

# Sustainable recycling solutions for lithium-ion batteries

M. Revello Olivo<sup>1,2\*</sup>, A. D'Souza<sup>1,2</sup>, A. Cossmer<sup>4</sup>, B. Choi<sup>1</sup>, H. Khadse<sup>1</sup>, B. Meermann<sup>4</sup>, G. Beck<sup>1,2</sup>

*1: Institute of Applied Resource Strategies (IARS), SRH Berlin University of Applied Sciences, Berlin, Germany.*

*2: ABCircular GmbH, Berlin, Germany*

*3: Institut für Angewandte Materialien, Karlsruher Institut für Technologie*

*4: Federal Institute for Materials Research and Testing (BAM), Division 1.1 –Inorganic Trace Analysis*

## Inhalt

**01 Einleitung**

**02 Kooperationsprojekt BatCycle**

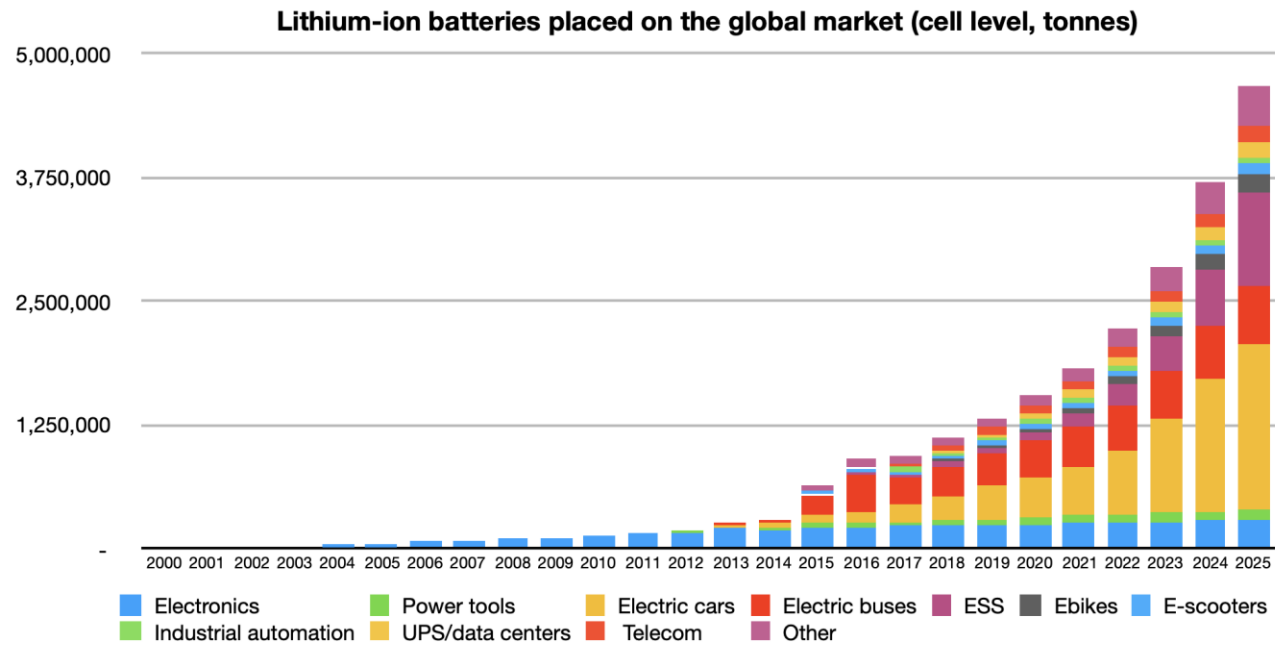
**03 Zusammenfassung**

**04 Ausblick**

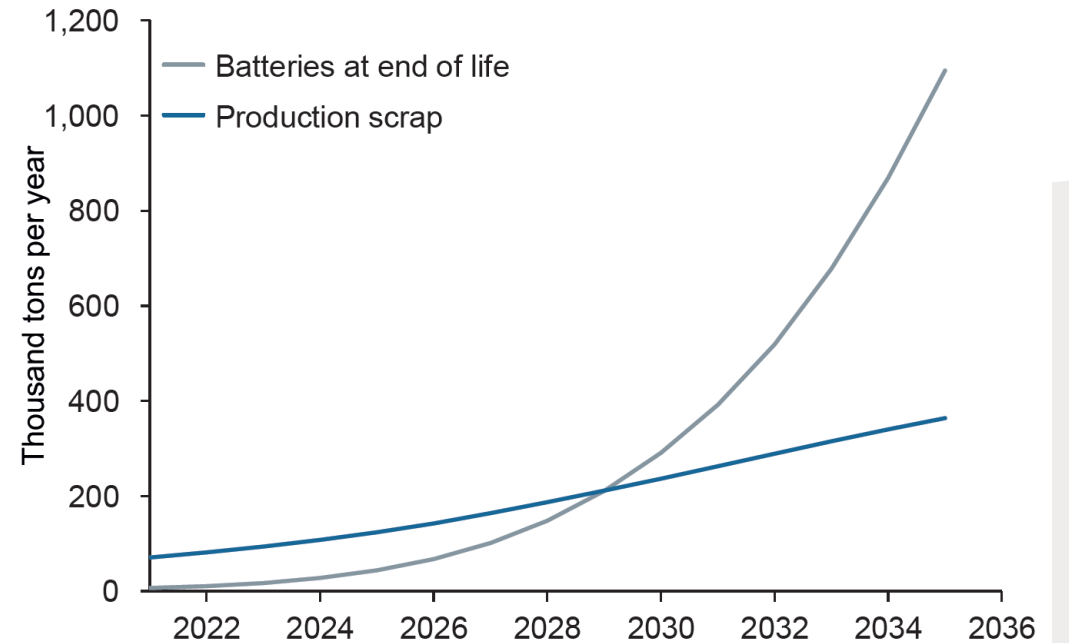
# Einleitung

# 01

# Einleitung



Li-Ionen-Batterien auf dem Weltmarkt nach Anwendungen von 2000-2025<sup>[1]</sup>

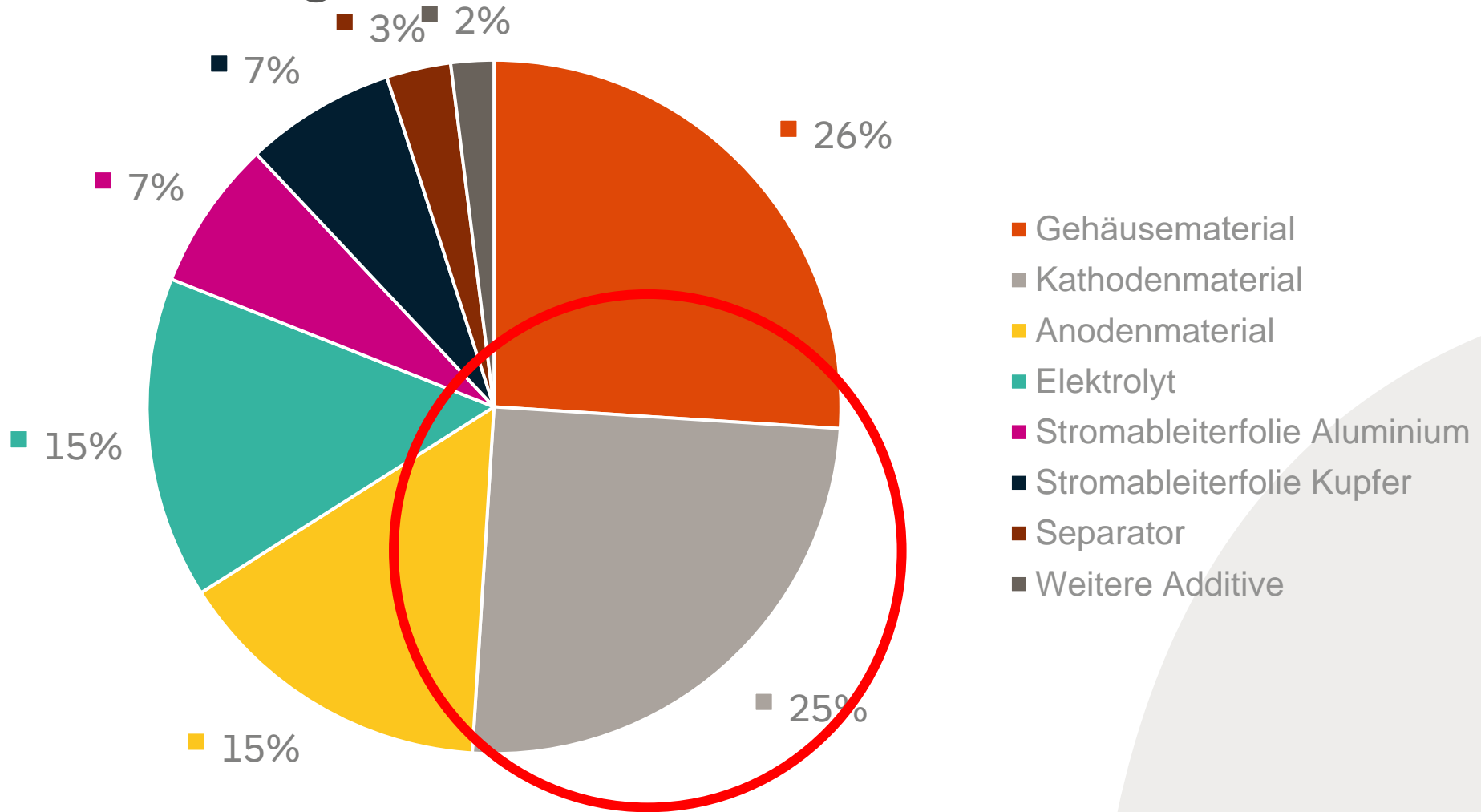


Geschätzte Rücklaufquoten von Lithium-Ionen-Batterien und Menge des Batterieproduktionsschrotts in Europa.<sup>[2]</sup>

[1] Melin, H. E. (n.d.). *State-of-the-art in reuse and recycling of lithium-ion batteries.*

[2] *Battery Atlas 2024*

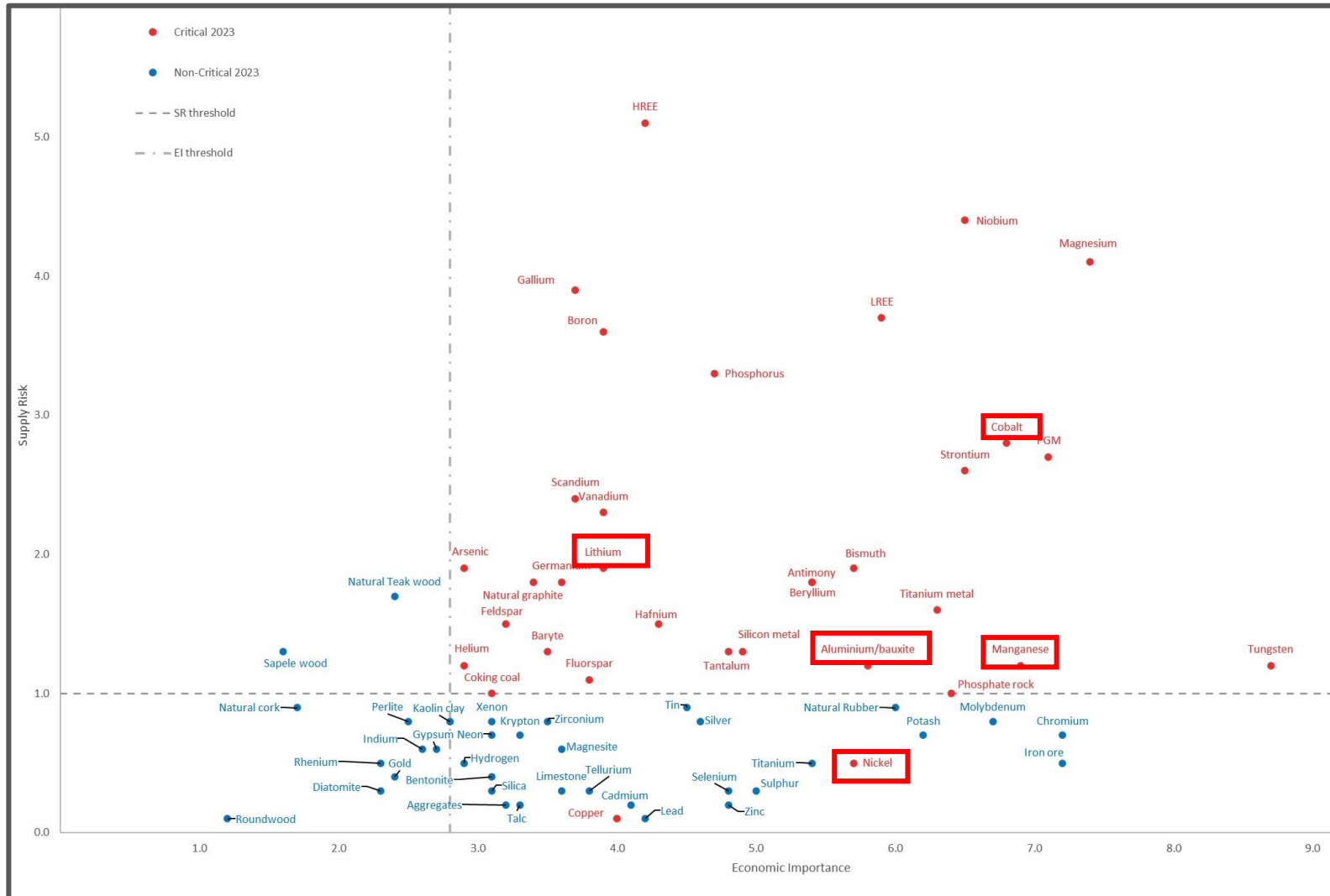
# Zusammensetzung Li-Ionen-Akku



Exemplarische Zusammensetzung einer kommerziellen Li-Ionen-Batteriezelle<sup>[3]</sup>

[3] Sojka, R., Pan, Q., & Billmann, L. (n.d.). *Comparative study of Li-ion battery recycling processes.*

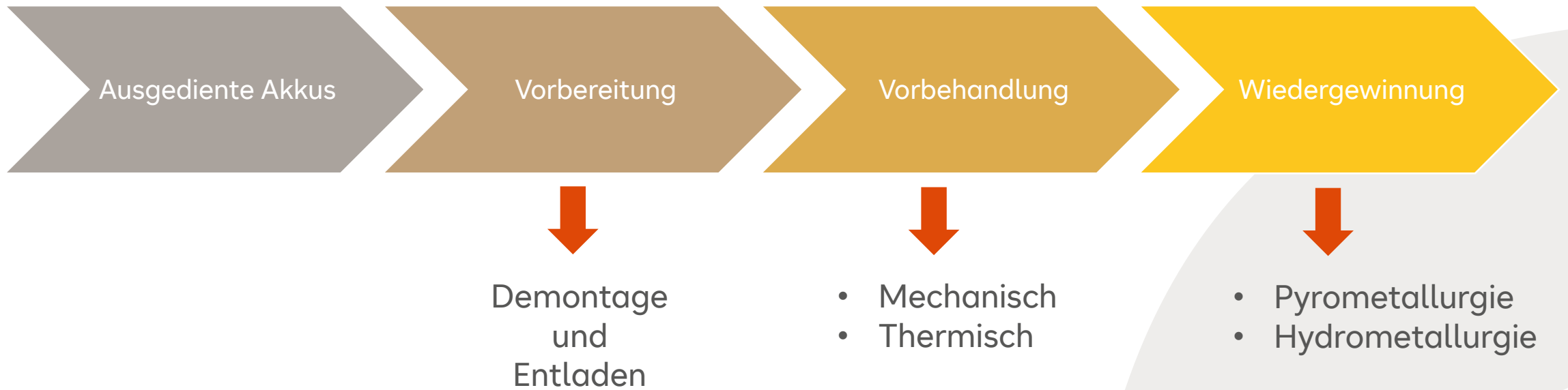
# Kritische Materialien in NMC Li-Ionen Akkus



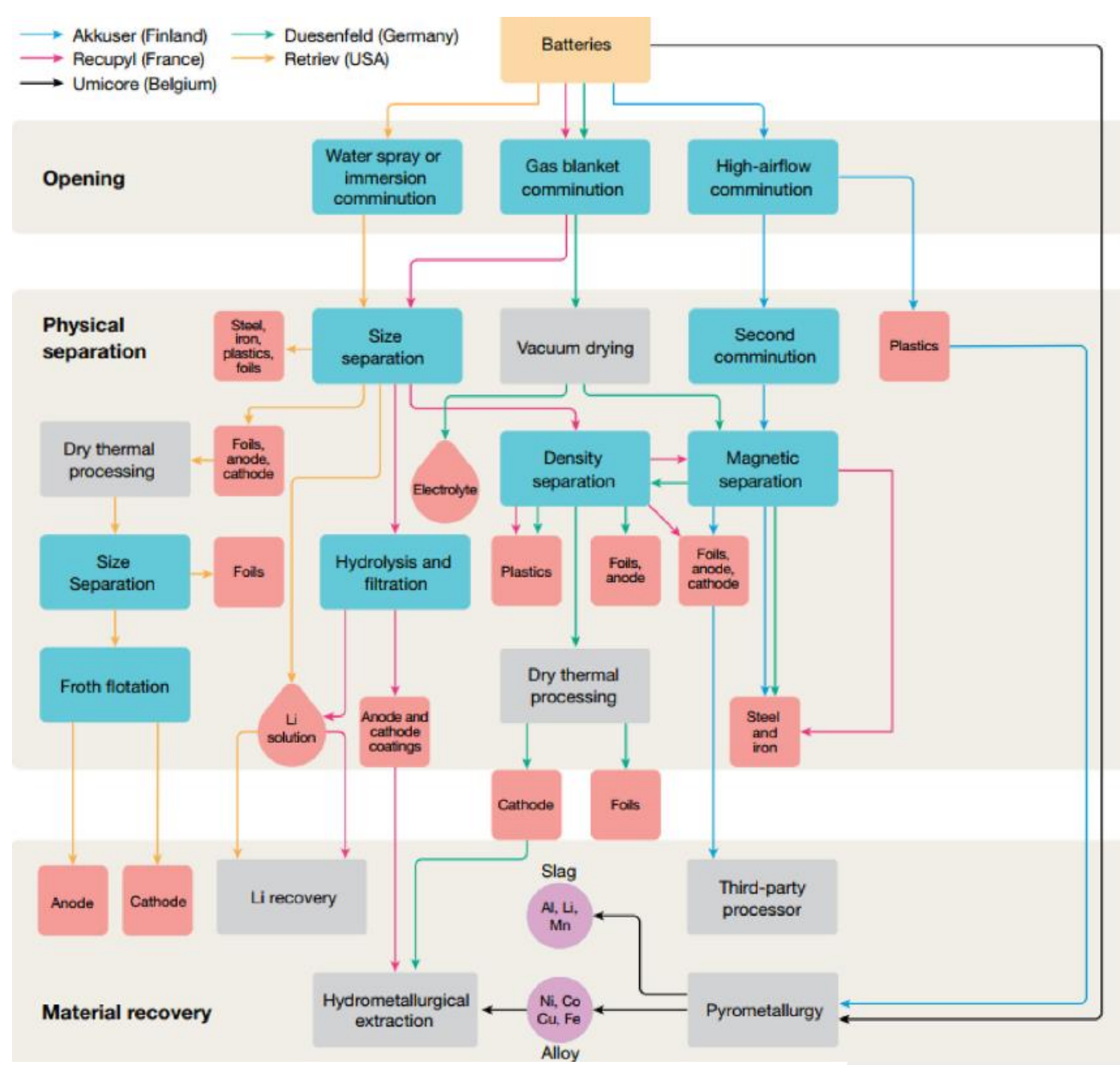
Wirtschaftliche Bedeutung und Versorgungsrisiko: Ergebnisse der Kritikalitätsbewertung für 2023<sup>[4]</sup>

[4] European Commission. Joint Research Centre., *Cobalt: demand supply balances in the transition to electric mobility*. LU: Publications Office, 2023.

# Recycling von Li-Ionen Akkus



# Verschiedene Recycling Prozesse



[5] Li, P., Luo, S., Zhang, L., Liu, Q., Wang, Y., Lin, Y., Xu, C., Guo, J., Cheali, P., & Xia, X. (2024). Progress, challenges, and prospects of spent lithium-ion batteries recycling: A review. *Journal of Energy Chemistry*, 89, 144–171. <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2023.10.012>

# Pyrometallurgisches Recycling

- Große Chargen
- Hocheffizient für einige Metalle



# Pyrometallurgisches Recycling

- Große Chargen
- Hocheffizient für einige Metalle



- Hoher Energiebedarf
- Geringe Rückgewinnungsrate für Mn und Li
- Abfall- und Abgasbehandlung

# Hydrometallurgisches Recycling

- Weniger Emissionen
- Hohe Reinheit
- Niedriger Energieverbrauch



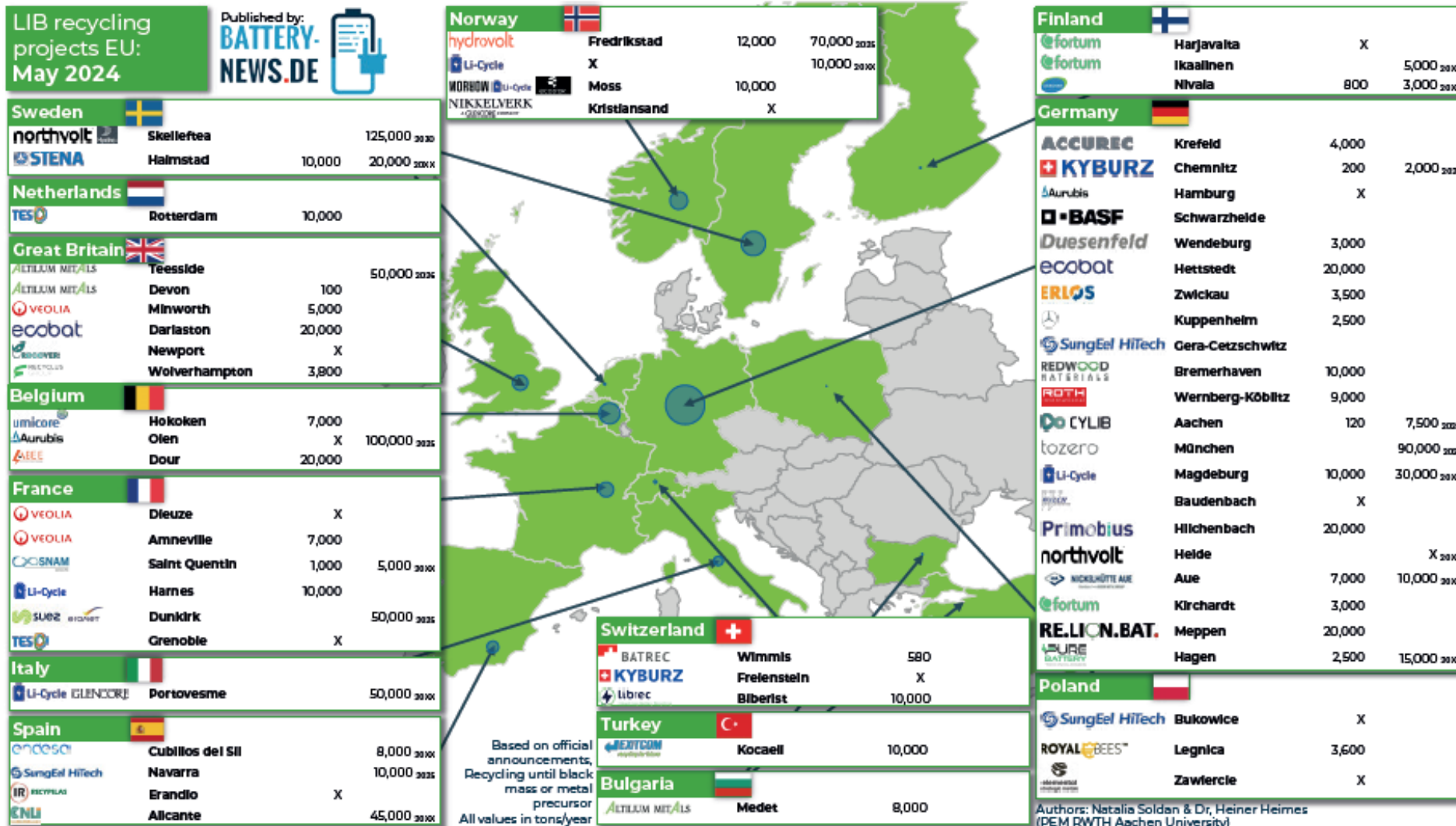
# Hydrometallurgisches Recycling

- Weniger Emissionen
- Hohe Reinheit
- Niedriger Energieverbrauch



- Verwendung von schädlichen und aggressiven Chemikalien
- Chemikalienabfälle

# Recyclinganlagen in Europa



Deutschland ist auf dem europäischen Markt für Batterierecycling führend, was vor allem auf seine starke Automobilindustrie und die bedeutende Batterieproduktion zurückzuführen ist.

# Recyclinganlagen global



[7] Hantanasirisakul, K., & Sawangphruk, M. (2023). Sustainable Reuse and Recycling of Spent Li-Ion batteries from Electric Vehicles: Chemical, Environmental, and Economical Perspectives. *Global Challenges*, 7. <https://doi.org/10.1002/gch2.202200212>

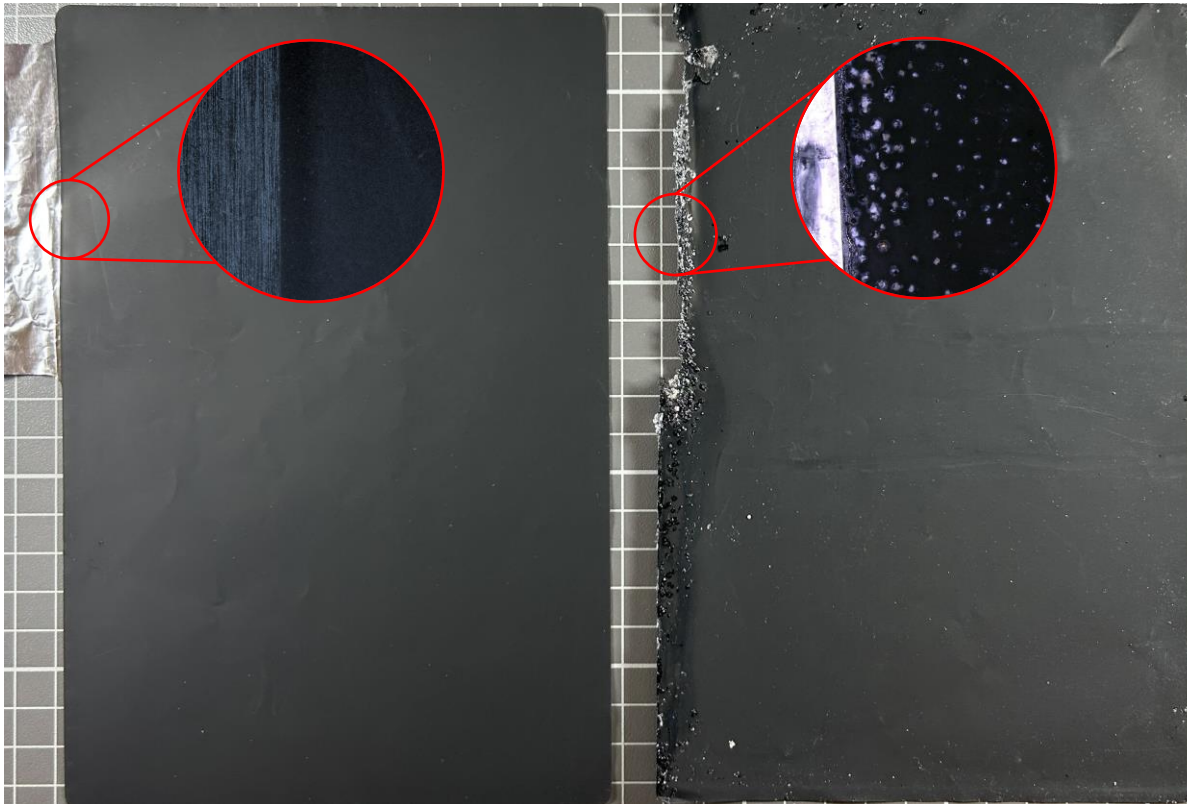
# Kooperationsprojekt BatCycle

# 02



# Einsatzmaterial

Bei dem zu untersuchenden Material handelt es sich um (unbenutzte) Produktionsabfälle und (zyklisiertes) End-of-Life Kathodenmaterial.

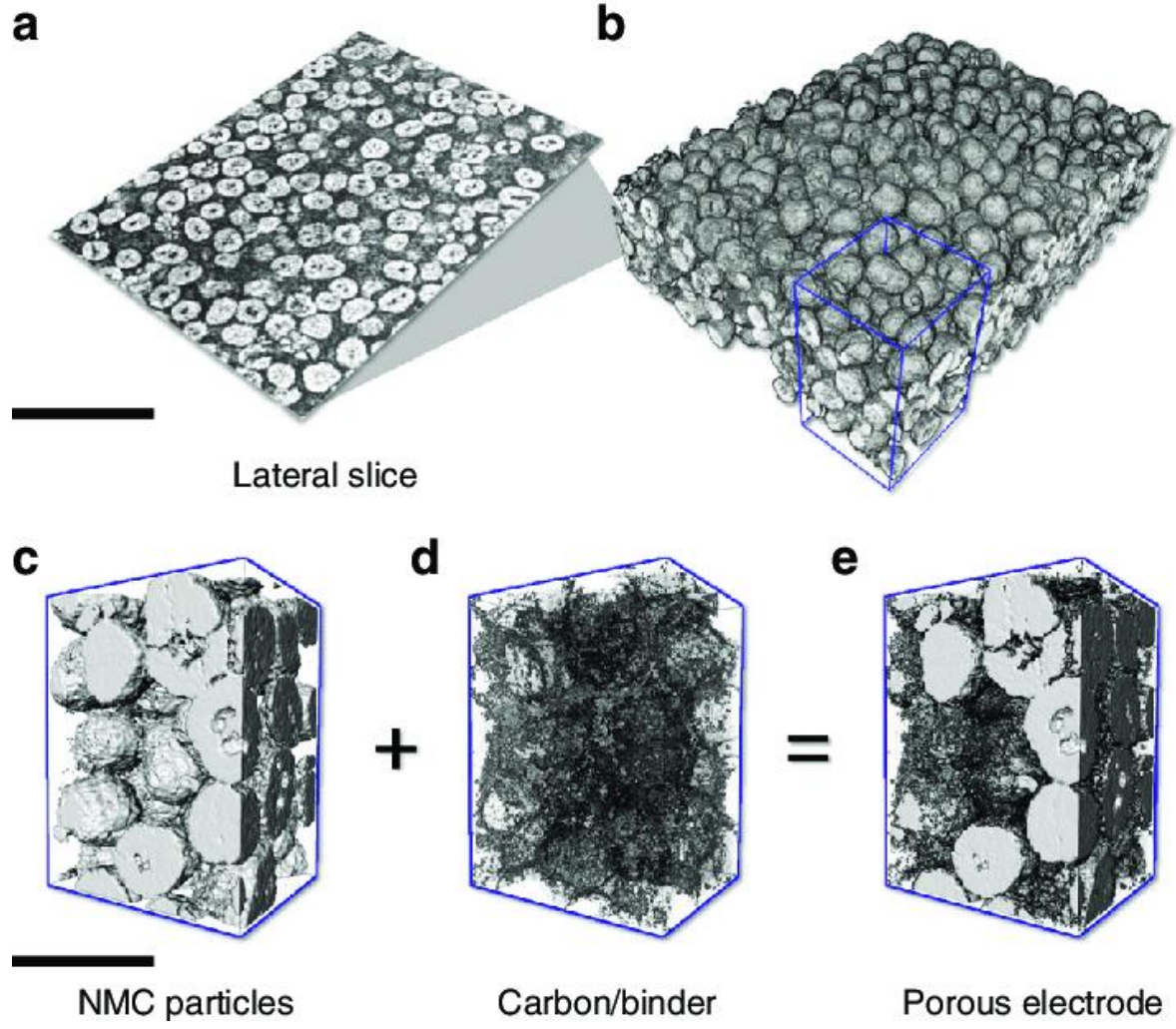


*Ungenutztes Kathodenmaterial (links) und degradierte zyklisierte Kathode (rechts)*



Schematische Darstellung des untersuchten NMC-111-Kathodenmaterials

# Bindemittel



Bindemittel zwischen Aktivmaterial und Aluminiumfolie<sup>[5]</sup>

Bindemittel wird verwendet, um sicherzustellen, dass das Aktivmaterial an der Stromableiterfolie haftet. Meistens wird Polyvinylidenfluorid (PVDF) verwendet.

[5] Z. Jiang et al., "Machine-learning-revealed statistics of the particle-carbon/binder detachment in lithium-ion battery cathodes," *Nat. Commun.*, vol. 11, p. 2310, May 2020, doi: 10.1038/s41467-020-16233-5.

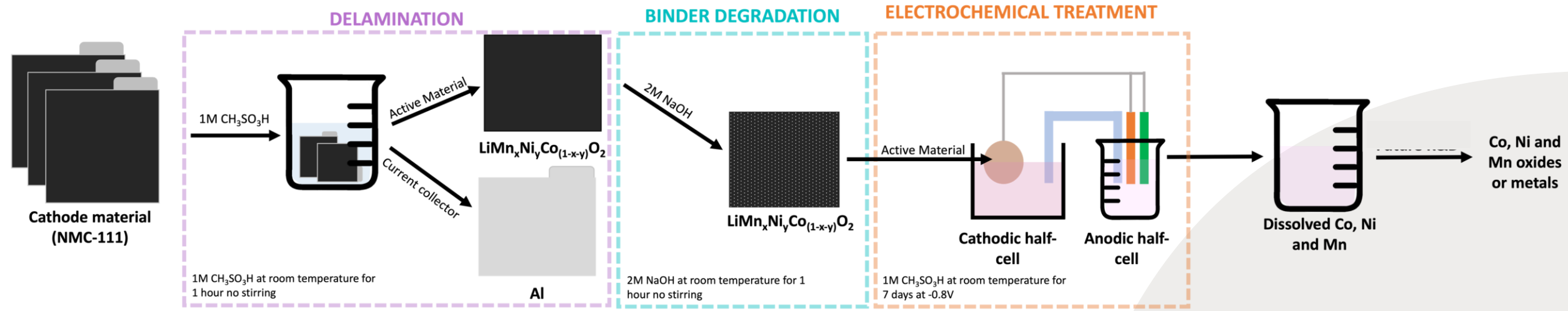
## Ziele

- Delaminierung des Aktivmaterials
- Rückgewinnung von hochreinem Metall, Metalloxiden
- Anwendung des Verfahrens auf Produktions- und End-of-Life-Abfälle.

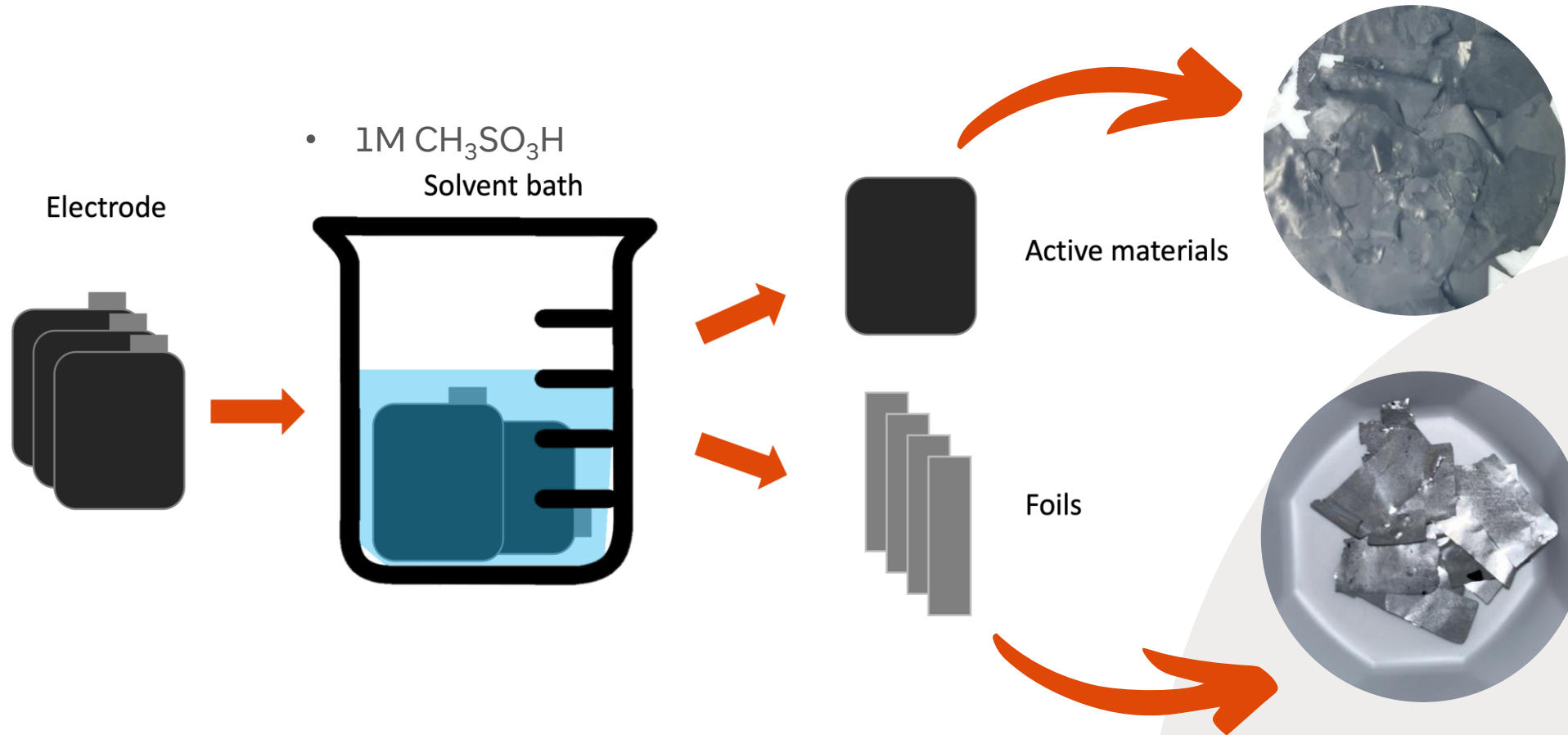
## Herausforderungen

- Elektrochemische Behandlung von Metalloxiden.
- Komplexe Chemie im Eingangsmaterial.
- Bindemittel stört Auflösung.

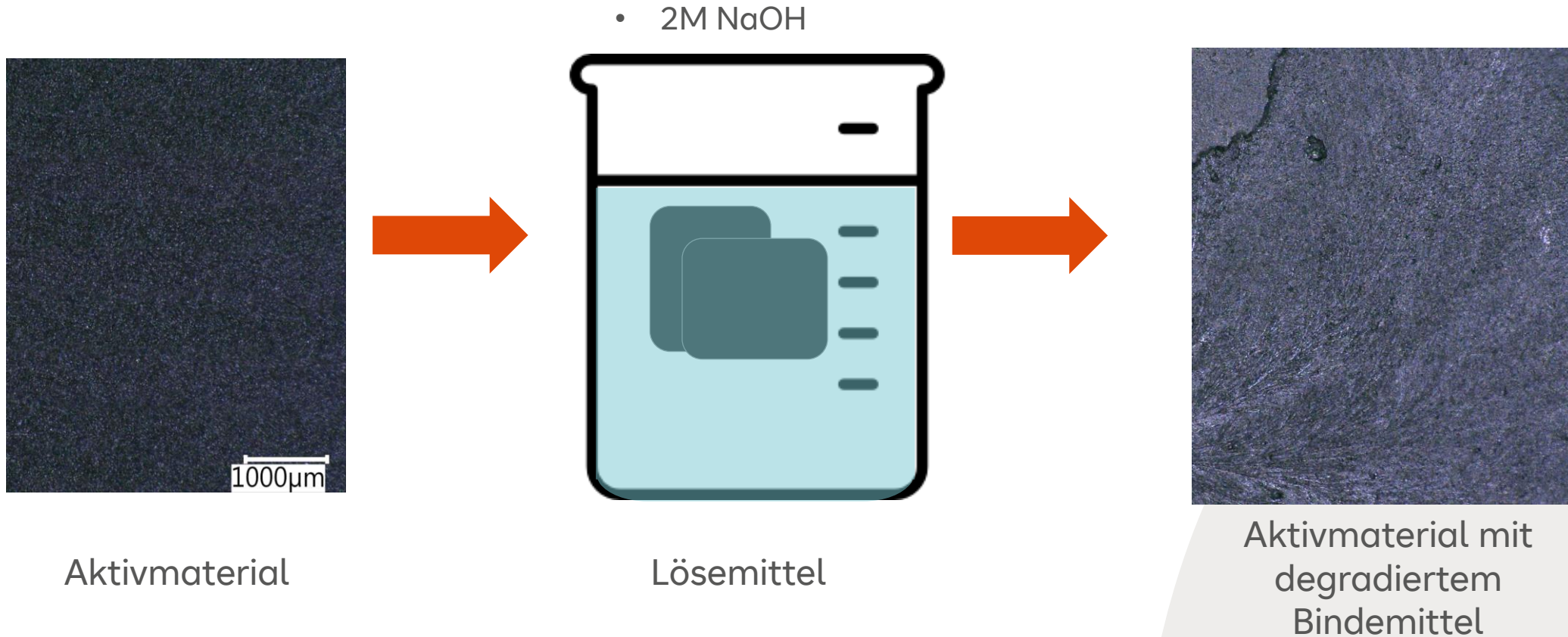
# Prozess Fließbild



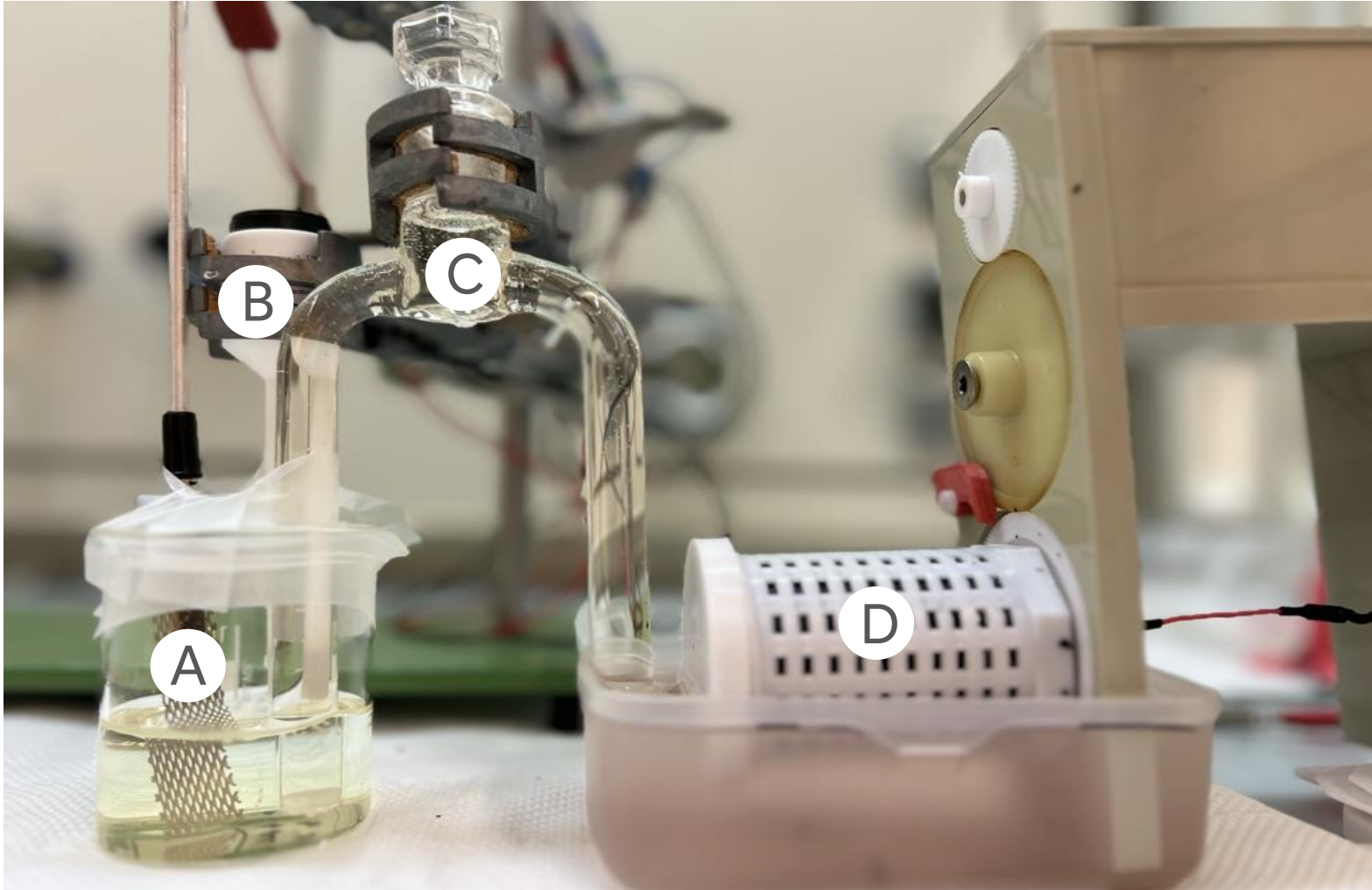
# Schritt 1 Delaminierung



# Schritt 2 Degradierung Bindemittel



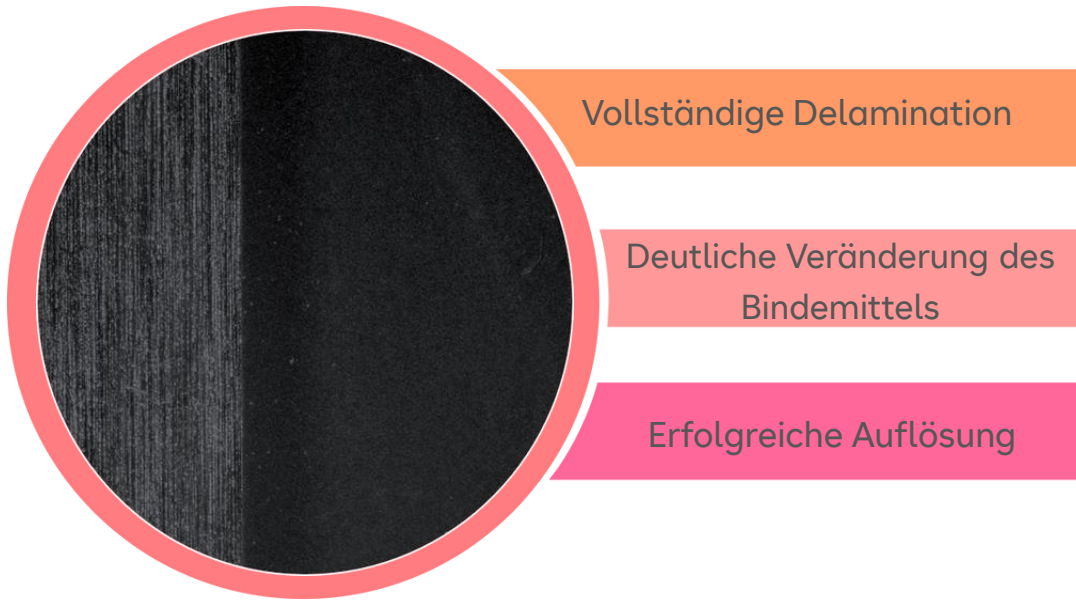
## Schritt 3 Elektrochemische Behandlung



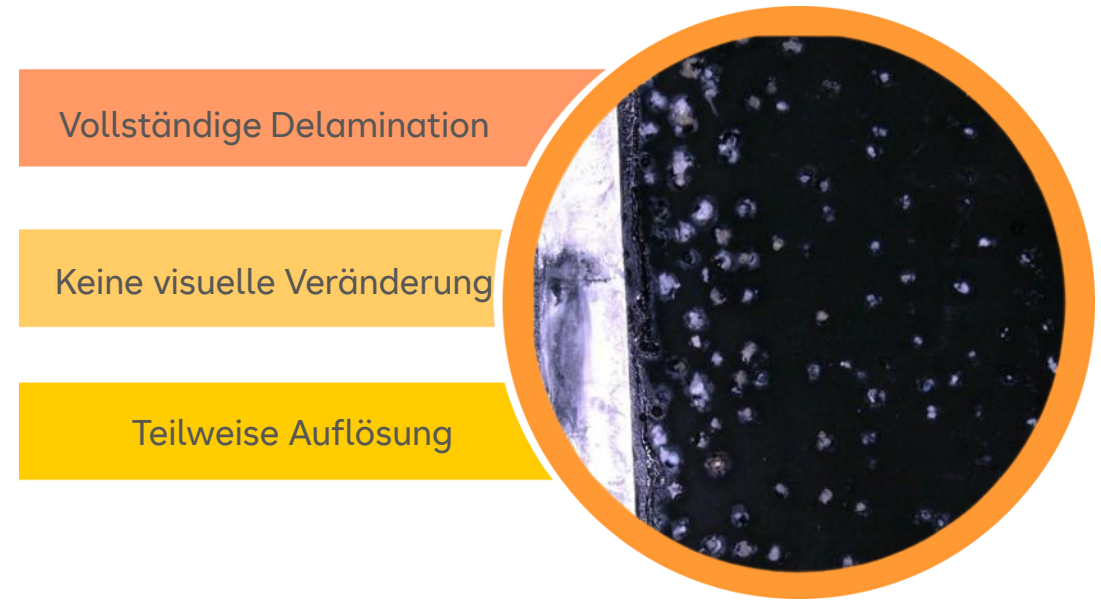
- A: Platin-Gegenelektrode
- B: Wasserstoff-Referenzelektrode
- C: Salzbrücke
- D: Trommelelektrode

# Fazit

## A. Produktionsabfälle



## B. End-of-Life



# Zusammenfassung

# 03

# Zusammenfassung

- Bei diesem Verfahren wird die Toxizität der Delaminierung und Bindemittelentfernung durch den Verzicht auf gefährliche Lösungsmittel reduziert.
- Die Gesamteffizienz des Delaminierungsprozesses ist bei Produktionsabfällen höher als bei End-of-Life-Material.
- Das Verfahren stellt einen Ansatz der "Green Chemistry" für die Rückgewinnung von Metallen aus Li-Ionen-NMC-Kathodenmaterial dar.
- Die zurückgewonnenen Produkte können als Metalloxide, Metalle oder Verbindungen vorliegen, wodurch die Gesamtverluste dieses Verfahrens sehr gering sind.

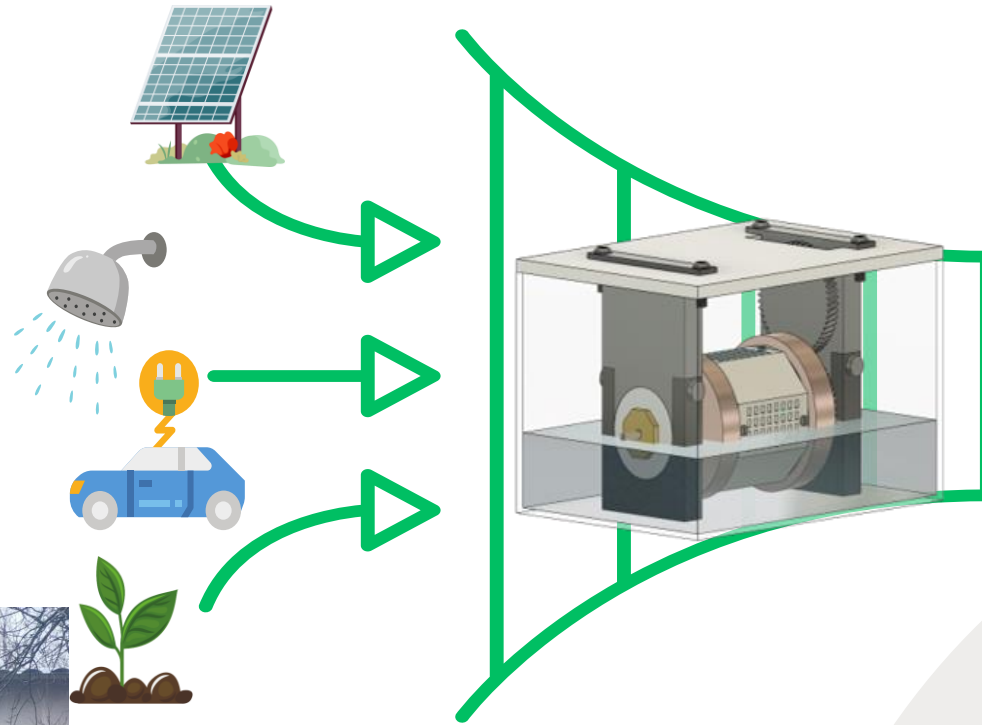
# Ausblick

04

# Ausblick



# Ausblick



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Marta Verónica Revello Olivo, M.Eng  
SRH University of Applied Sciences HD  
Institute of Applied Resource Strategies (IARS)  
Sonnenallee 221 A-F, 12059 Berlin, Germany  
[marta.revello@srh.de](mailto:marta.revello@srh.de)  
[www.srh-university.de](http://www.srh-university.de)