

STAND DER TECHNIK BEIM RECYCLING VON LI-IONEN-BATTERIEN

Marcus Dörr

Recycling von Lithium-Ionen Batterien

Stand der Technik



Quelle: IME RWTH Aachen

**ExFo 2011 Abschlussstagung
06. Dezember 2011, Stuttgart**

Marcus Dörr

Fraunhofer IPA
Institut für Produktionstechnik und
Automatisierung
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Tel.: +49 (0) 711 / 970 – 1334
Email: marcus.doerr@ipa.fraunhofer.de

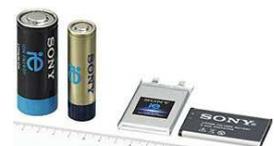
© Fraunhofer IPA



Recycling von Lithium-Ionen Batterien

Lithium-Ionen Batterien

- Gerätebatterien und Knopfzellen
- Traktionsbatterien
 - Batterie-Module
 - Batterie-Paket im Elektrofahrzeug



Quelle: Sony



Quelle: Li-Tec



Quelle: Opel

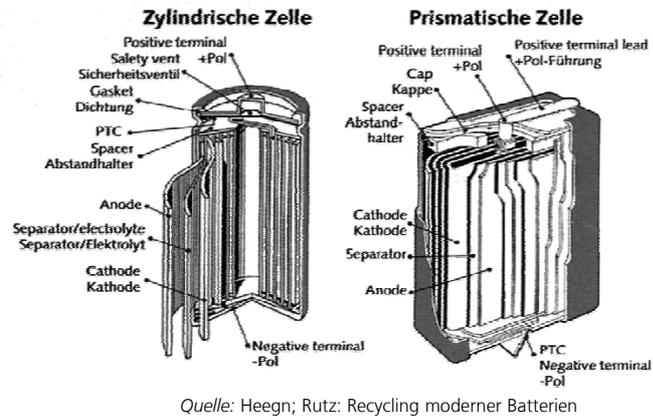
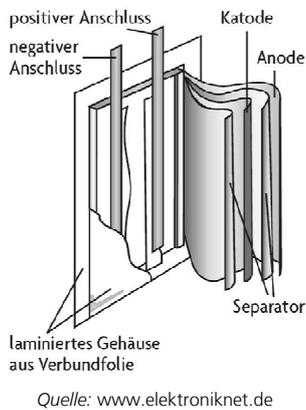
© Fraunhofer IPA



Recycling von Lithium-Ionen Batterien

Zellenaufbau

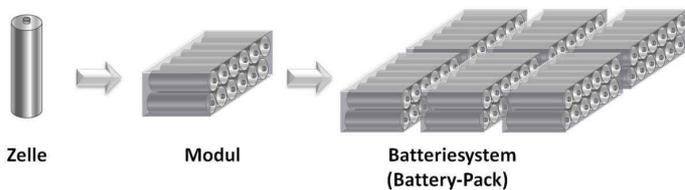
■ Flachzelle, Zylindrische und Prismatische Zelle



Recycling von Lithium-Ionen Batterien

Von der Zelle zum Batteriesystem

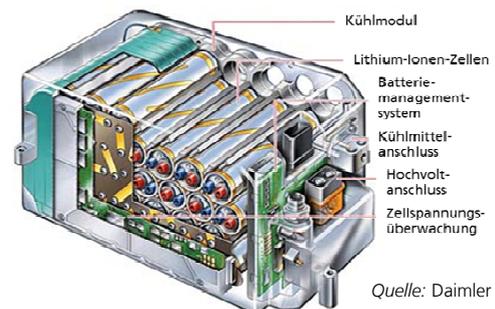
■ Zelle, Modul und Batteriesystem



Quelle: Ketterer; Lithium-Ionen Batterien: Stand der Technik und Anwendungspotential

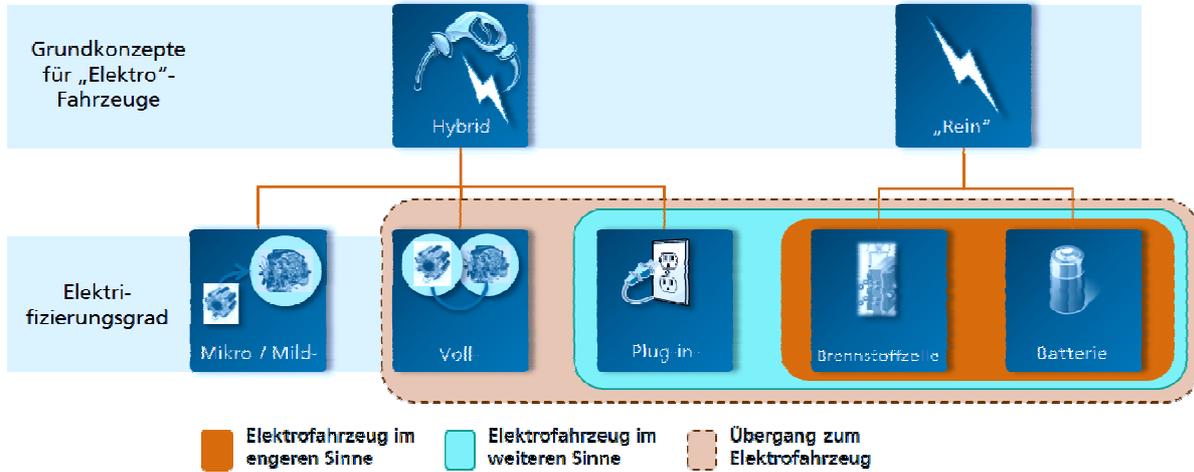
■ Weitere Komponenten des Batteriesystems

- Batteriemanagementsystem (BMS)
- Kühlsystem
- Hochvoltanschluss und Verkabelung



Recycling von Lithium-Ionen Batterien

Einteilung von Hybrid- und Elektro-Fahrzeugen



Quelle: Fraunhofer Studie Elektromobilität

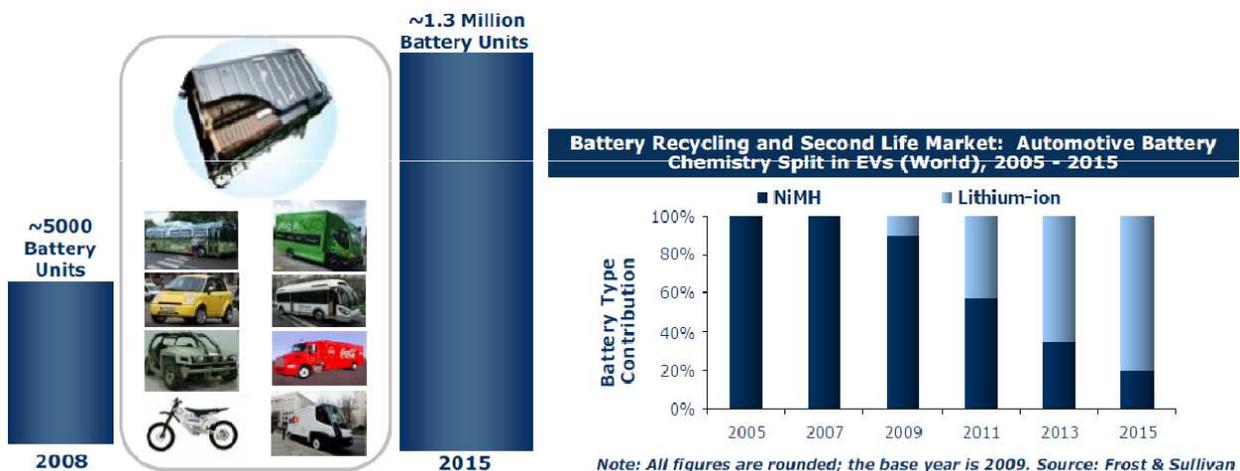
© Fraunhofer IPA

Fraunhofer
IPA

Recycling von Lithium-Ionen Batterien

Wachstumsprognose bis 2015

- Für Plug-In-Hybride und Elektrofahrzeuge, weltweit



*The forecasted numbers are that of the global EV and PHEV volumes for passenger cars. Source: Frost & Sullivan

© Fraunhofer IPA

Fraunhofer
IPA

Recycling von Lithium-Ionen Batterien

Übersicht Batterie-Chemie

Battery Chemistry (Cathode/Anode)	Power	Energy	Cycle Life	Safety	Cost	Development Stage
NiMH						Production
LiCoO ₂ /Graphite (LCO)						Post developmental
Li(Ni _{0,85} Co _{0,1} Al _{0,05})O ₂ /Graphite (NCA)						Pilot
LiFePO ₄ /Graphite (LFP)						Pilot
Li(Ni _{1/3} Co _{1/3} Mn _{1/3})O ₂ /Graphite (NCM)						Pilot
LiMn ₂ O ₄ /Graphite (LMS)						Developmental
LiMn ₂ O ₄ /Li ₄ Ti ₅ O ₁₂ (LTO)						Developmental
LiMn _{1,5} Ni _{0,5} O ₄ /Li ₄ Ti ₅ O ₁₂ (MNS)						Research
Li _{1,2} Mn _{0,6} Ni _{0,2} O ₂ /Graphite (MN)						Research

Key: Very Low Low Moderate High Very High

Source: Frost & Sullivan

© Fraunhofer IPA

Fraunhofer
IPA

Recycling von Lithium-Ionen Batterien

Zusammensetzung einer Zelle

- Betrachtet wird LCO – Zelle
 - Jeweils in Zylindrischer Bauform
 - Als Hochenergie- und Hochleistungszelle
 - Hochleistungszelle:
 - Aktivmaterial LCO macht 41 Gew.% aus
 - Jedoch sind in der Zelle nur 2-3 Gew.% Lithium enthalten

Material / Komponente	Hochenergiezelle (100 Ah)	Hochleistungszelle (10 Ah)
	Gewichtsanteil in [%]	
Anode		
Anodenmaterial (Graphit)	16,4	4,3
Bindemittel (PVDF)	2	
Ableiter (Kupfer)	4,4	12,8
Kathode		
Aktives Material (LiCoO ₂)	41	22,9
Kohlenstoff	1,4	
Bindemittel (PVDF)	2,7	
Ableiter (Aluminium)	1,8	6
Rest		
Hülsen, Anbauteile	1,9	10,2
Behälter	8,5	21,6
Elektrolyt	18	13,5
Separator	1,8	5
Andere	0,1	3,9

Quelle: L. Gaines, Costs of Lithium-Ion batteries for vehicles

© Fraunhofer IPA

Fraunhofer
IPA

Recycling von Lithium-Ionen Batterien

Recycling-Verfahren

- Grob-Strukturierung der Verfahren

Einteilung der Recycling-Verfahren								
Physikalische Prozesse		Übergangsprozesse	Chemische Prozesse					Biologische Prozesse
Mechanische Prozesse	Thermische Prozesse	Mechanisch-chemische Prozesse	Lösungsmittel-basierte Prozesse	Auflösungs-Prozesse (Laugung)	Lösungsmittel Extraktion	Chemische Fällungsprozesse	Elektro-chemische Prozesse	Biolaugungs-Prozesse
	Pyrometallurgie		Hydrometallurgie					

Recycling von Lithium-Ionen Batterien

Pyrometallurgie

Metallgewinnung durch thermische Verfahren

- Verhüttung
- Raffination
- Oxidierende oder reduzierende Verfahrensschritte
- Seigerung
- Destillation



Quelle: IME RWTH Aachen

Recycling von Lithium-Ionen Batterien

Pyrometallurgie

- Vorteile:
 - Einfacher Prozess
 - Hohe Produktivität
 - Höhere Sicherheit
- Nachteile:
 - Begrenzte Selektivität
 - Hoher Energiebedarf
 - Hohe Emissionswerte
 - Begrenzte Recyclingeffizienz



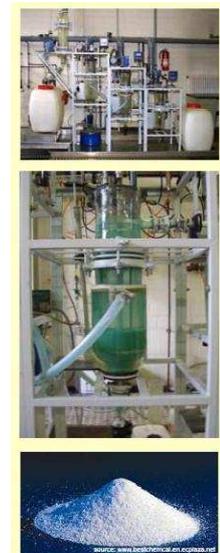
Quelle: IME RWTH Aachen

Recycling von Lithium-Ionen Batterien

Hydrometallurgie

Verfahren der Metallgewinnung, die unter Ausnutzung der unterschiedlichen Lösbarkeit, Benetzbarkeit und physikalischen Eigenschaften der Elemente bzw. ihrer Verbindungen, bei niedrigen Temperaturen durchgeführt werden

- Trennverfahren aufgrund unterschiedlicher Dichte
- Extraktion durch Säuren, Laugen, organische Lösungsmittel oder Bakterien
- chemische Fällungsverfahren
- Auskochen
- Elektrolyse

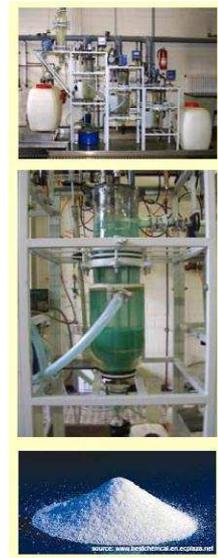


Quelle: IME RWTH Aachen

Recycling von Lithium-Ionen Batterien

Hydrometallurgie

- Vorteile:
 - Hohe Selektivität
 - Hohe Recyclingeffizienz
 - Niedrige Temperatur
 - Geringe Emissionswerte
- Nachteile:
 - Langsamer Prozess
 - Niedrigere Produktivität als bei Pyrometallurgie
 - Handhabung großer Mengen an Chemikalien
 - Unterschiedlicher Ablauf abhängig von Batteriechemie



Quelle: IME RWTH Aachen

Recycling von Lithium-Ionen Batterien

Patent- und Literaturrecherche

- Ein Großteil der Patente beschäftigt sich mit gezielten Auflösungs- und Fällungsschritten, zur Aufarbeitung von Elektrodenmaterialien
→ **Hydrometallurgie**
- Üblicherweise werden die Batterien einer Vorbehandlung unterzogen:
 - Entladung, Tiefgefrierung oder Pyrolyse
 - Mechanische Zerkleinerung
 - Trennung der Grobfraction vom Elektrodenpulver
 - Sortierung der Grobfraction in die einzelnen Fraktionen
 - Weiterverarbeitung des Elektrodenpulvers
- Heutige industrielle Prozesse sind jedoch meist pyrometallurgisch
- Weiterentwicklung der rein pyrometallurgischen Prozesse zu Kombinationen aus Pyro- und Hydrometallurgie

Recycling von Lithium-Ionen Batterien

Übersicht Industrieller Verfahren

Company Name	Existing Client/Partnership	Company Location	Recycling Process
Toxco	Tesla	North America	Hydrometallurgie
Umicore	LibRI Project - Daimler	Belgium	Pyrometallurgie
Xstrata Nickel	-	Belgium	Pyro and hydrometallurgie
Nippon Mining and Metals	-	Japan	Pyro and hydrometallurgie
Chemetall Lithium	LithoRec Project - Volkswagen and Audi	Germany	Ongoing Research
Recupyl	-	France	Hydrometallurgie (Room temperature recycling)
Société Nouvelle d’Affinage des Métaux (SNAM)	Toyota	France	Hydrometallurgie
Sumitomo Mining and Metals	Nissan and Toyota	Japan	Pyrometallurgie
GS Yuasa	Mitsubishi	Japan	Ongoing Research
Batrec (Veolia)	-	Switzerland	Pyrometallurgie
Inmetco	-	North America	Pyrometallurgie
Redux	-	Germany	Pyrometallurgie
Accurec	-	Germany	Pyrometallurgie
SAFT AB	-	Sweden	Pyrometallurgie

*Includes both Li-ion and NiMH recyclers. Not an exhaustive list

Source: Frost & Sullivan

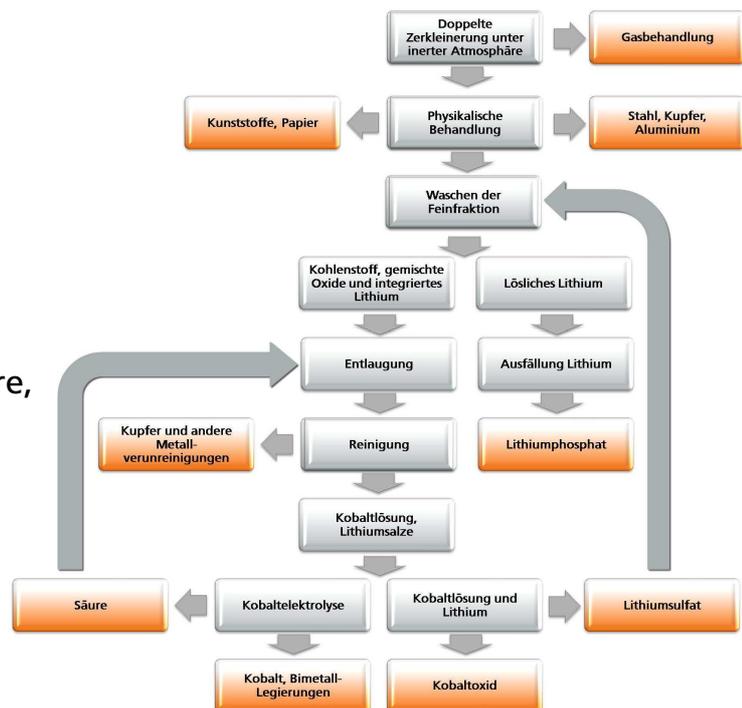
© Fraunhofer IPA

Fraunhofer
IPA

Recycling von Lithium-Ionen Batterien

Beispiel industrielles Verfahren

- Hydrometallurgischer Valibat-Prozess von Recupyl S.A.
- Keine Entladung nötig
- Zerkleinerung läuft bei Umgebungstemperatur, unter inerter Atmosphäre, ab



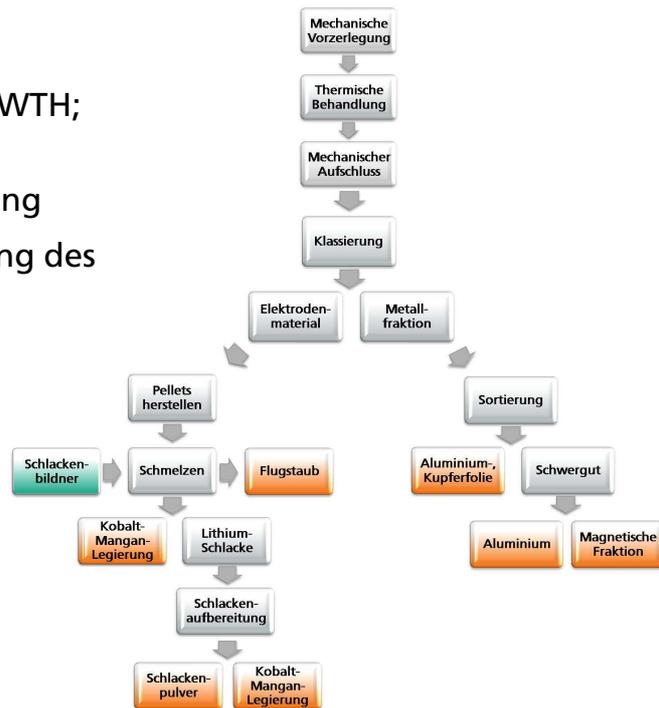
© Fraunhofer IPA

Fraunhofer
IPA

Recycling von Lithium-Ionen Batterien

Beispiel kombiniertes Verfahren

- Kombiniertes Verfahren von IME RWTH; Accurec GmbH und UVR-FIA
 - Vorbehandlung und Klassierung
 - Pyrometallurgische Behandlung des Elektrodenpulvers



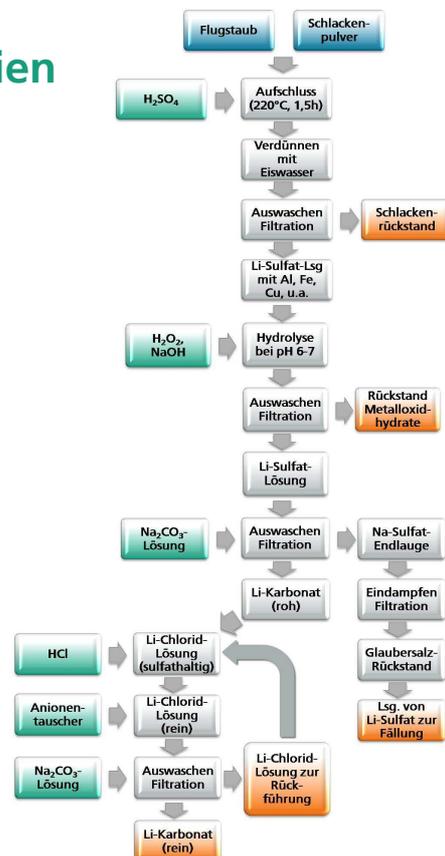
© Fraunhofer IPA

Fraunhofer
IPA

Recycling von Lithium-Ionen Batterien

Beispiel kombiniertes Verfahren

- Kombiniertes Verfahren von IME RWTH; Accurec GmbH und UVR-FIA
 - Hydrometallurgische Weiterverarbeitung des Schlackenpulvers und des Flugstaubes



© Fraunhofer IPA

Fraunhofer
IPA

Recycling von Lithium-Ionen Batterien

Ziele der europäischen Gesetzgebung

- Bezogen auf Altfahrzeuge, Elektroschrott und Altbatterien

		min recovery	min recycling	collection rate
Cars	2015	95%	85%	100%
Electronics	2006 2016	70%	50%	min 4 kg per inhabitant per year 85% of WEEE arising (COM proposal)
Batteries	2011		50% to 75% (efficiency)	
	2012			25%

Quelle: Ruska Kelevska; The importance of battery recycling for a resource-efficient Europe

Recycling von Lithium-Ionen Batterien

Recycling-Effizienz

■ Definition Recycling

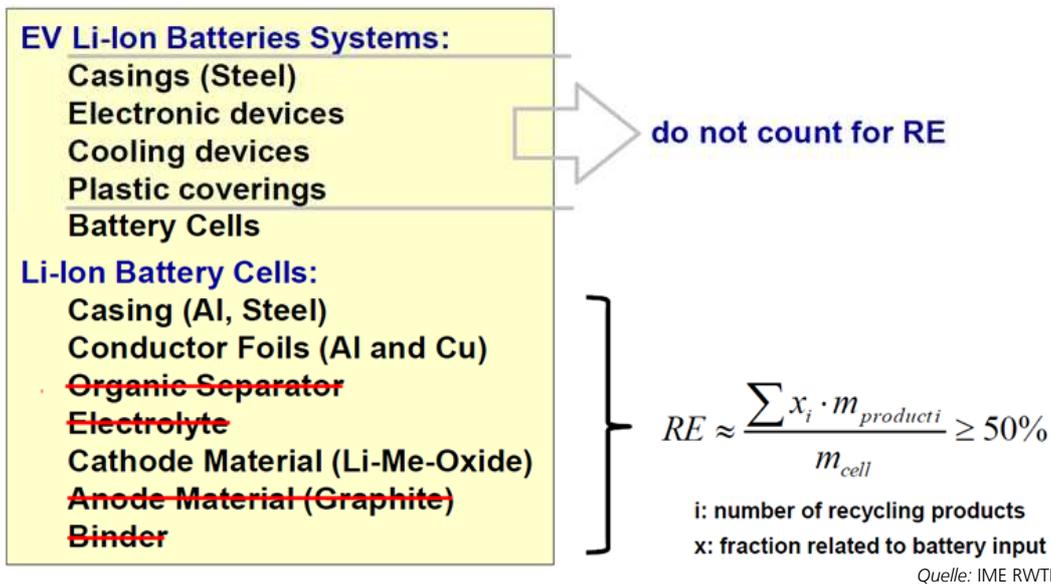
- Batteries Directive (2006/66/EC), Article 3(8):
'recycling' means the reprocessing in a production process of waste materials for their original purpose or for other purposes, but excluding energy recovery;

- Abschlussbericht zur Recycling-Effizienz veröffentlicht auf DG ENV website (Juli 2009)
http://ec.europa.eu/environment/waste/batteries/pdf/batteries090528_fin.pdf
- Antrag soll bis Ende 2011 übernommen werden
- Recycling-Effizienz eines Recycling-Prozesses

$$RE = \frac{\text{Output fraction}}{\text{Input fraction}} \quad [\text{mass \%}]$$

Recycling von Lithium-Ionen Batterien

Begrenzung des Inputs



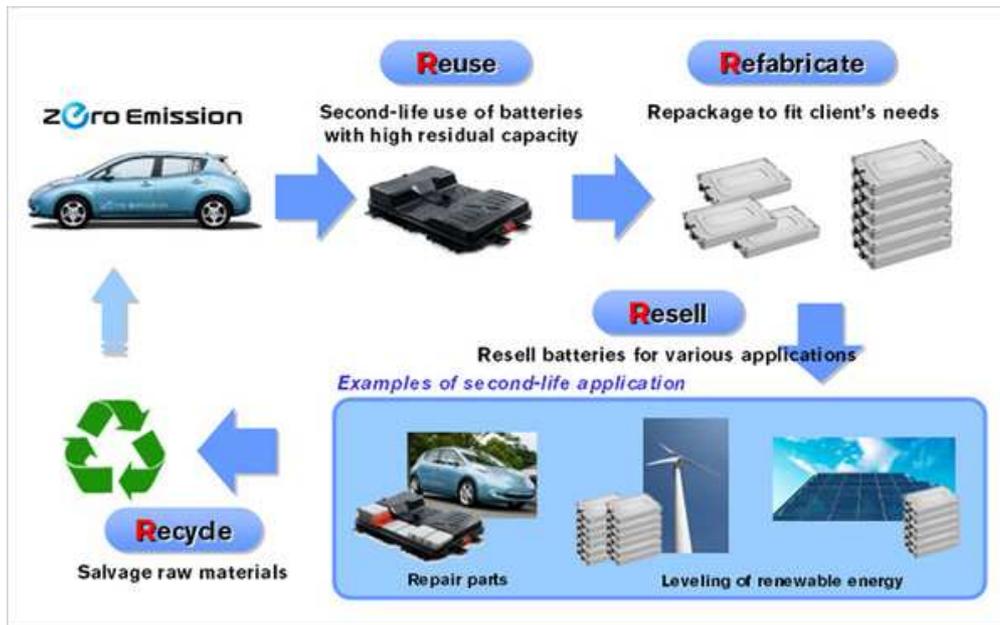
Recycling von Lithium-Ionen Batterien

Forschungsprojekt ELIBAMA



- EU-Forschungsprojekt zur Produktion von Lithium-Ionen-Batterien
- Start November 2011
- Schwerpunkt Kostenreduzierung und Produktivitätssteigerung durch neue Produktionstechnik und -verfahren
- Arbeitspakete zu ECO-Design und Recycling
- Begleitend während des Projektes:
 - Life Cycle Assessment der Produktions- und Recyclingverfahren
 - Design for Recycling and Reuse
Gestaltung der Batteriesysteme hinsichtlich Weiternutzung im Bereich „second life“ und hinsichtlich des optimalen Recyclings
 - Best-Practice-Untersuchung der Recycling-Verfahren
 - Entwurf und Gestaltung eines sicheren Rücknahmesystems und Logistikmodells

Recycling von Lithium-Ionen Batterien Alternativen zum Recycling



© Fraunhofer IPA



IPA Ansprechpartner

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Für Fragen, Kommentare und Anregungen
stehe ich Ihnen nun gerne zur Verfügung!



Quelle: www.npclothing.worldpress.com

Dipl.-Ing. Marcus Dörr

Abteilung Produkt- und Qualitätsmanagement

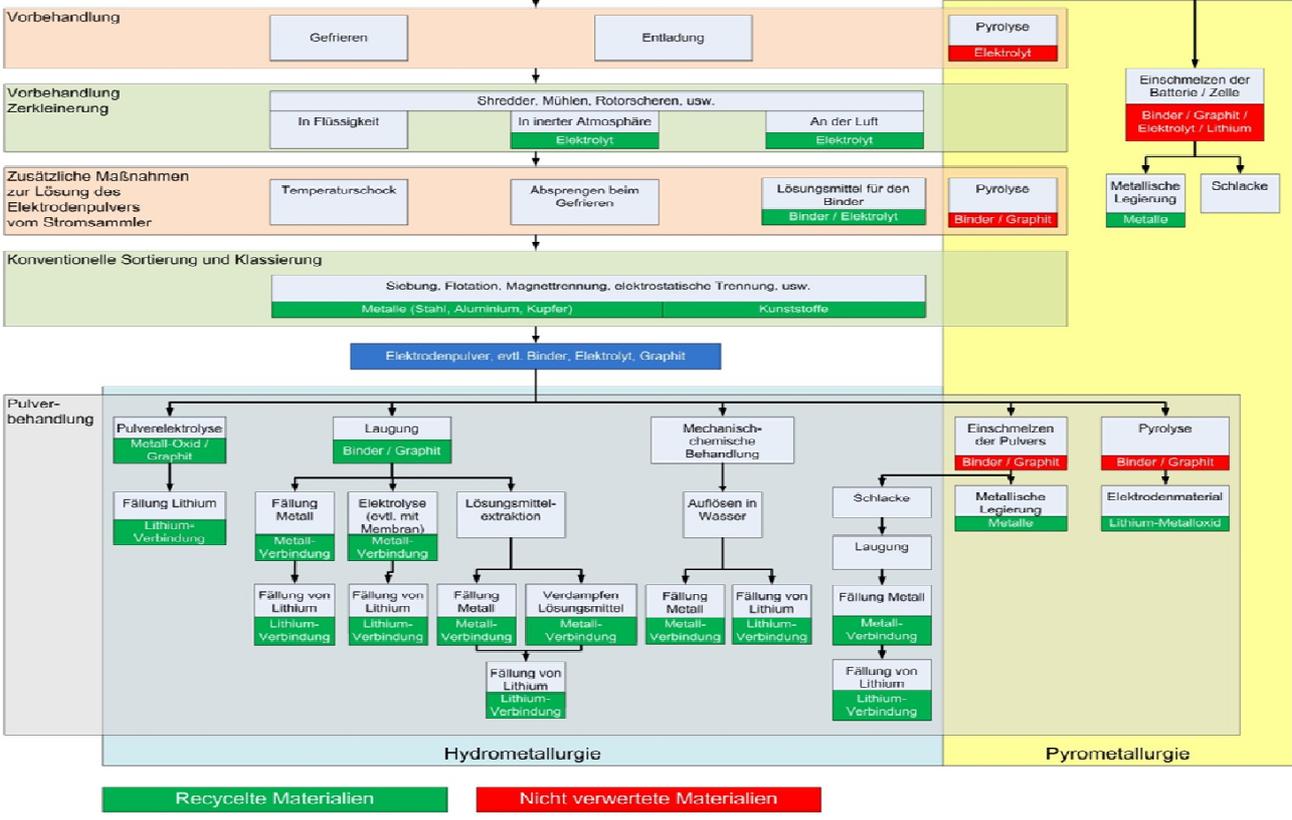
Fraunhofer IPA
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon: +49 (0) 711 / 970 - 1334
Fax: +49 (0) 711 / 970 - 1002
E-Mail: marcus.doerr@ipa.fraunhofer.de
Internet: www.ipa.fhg.de

© Fraunhofer IPA



Lithium-Batterie / Lithium-Zelle



ExFo 2011 Expertenforum Abschlusstagung INTERNATIONALE STOFFVERBOTE, ROHS, REACH, EUP SOWIE ELEKTROG/WEEE IN DER PRAXIS

Vorausschauendes unternehmerisches Handeln für alle
Beteiligten der Elektroindustrie und des Elektroaltgeräte-
Recyclings

