

# *Li-Ionen-Batterien – Vom Rohstoff bis zum Recycling*

Univ.-Prof. Dr. mont.

Helmut Antrekowitsch

Univ.-Prof. Dr. mont.

Roland Pomberger



Montanuniversität Leoben  
Department Metallurgie  
Nichteisenmetallurgie



DEPARTMENT FÜR

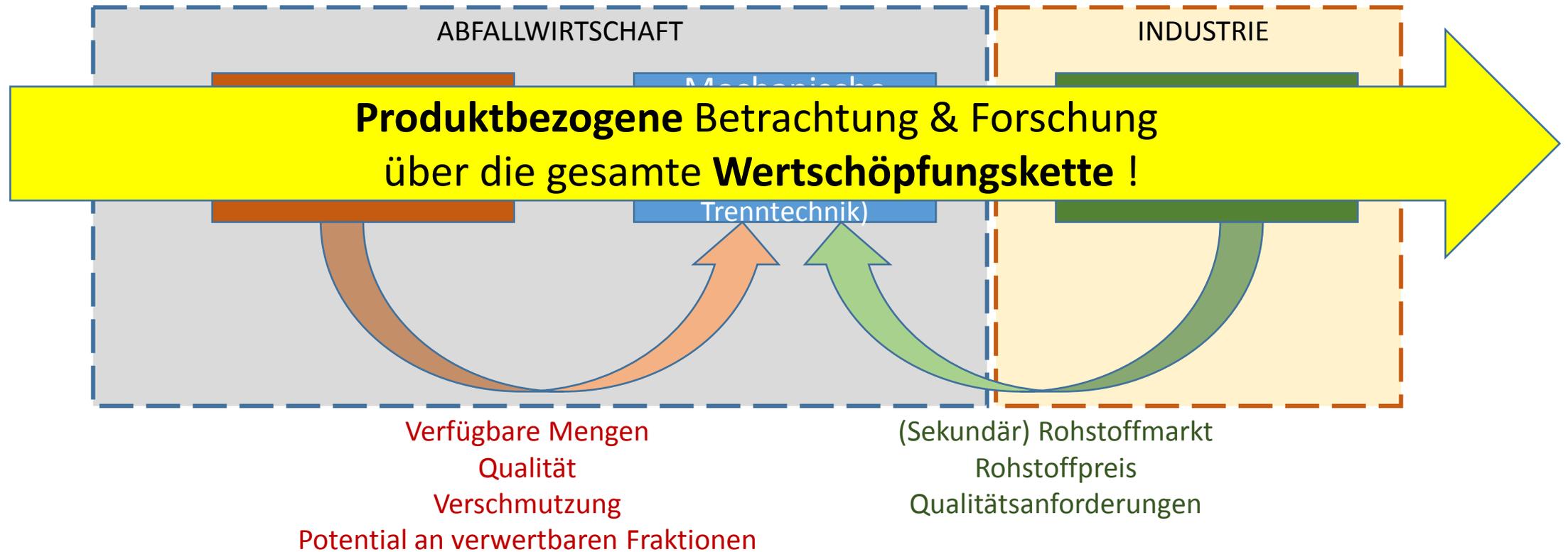
**Umwelt- & EnergieverfahrenSTECHNIK**

# Inhalt

---

- ◆ Motivation der Forschungen
- ◆ Primärrohstoff Lithium
- ◆ Forschungsprojekte
- ◆ Herausforderungen der Behandlung von LIB
- ◆ Forschungsergebnisse
- ◆ Ausblick und Forschungsbedarf

# Die gesamte Wertschöpfungskette muss betrachtet werden !



# Lithium – Allgemeines und Rohstoffquellen

## ◇ Allgemeines

- ↪ Li → Metall mit geringster Dichte ( $\rho = 0,534 \text{ g/cm}^3$ )
- ↪ Hohes elektrochem. Äquivalent (3,86 Ah/g)
- ↪ Extrem niedriges Elektrodenpotenzial: -3,045 V
- ↪ Industrielle Anwendung:
  - ↪ Nach WK I: Bahnmittel (Pb-Legierung für Gleitlager)
  - ↪ WK II: LiH als Wasserstoffquelle (Militär)
  - ↪ Danach: Einsatz als z. B. Schmiermittel
  - ↪ Derzeit: Batterien und Akkumulatoren



## ◇ Mineralien

- ↪ Spodumen (6-7,5 %  $\text{Li}_2\text{O}$ ), Petalit (3,5-4,5 %  $\text{Li}_2\text{O}$ ),...
- ↪ Reserven: Kongo, USA, Australien, Kanada, Simbabwe, Russland, China

## ◇ Salzwasser

- ↪ Verdunstungsvorgänge → hoher LiCl-Gehalt (bis 1200 ppm)
- ↪ Normales Meerwasser: 0,17 ppm Li
- ↪ Reserven: westlicher Teil von Nord- und Südamerika, China  
Bsp.: Bolivien – Salar de Uyuni:  $5,4 \cdot 10^6 \text{ t Li}$



# Primäre Gewinnung von Lithium

## ◆ Salzwasser

- ↗ Eindampfen auf  $> 5000$  ppm Li (Sonnenenergie)
- ↗ Reinigung der Lösung, Fällung von  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  mit  $\text{Na}_2\text{CO}_3$
- ↗ Solen mit  $< 100$  ppm Li: aufwändige Anreicherung nur durch Nebenprodukte ( $\text{KCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Br}_2$ ) wirtschaftlich

## ◆ Li-Erze

- ↗ Anreicherung auf 5,5-7,5 %  $\text{Li}_2\text{O}$ : bei Spodumen meist Flotation (Abtrennung von Quarz, Feldspat und Glimmer)
- ↗ Hydrometallurgie  $\rightarrow \text{Li}_2\text{CO}_3$
- ↗ Lagerstätte Koralm

## ◆ Lithiumkarbonat

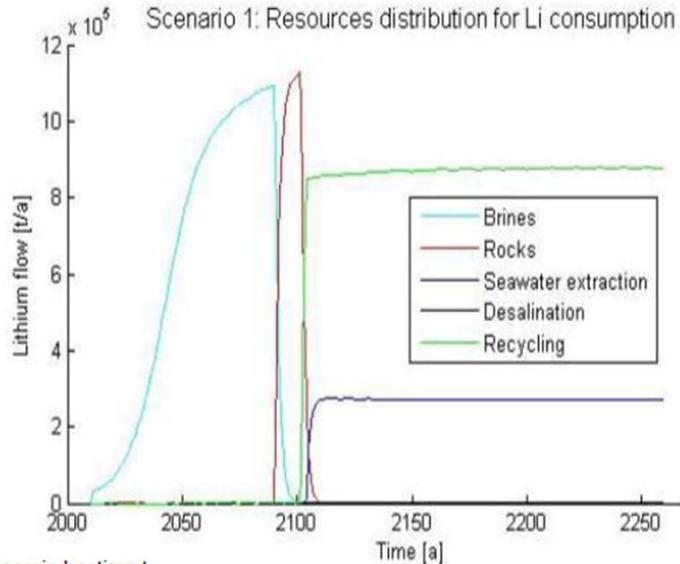
- ↗ Ausgangsprodukt für alle anderen Li-Verbindungen und Li-Metall
- ↗ Li: Umsetzung mit  $\text{HCl}$ , Kristallisation, Trocknung:  $\text{LiCl}$   
 $\rightarrow$  Schmelzflusselektrolyse





# Geht uns das Lithium aus?

- **Salzseen** erschöpfen ca. 2100 bei ca. 1mio t/a
- **Minen** erschöpfen in ca. 20 Jahren ebenfalls bei ca. 1mio t/a
- **Li Recycling** beginnt nachdem Brines and Mines erschöpft sind mit ca. 0.9mio t/a
- **Li aus Meerwasser** kompensiert Li Verluste mit ca. 0.3mio t/a



"base scenario 1": der Li-Fluss wird nur durch min. Energie bestimmt  
"OLiEC scenario 2": ein Li Kartell der Tiefpreisproduzenten  
"S-Korean scenario 3": Protektion der heimischen Industrie  
"Swiss scenario 4": Pionier für zukünftige high tech Märkte

BEV in 2020, >50% of total fleet; in 2100, 85%  
In 2100 Li batteries > 95% of total Li consumption in BEV  
The Li flows reach 1.2mio t/a in 2100

Carles 2010, Master thesis, EPFL/EMPA.

Derzeitige Li Produktion ca. 36 000 t/a (2014)  
2050 erwartet: 305 – 485.000 t/a

Nur aus **Salzseen**:

Statische Reichweite bei derzeitigem Bedarf: **1450 Jahre**

Würden wir **485.000 t/a** benötigen: 108 Jahre

Statische Reichweite – stimmt nicht  
Reserven durch den Bedarf zu dividieren ist zu einfach

**Dynamische Betrachtung !**

# Forschungsprojekte an der Montanuniversität



# Herausforderungen

---



# Immer mehr Einsatzgebiete

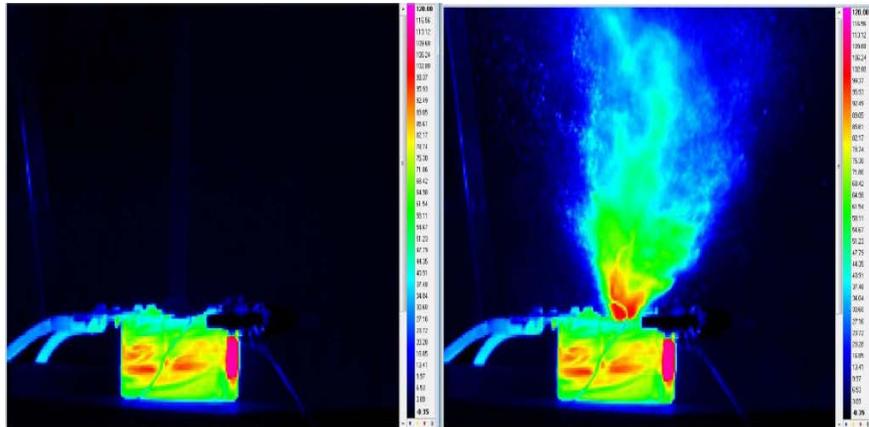


Jedes Produkt wird früher oder später zu **Abfall** !



# Herausforderungen - Aufbereitung

- Brennbare Substanzen
  - Organische Lösungsmittel
  - Kunststoffe
- Elektrisch gespeicherte Energie (Zündquelle)
  - Kurzschluss
    - Unsachgemäße Lagerung
    - Beschädigte Zellen/Batterien
  - Thermische Belastung
  - Hochspannung und Ladezustand
  - F-hältiges Leitsalz
  - Dünne Folien mit Beschichtung
    - (Abtrennung der Beschichtung)



Beschädigte Batterien aus Unfallautos ?

# Herausforderungen - Sicherheit



Quelle: Saubermacher

- Sicherer **Transport** und **Sammlung**
- **Sichere Lagerung**

Saubermacher präsentiert neues Spezialbehältnis für Lithiumbatterien

23. August 2017

936

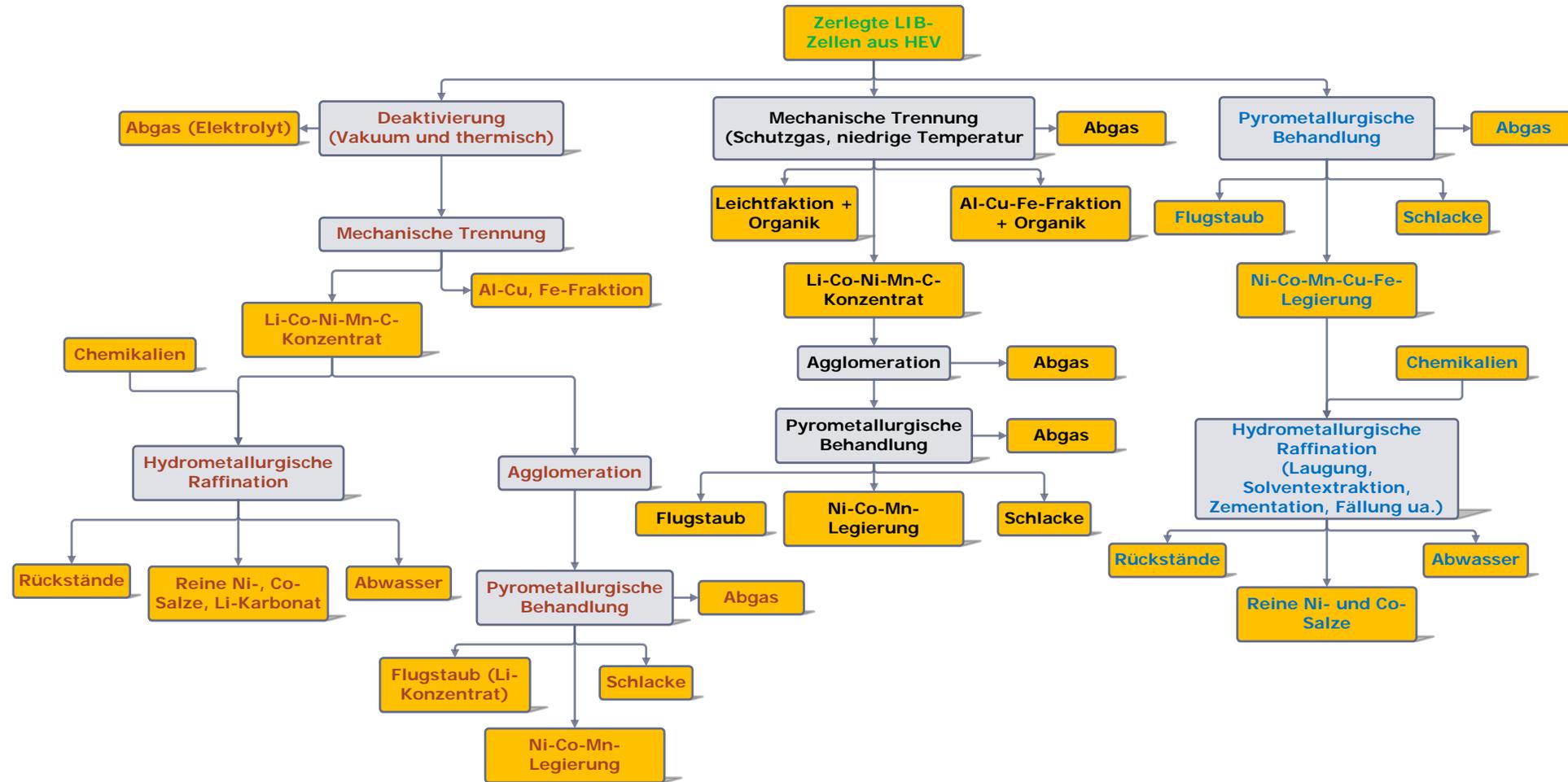


(v.l.): Vertriebsleiterin M. Heigl und Vorstandssprecher R. Mittermayr stellen das neue Lithiumbatterie-Fass vor (Foto: Saubermacher/ Scheriau )



Quelle: Saubermacher

# Herausforderungen – Recycling NEM



Dissertation, Mathias Kaindl, Montanuniversität, 2016.

# *Herausforderungen – Recycling NEM*

- ❖ Multimetall-Recycling bei Li-Ionen-Batterien
- ❖ Unterschiedliche Batterietypen und damit Elementvielfalt (Technologieentwicklung)
- ❖ Kreislaufführung aller Materialien (flüssige und feste Rückstände)
- ❖ Optimierung bestehender und Entwicklung neuer Verfahren zur Elementrückgewinnung.
- ❖ Kombination von stofflichem und thermischen Recycling mit der Abfallwirtschaft und Aufbereitung

# Beispielhafte Forschungsergebnisse

- ❖ Entladungsfähigkeit und Methoden
- ❖ Entwicklung analytischer Methoden
- ❖ Mengenenwicklungen und Abfallprognosen
- ❖ Thermische (Vor)Behandlung – Pyrolyse Versuchsanlage
- ❖ Mechanischen Aufbereitung – Trenntechnik
- ❖ Verfahrensentwicklung
- ❖ Anlagenkonzeption
- ❖ Umwelt- und Nachhaltigkeitsbewertung (LCA)
- ❖ Ecodesign Ergebnisse in der Batteriekonzeption berücksichtigt
- ❖ Second Life – Speicher
- ❖ Sammellogistik
- ❖ Vorgaben für die sichere Lagerung
- ❖ Entwicklung eines sicheren und kostengünstigen Sammel- und Lagerbehälters
- ❖ Ergebnisse zu Sicherheitsfragen
- ❖ Qualitätsabstimmungen mit Verwertungspartnern
- ❖ Schnellanalyse von Batterietypen
- ❖ Systematische Erfassung von Batterietypen („Battothek“)

Leider kaum Publikationen, da Firmeninteressen entgegenstehen

2 abgeschlossene Dissertationen  
+ 3 laufende Dissertationen

# Verwertung

Energiespeicher-  
system (ESS)



Masse: 255 kg  
Spannung: 675 V  
Nennenergie: 27,6 kWh

# Verwertung

Energiespeicher-  
system (ESS)



Demontage



Entladung



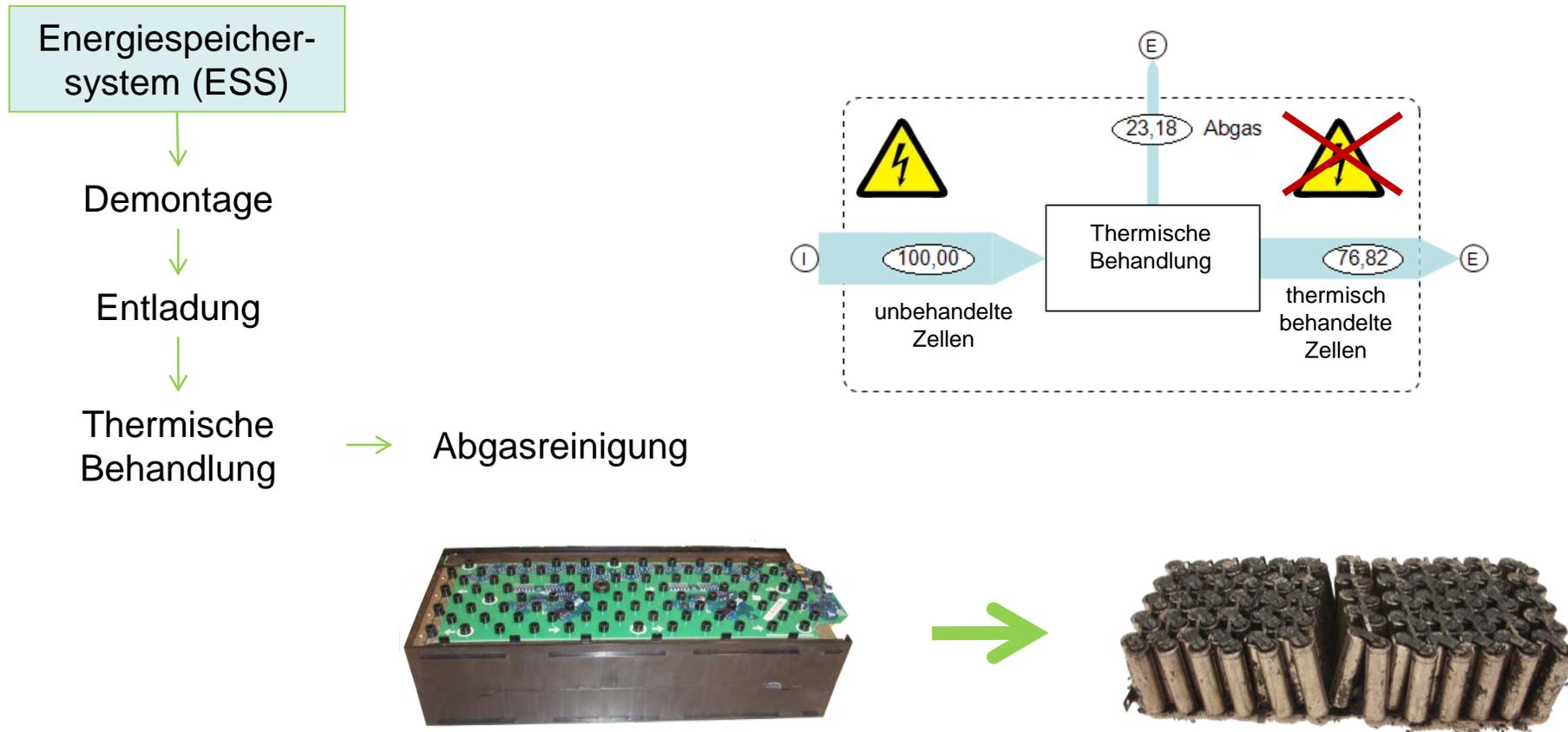
Entladestation in Offenbach mit  
Netzeinspeisung



[Video  
geladen](#)

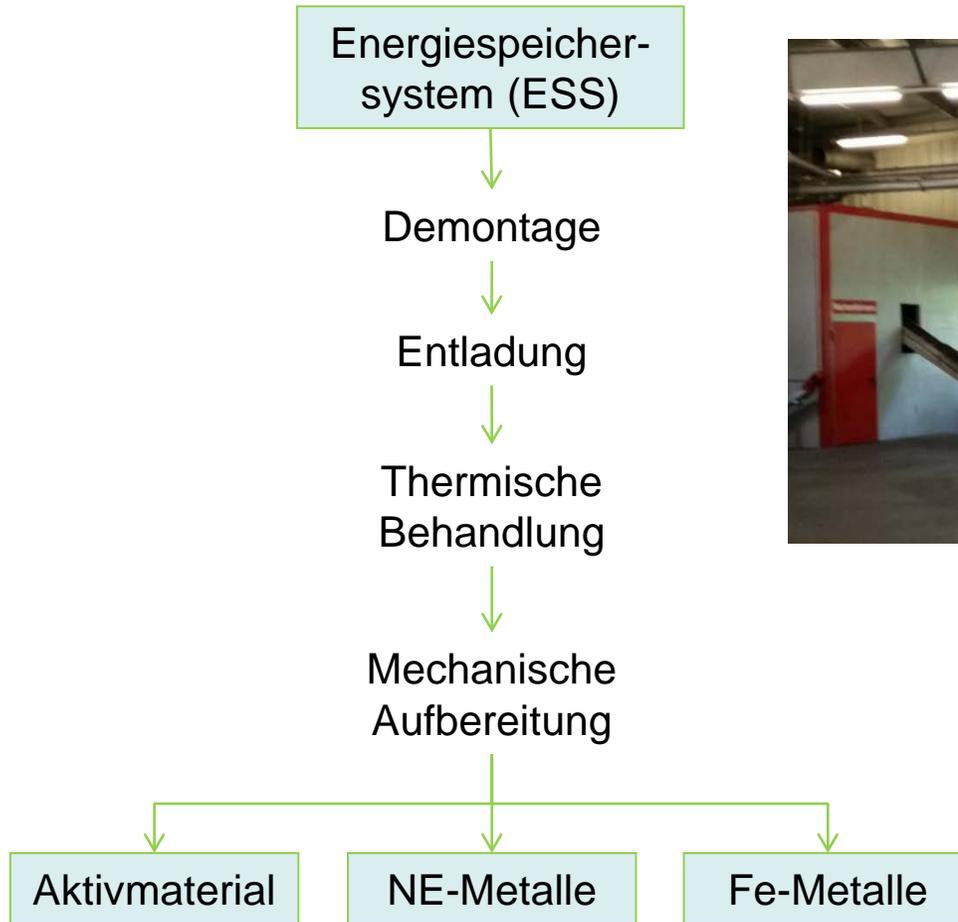
[Video  
ungeladen](#)

# Verwertung



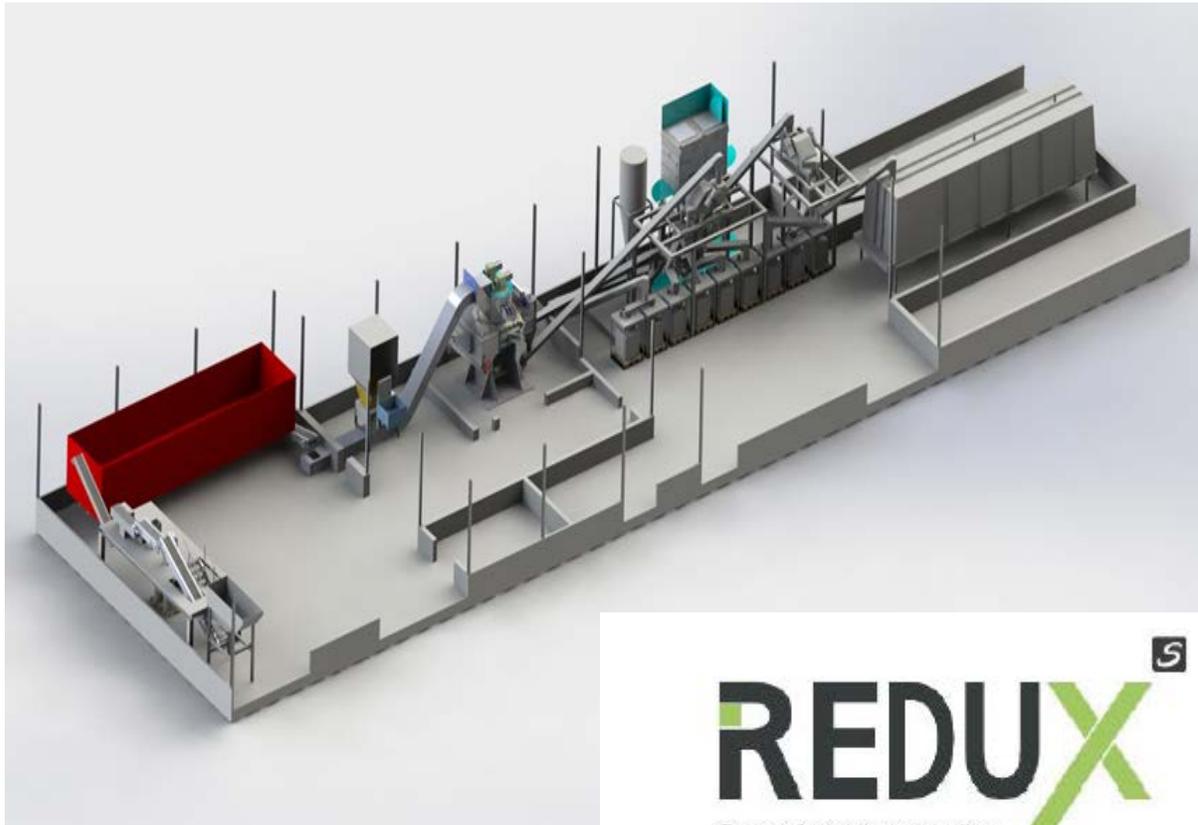
# Verwertung

## Technikum



# Recyclinganlage Bremerhaven

## Ergebnis kooperativer Forschung



- Kapazität: 10.000 t/a
- Durchsatz: 5 t/h
- Output



Al



Al/Cu



Aktivmaterial

**REDUX**<sup>S</sup>  
Smart battery recycling.

*Saubermacher*

Produktionsstart März 2018

# Zukunftsherausforderungen & Forschungsbedarf

- ❖ Vorbehandlung in Österreich halten
- ❖ Recyclinglösungen auch in Ö platziieren
- ❖ Viele (recycling) problematische Materialien z.B. GFK, CFK, Elektronik,
- ❖ Neue Batterietypen (Festbatterie)
- ❖ Ecodesign und EOL verankern
- ❖ Recycling von Brennstoffzellen

# Was tun wir mit dem Auto der Zukunft?

- ❖ Vorbehandlung in Österreich halten
- ❖ Recyclinglösungen auch in Ö platzieren
- ❖ Viele (recycling) problematische Materialien z.B. GFK, CFK, Elektronik,
- ❖ Neue Batterietypen (Festbatterie)
- ❖ Ecodesign und EOL verankern
- ❖ Recycling von Brennstoffzellen



<https://www.heise.de/ct/ausgabe/2017-20-Die-Zukunft-des-Autos-3827234.html>

# Resümee

---

- Keine Angst - Li geht uns nicht aus
- Nachfrage steigt und es wird teurer
- Batterie-Recycling ist wichtig
- Projekte über ganze Wertschöpfungskette
- Recycling-Herausforderung - Auto der Zukunft
- Forschungskompetenz in Ö erhalten