



Abfälle der Zukunft: Komponenten der Elektromobilität

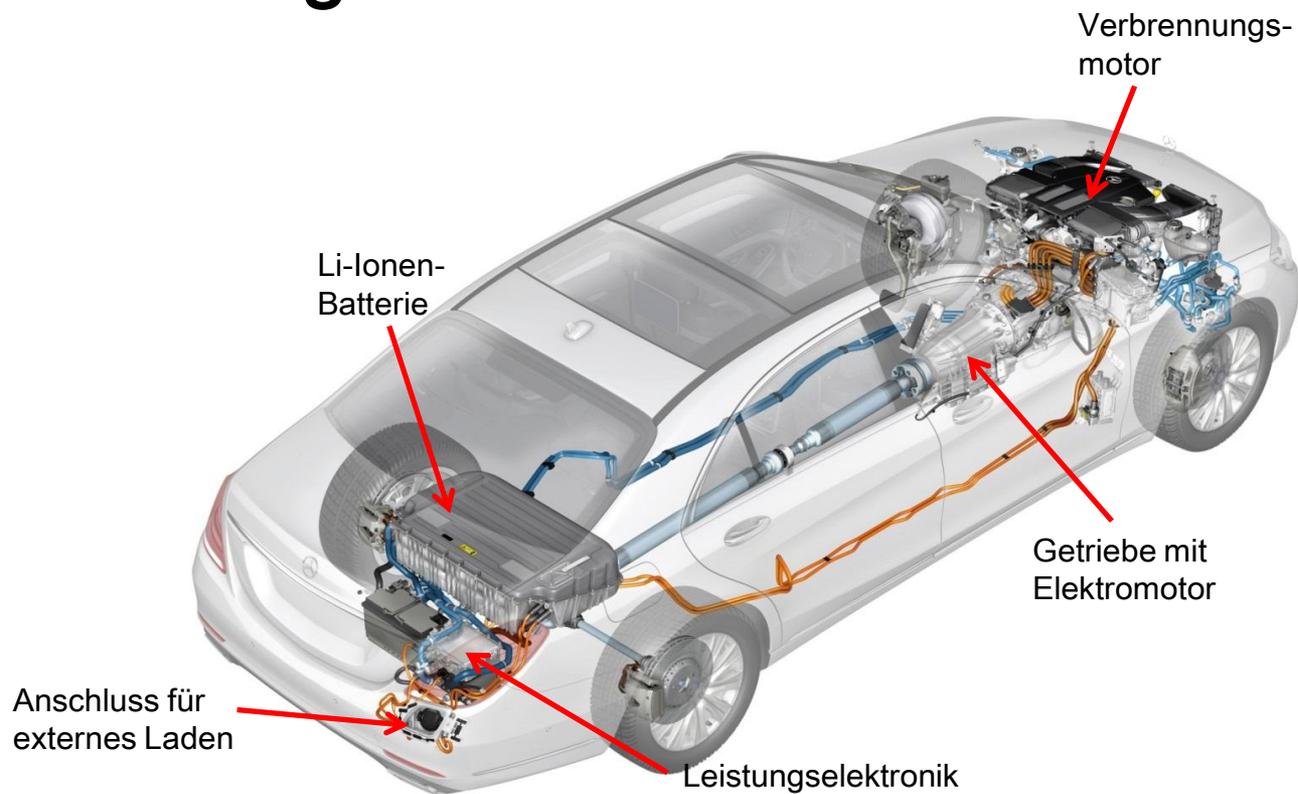
Dr.-Ing. Tobias Elwert, Lehrstuhl für Rohstoffaufbereitung und Recycling

30.06.2015

Gliederung

- Einführung
- Traktionsbatterien, Elektromotoren & Leistungselektronik
- Rahmenbedingungen für das Recycling
- Ausgewählte Recyclingprozesse/-projekte
 - Traktionsbatterien
 - Elektromotoren
 - Leistungselektronik
- Zusammenfassung und Ausblick

Einführung



Mercedes-Benz S 500 PLUG-IN HYBRID

(Quelle: Daimler AG)

Einführung



Mercedes-Benz B-Class F-Cell

(Quelle: Daimler AG)

Einführung



BMW i3

(Quelle: Wikipedia)

Einführung



Fraunhofer e-concept car
(Quelle: Fraunhofer IFAM)

Radnabenmotor mit Leistungselektronik
(Quelle: Fraunhofer IFAM)

Traktionsbatterien



Batterie des Nissan Leaf

(Quelle: Wikipedia)

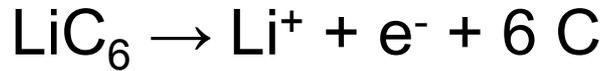


Traktionsbatterie eines Hybrid-Busses

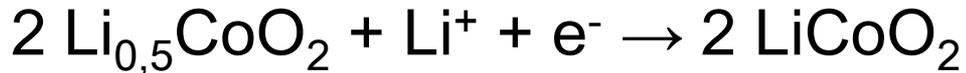
(Quelle: Wikipedia)

Li-Ionen-Zellen

Anodenreaktion:



Kathodenreaktion:



Elektrolyt:

LiPF_6 in aprotischen organischen Lösungsmitteln



(Quelle: insideevs.com)

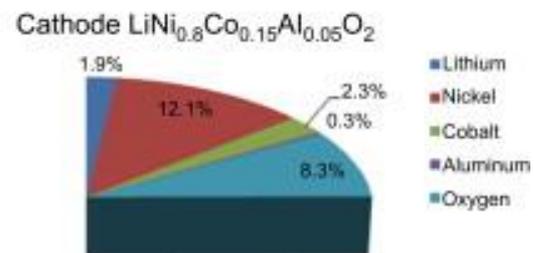
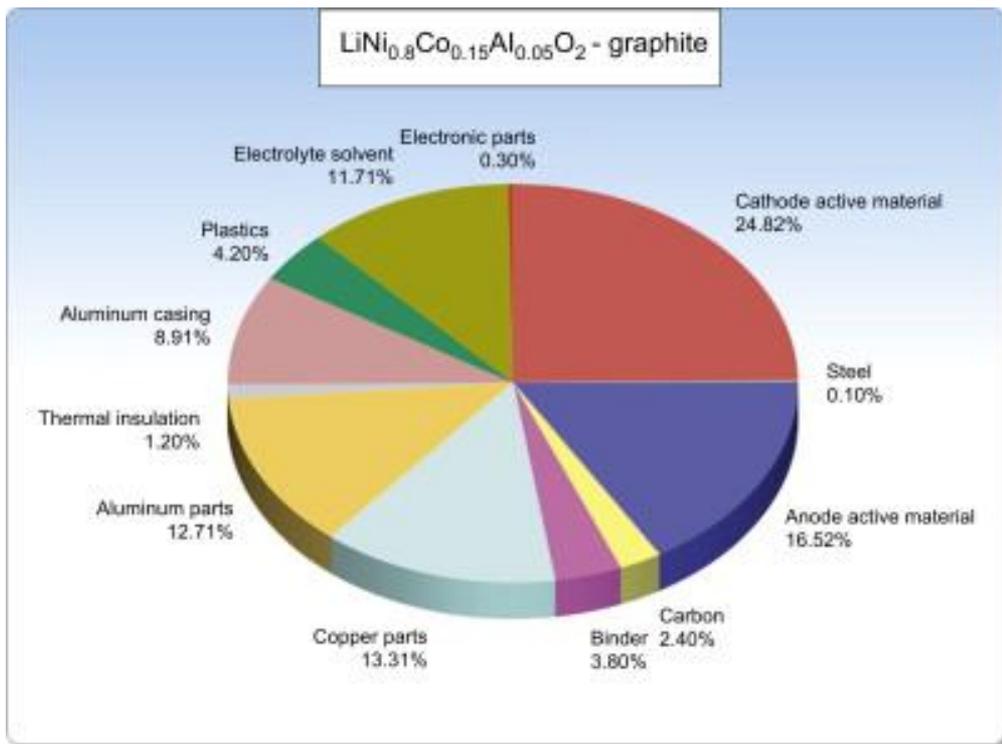


(Quelle: Fraunhofer ICT)

Li-Ionen-Zellen - Kathodenmaterialien

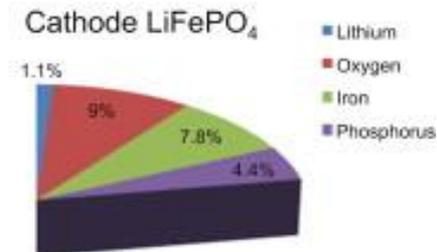
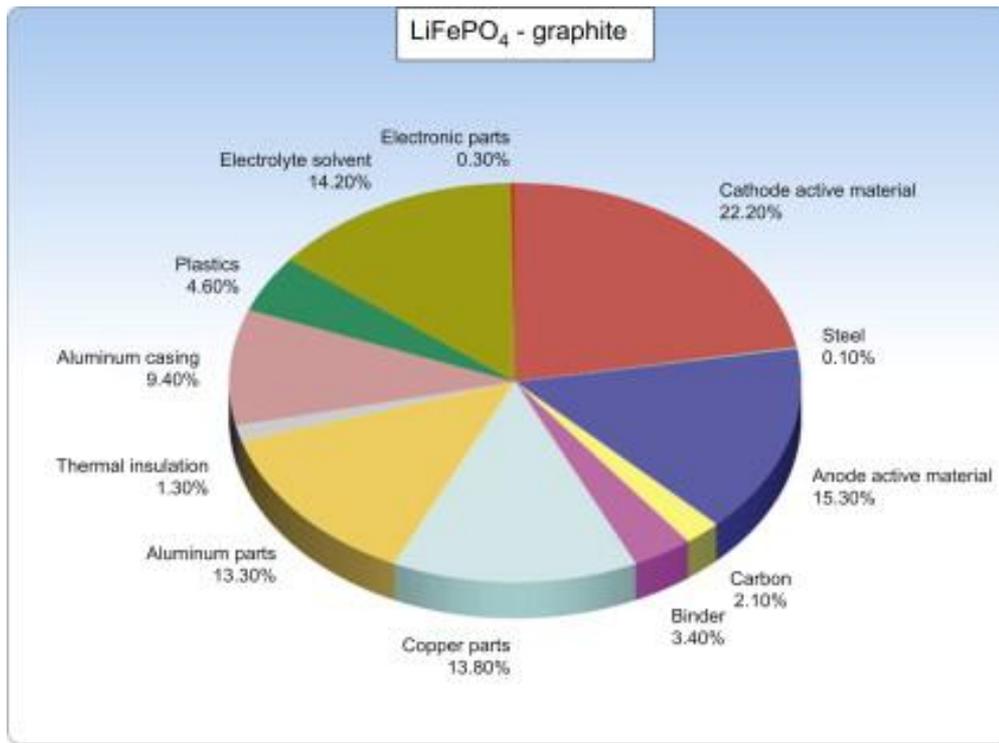
- Schichtoxide LiMO_2 ($M = \text{Co}, \text{Ni}, \text{Mn}, \text{Al}$)
 - LiCoO_2 (LCO)
 - $\text{LiNi}_{0,33}\text{Mn}_{0,33}\text{Co}_{0,33}\text{O}_2$ (NMC)
 - $\text{LiNi}_{0,8}\text{Co}_{0,15}\text{Al}_{0,05}\text{O}_2$ (NCA)
- Spinelle LiM_2O_4 ($M = \text{Mn}, \text{Ni}$)
 - LiMn_2O_4
- Phosphate LiMPO_4 ($M = \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Co}, \text{Ni}$)
 - LiFePO_4

Zusammensetzung NCA Zellen



(Quelle: Vezzini, Manufacturers, Materials and Recycling Technologies.
In: Lithium-Ion Batteries: Advances and Applications)

Zusammensetzung LFP Zellen



(Quelle: Vezzini, Manufacturers, Materials and Recycling Technologies.
In: Lithium-Ion Batteries: Advances and Applications)

Elektromotoren

Auto	Anzahl	Fahrzeugtyp	Motor
Nissan LEAF	30200	EV	PM
Chevrolet Volt	18805	HEV	PM
Tesla Model S	17300	EV	IM
Toyota Prius PHV	13264	HEV	PM
Ford Fusion Energi	11550	HEV	PM
Ford C-Max Energi	8433	HEV	PM
BMW i3	6092	EV/HEV	PM
smart ED	2594	EV	PM
USA gesamt	119710		
Welt gesamt	320713		

(Verkaufszahlen in den USA für das Jahr 2014, nur Fahrzeuge > 2500 Stück aufgelistet)

Elektromotoren

Material	80 kW PM Motor	20 kW PM Motor
Stahl	34,8 kg	23,1 kg
Aluminium	14,1 kg	4,7 kg
Magnete	2,1 kg	1,4 kg
Grauguss	3,0 kg	0 kg
Kupfer	8,5 kg	6,4 kg
Polymere	0 kg	0,6 kg
Elastomere	0 kg	0,1 kg
Flüssigkeiten	0 kg	7,7 kg
Gesamt	62,5 kg	44 kg

(Quelle: Abschlussbericht zum Verbundvorhaben „Recycling von Komponenten und strategischen Metallen aus elektrischen Fahrantrieben“)

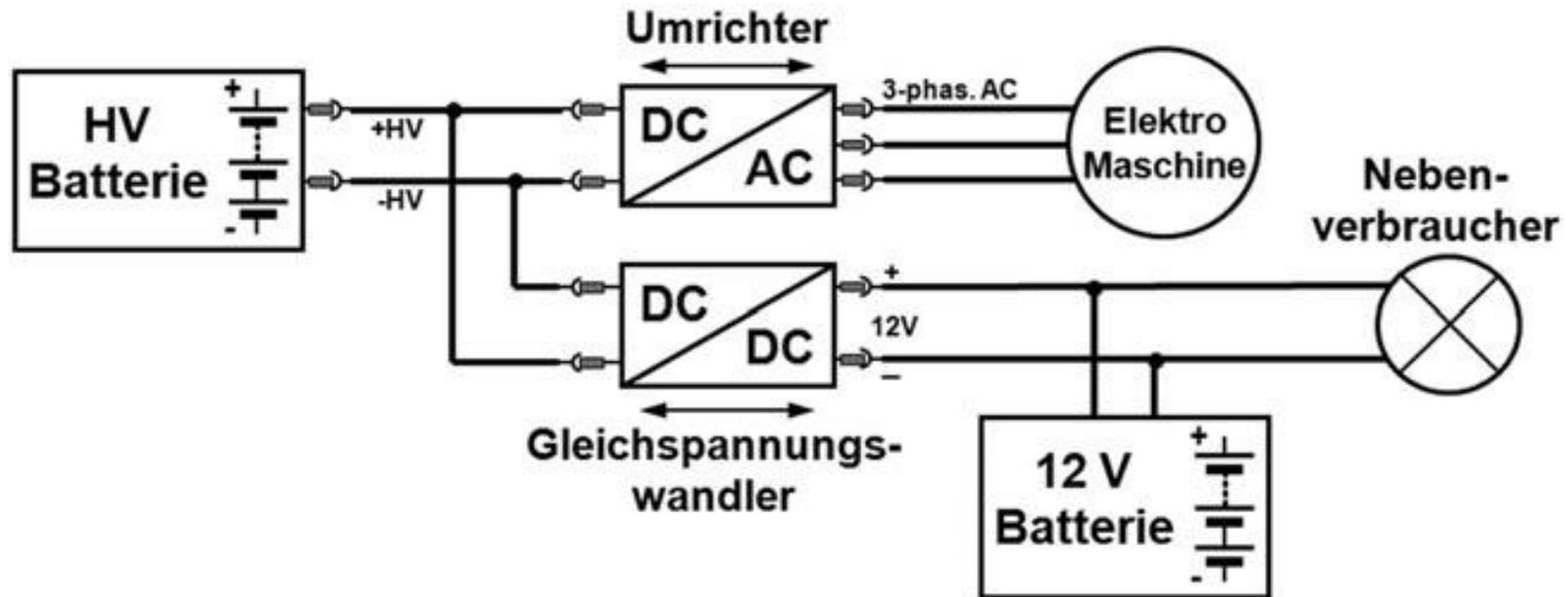


(Quelle: Daimler)



(Quelle: Siemens)

Leistungselektronik



(Quelle: P. Hofmann, Hybridfahrzeuge - Ein alternatives Antriebskonzept für die Zukunft, Springer-Verlag/Wien, 2010)

Leistungselektronik



(Quelle: TU Clausthal, IFAD)

Gesetzliche Rahmenbedingungen

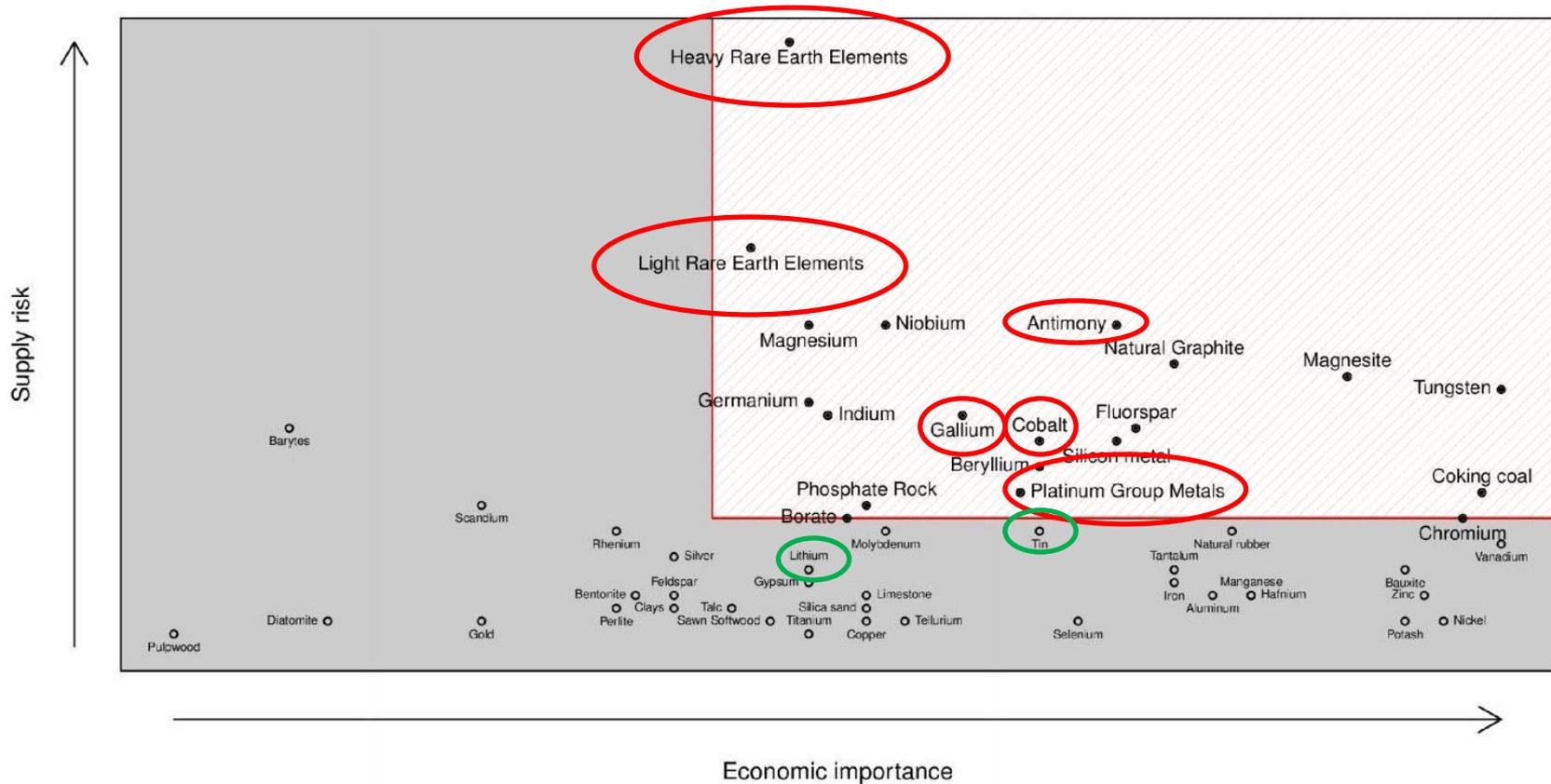
Directive 2000/53/EC on end-of-life vehicles

- Ab 2015 mindestens 85 % Wiederverwendung + stoffliche Verwertung und 95 % Wiederverwendung und Verwertung
- Schadstoffentfrachtung

Directive 2006/66/EC on batteries and accumulators

- Traktionsbatterien zählen zu den Industriebatterien
- Recyclingprozesse für LIB und NiMH-Batterien müssen eine Recyclingquote von mindestens 50 % erreichen

Rohstoffkritikalität



(Quelle: Report on critical raw materials for the EU)

Recycling von Traktionsbatterien

- Umicore Battery Recycling Process (Belgien)
- Accurec (Deutschland)
- AkkuSer OY (Finnland)
- Batrec Industrie AG (Schweiz)
- Toxco Inc. (Canada)
- Recupyl (Frankreich)
- Lithorec (Deutschland)

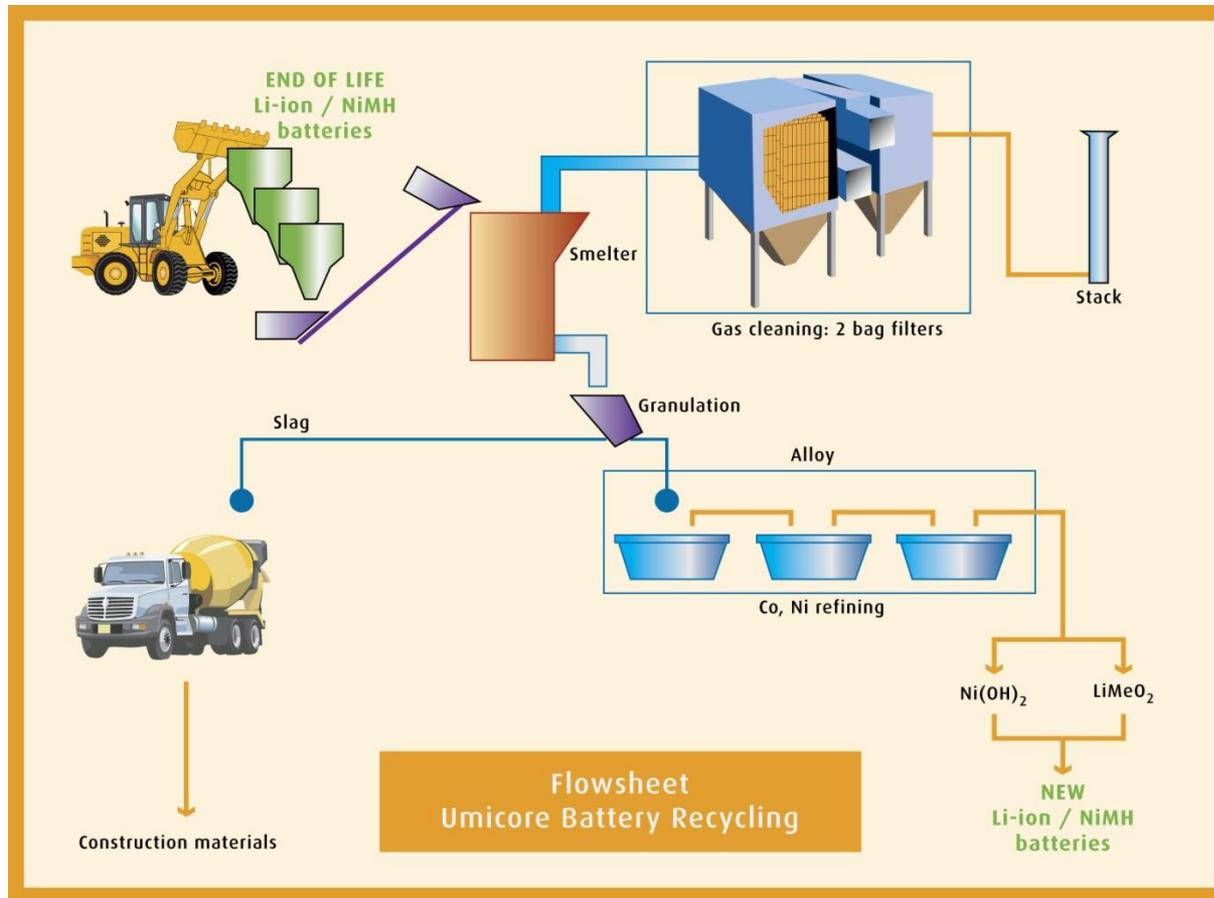
Umicore Battery Recycling - Vorbehandlung



(Quelle: Umicore)



Umicore Battery Recycling Prozess



(Quelle: Umicore)

Umicore Battery Recycling Process

Vorteile:

- Für alle LIB Typen und NiMH-Batterien geeignet
- Kein Öffnen der Zellen notwendig
- Hohe Rückgewinnungsraten für Co, Ni und Cu
- Rückgewinnung von Seltenerdelementen möglich

Nachteile/Grenzen:

- Keine optimale Lösung für Co/Ni-freie Batterien
- Derzeit keine Lithiumrückgewinnung
- Metallisches Aluminium wird verschlackt

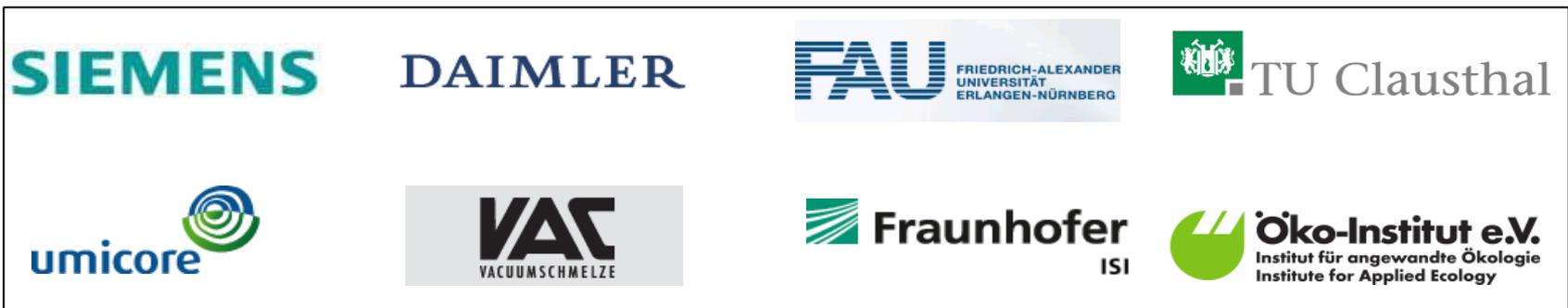
MORE-Projekt (MOtor REcycling)

Recycling von Komponenten und strategischen Metallen
aus elektrischen Fahrantrieben

Laufzeit: Mai 2011 – August 2014

Budget: 5,5 Mio. €

Fördermittelgeber: BMBF



Wesentliche Ergebnisse

- Wirtschaftliches Recycling erfordert automatisierte Demontageschritte
- Wiederverwendung von Magneten möglich, aber unrealistisch
- Wiederverwendung des Magnetwerkstoffes möglich, aber Remanenzverlust
- Rückgewinnung der Rohstoffe über ein hydrometallurgisches Recyclingverfahren scheint derzeit die beste Lösung zu sein
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen legen nahe, dass ein Motorrecycling auch in Europa wirtschaftlich ist

ElmoRel2020

Elektrofahrzeugrecycling 2020 - Schlüsselkomponente
Leistungselektronik

Laufzeit: Dezember 2013 – November 2016

Budget: 1,7 Mio. €

Fördermittelgeber: BMUB



Zusammenfassung & Ausblick

- In den nächsten Jahren sind umfangreiche Veränderungen des Autorecyclings zu erwarten
- Entwicklungen im Bereich Elektromobilität sind durch eine große Dynamik geprägt
- Tendenziell ist von sinkenden Wertmetallgehalten in Elektromobilitätskomponenten auszugehen
- Problem: Massebezogene Recyclingvorgaben
- Derzeit liegt der Hauptfokus der Forschung auf Traktionsbatterien