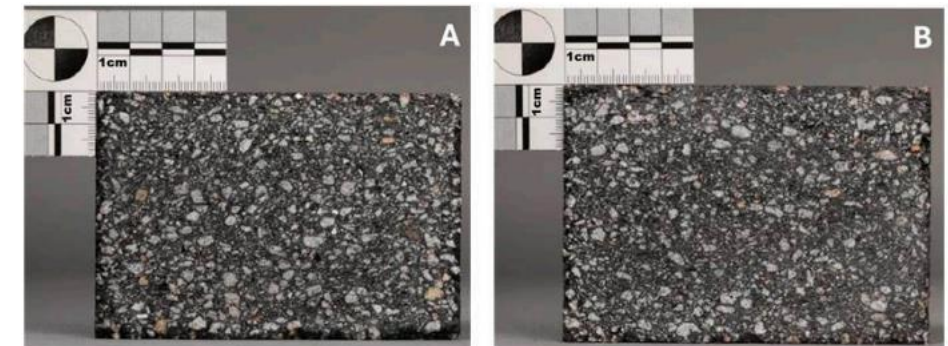
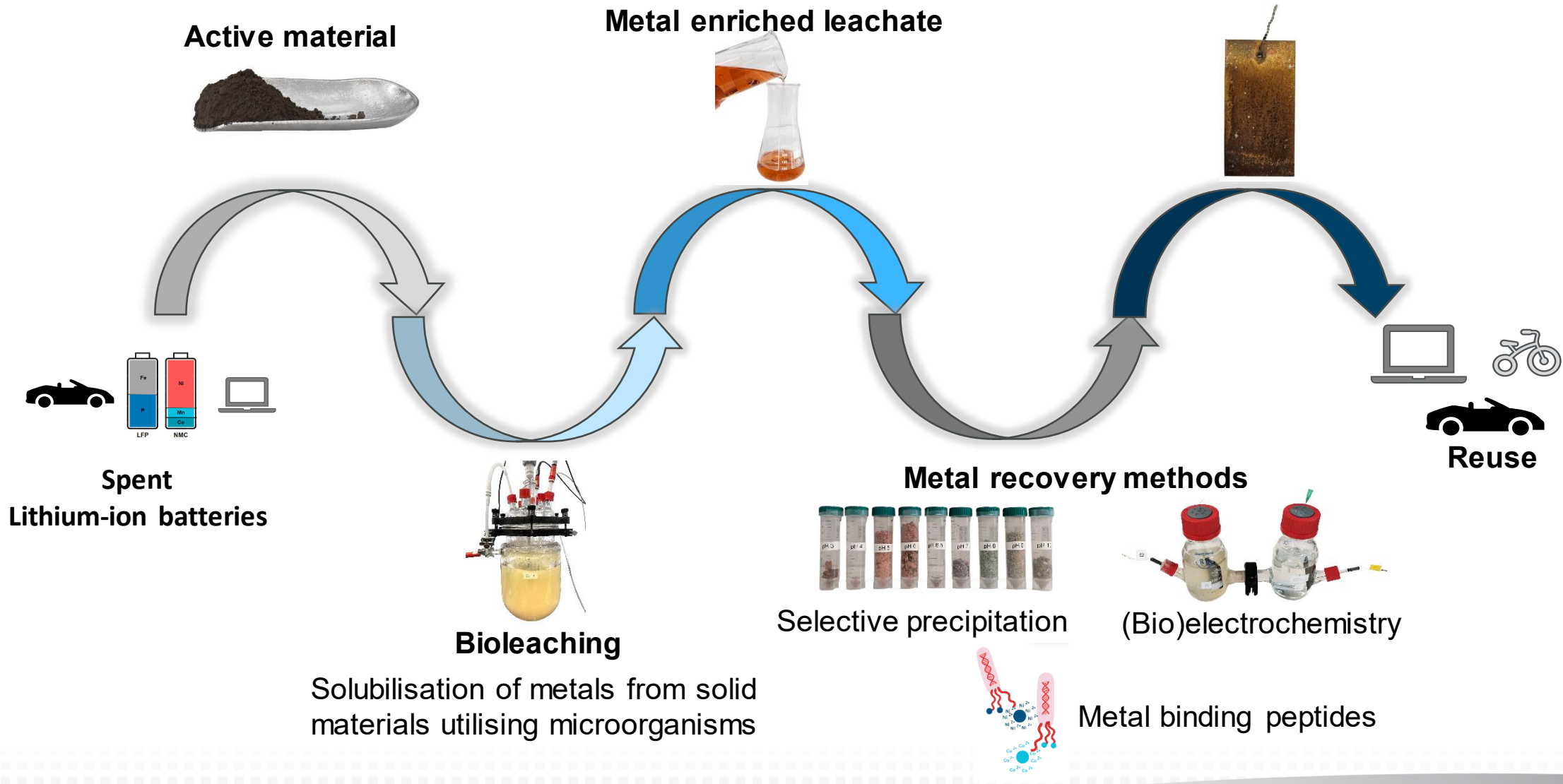


Figure 7. Low-carbon-containing MgO-C brick with standard carbon mixture (A); flotation graphite partially substituting the soot fraction (B).

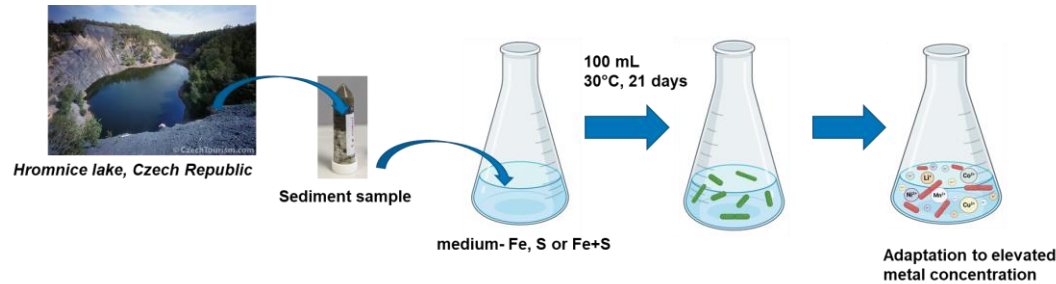
Projekt 3 **Biohydrometallurgical treatment of LIB residues**

Entwicklung einer biohydrometallurgischen Route zum LIB-Recycling



▪ Direktes Bioleaching:

- Direkter Kontakt zwischen Mikroorganismen und Schwarzsasse
- Bakterienkultur aus aufgelassenem Bergbausee entnommen und kultiviert und an erhöhte Metallkonzentrationen (Co, Ni,...) angepasst

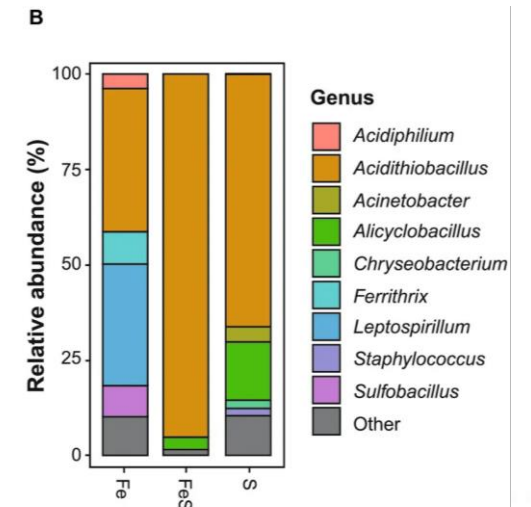
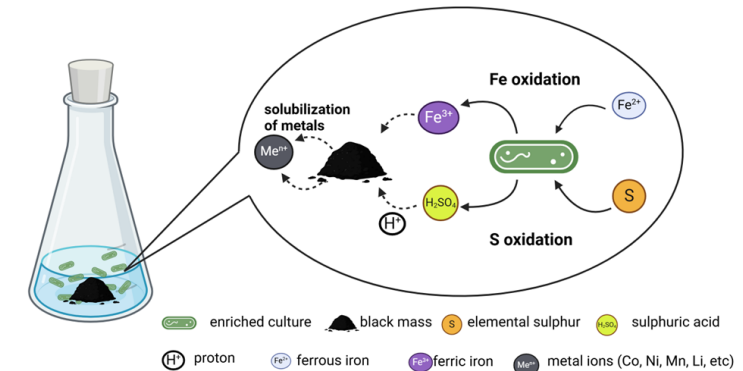


- Mikrobielle Zusammensetzung nach Adaptierung: *Acidithiobacillus thiooxidans*, *Alicyclobacillus disulfidooxidans*, *Lepotspirillum*...

Publikation dazu veröffentlicht:

Lalropuia, Lalropuia, et al. "Metal recovery from spent lithium-ion batteries via two-step bioleaching using adapted chemolithotrophs from an acidic mine pit lake." *Frontiers in Microbiology* 15 (2024): 1347072.

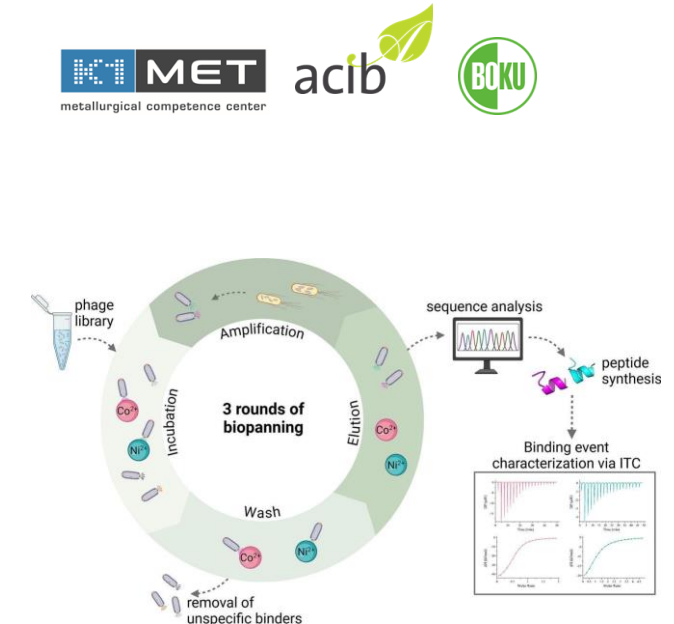
<https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2024.1347072/full>



Metall-bindende Peptide



- Hochselektive, umweltfreundliche Biosorbentien die Zielmetalle binden können
- Identifizierung der Peptide erfolgt mittels Phagen-Surface Display
- Untersuchungen zur selektiven Co und Ni Rückgewinnung durchgeführt
- Publikation dazu veröffentlicht:
 - Sieber, Anna, et al. "Phage display screening for highly specific nickel- and cobalt-binding peptides for bio-recovery of metals." Waste Management 208 (2025): 115145.
 - <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X25005562>



(Bio)elektrochemische Metallrückgewinnung

- Electrowinning:
 - Abscheidung von Co und Ni an der Kathode (93% Co und 7% Ni)
 - Mn Abscheidung an der Anode (62% Mn, 23% Co, 15% Ni)

Fällung

- Li Fällung mit Na_2CO_3 bei pH 10.5 um Li_2CO_3 zu erhalten

- Publikation dazu veröffentlicht:

- Baniasadi, Mahsa, et al. "Towards a circular economy in lithium ion battery recycling by integrating microbial processes with electrowinning and precipitation for sustainable metal recovery." *Journal of Environmental Management* 395 (2025): 127891.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479725038678#undfig1>

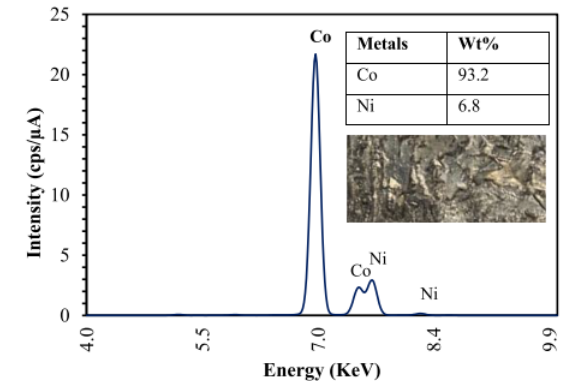


Fig. 13. Product analysis of foil plated on cathode surface (Co and Ni) at 5 mA/cm².

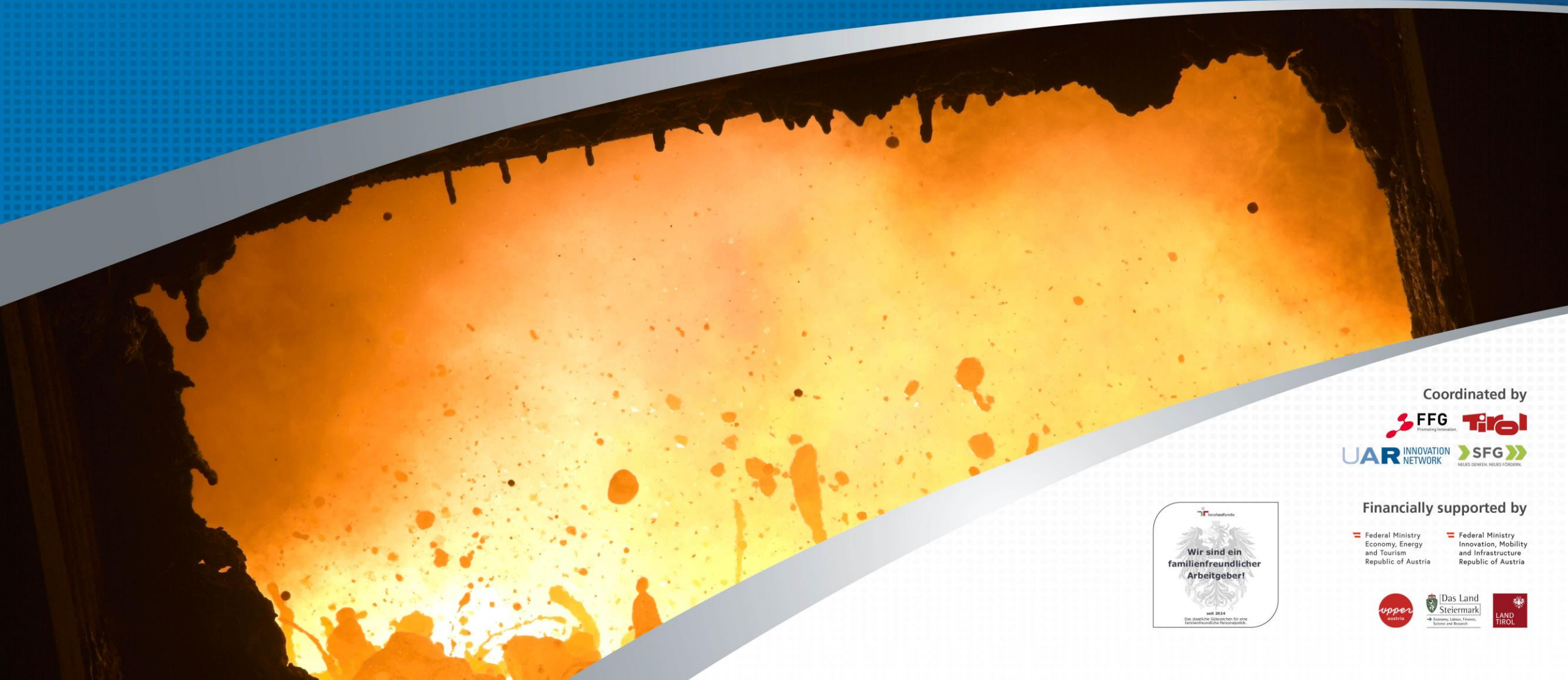


- Flotation als effektive Methode zur Abtrennung und Rückgewinnung von Graphit
 - Open-loop Recycling wurde erfolgreich demonstriert
- Anwendungspotenzial biohydrometallurgischer Methoden erfolgreich demonstriert:
 - Bioleaching von Aktivmasse von Schüttelkolbenversuchen bis hin zu 1L Laugungsreaktoren
 - Blockflussdiagramm für 1m³ Laugungsreaktor wurde erstellt
 - Biogene Säureproduktion für indirekte Laugungsversuche
 - Anwendbarkeit von biobasierten und konventionellen Metallrückgewinnungsmethoden wurden demonstriert
 - ABER: Closed-loop Recycling erfordert sehr hohe Reinheiten → weitere Forschung notwendig, um diese zu erreichen und um Recyclingeffizienzen zu steigern!

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Raus aus der Nebelzone, Kremsmünster, 18. Mai 2026

Rebeka Frühholz



Coordinated by



Financially supported by

