

ALTBATTERIEN UND AKKUMULATOREN

RELEVANZ DES ABFALLSTROMS:

Produkte bzw. Abfallbestandteile, die durch gefährliche Inhaltstoffe besonders umweltkritisch und somit für eine getrennte Erfassung und Behandlung vorzusehen sind. Im Bereich der EU wurden für diesen Abfallstrom spezifische Anforderungen an die Sammlung, Behandlung und das Recycling in einer eigenständigen Direktive formuliert und Regelungen für die Wahrnehmung der Produzentenverantwortung getroffen

ZUSAMMENSETZUNG UND WESENTLICHE STOFF-KOMPONENTEN

Batterien werden in Primärbatterien (einmalige Verwendung) und Sekundärbatterien (mehrmalige Verwendung durch Aufladung) unterschieden, wobei zahlreiche elektrochemische Funktionsweisen am Markt etabliert sind. Tabelle 1 zeigt derzeit übliche Batteriearten, deren Zusammensetzung und Charakteristika.

Tabelle 1: Zusammensetzung und Charakteristika von verschiedenen Batterietypen¹

Batterietyp	Chemisches System	Hauptinhaltsstoffe	Kapazität (mAh)	Nennspannung	Lebensdauer
Batterie (Primärbatterien)	Alkali-Mangan (AlMn)	Braunstein Eisen Zink	~ 2.800	1,5 V	1 Zyklus
	Zink-Kohle (ZnC)	Braunstein Eisen Zink	~ 1.200	1,5 V	1 Zyklus
	Lithium (Li)	Eisen Braunstein Nickel Lithium	~ 3.000	1,5 V	1 Zyklus
Akkus (Sekundärbatterien)	Lithium-Ionen-Akku (u. a. mit Li-NMC, Li-NCA, Li-LFP als Kathodenmaterial)	Graphit Kobalt Nickel Mangan Lithium	~ 2.400	3,6 V	Bis zu 1000 Zyklen
	Nickel-Metallhydrid-Akku (NiMH)	Nickel Eisen Seltene Erden	~ 2.200	1,2 V	Bis zu 1000 Zyklen
	LSD-Nickel-Metallhydrid-Akku (LSD-NiMH)	Nickel Eisen Seltene Erden	~ 2.000	1,2 V	Bis zu 1000 Zyklen
	Nickel-Cadmium-Akku* (NiCd)	Eisen Cadmium Nickel	~ 600	1,2 V	Bis zu 1.500 Zyklen
	Wiederaufladbare Alkali-Mangan Batterie (RAM)	Zink Mangan	~ 1.800	1,5 V	min. 25 Zyklen

Batterien, welche Quecksilber enthalten, nehmen auf dem Markt einen immer geringeren Anteil ein, da sich seit 2015 ein Inverkehrbringen von jeglichen Batterietypen mit mehr als 0,0005 Gewichtprozent an Quecksilber verbietet. Trotzdem sind sie noch im Einsatz/Umlauf und werden auch in kommenden Jahren ein Bestandteil der Entsorgung bleiben. In Deutschland wurden in den vergangenen Jahren etwa 1,5 Tonnen Quecksilber jährlich aus Knopfzellen und Batteriegemischen zurückgewonnen.

Empfehlungen sprechen für die Nutzung von Lithium-Ionen Akkumulatoren als effizientere Variante der Energieversorgung im Bereich der Batterien und Akkumulatoren.

¹ Petrikowski, Kohlmeyer, Jung, Steingrübner, Leuthold: Ratgeber - Batterien und Akkus, Umweltbundesamt (Hrsg.), 2012

<p>RECHTSGRUNDLAGEN MIT GELTUNG FÜR EUROPA</p>	<p>Die Rahmenbedingungen für die sichere Entsorgung von Batterien und Akkumulatoren werden durch die Richtlinie 2006/66/EG vom 6. September 2006 über Batterien und Akkumulatoren sowie Altbatterien und Altakkumulatoren vorgegeben. Diese Richtlinie ersetzt die frühere Richtlinie 91/157/EWG zum gleichen Gegenstand.</p>
<p>WESENTLICHE ANFORDERUNGEN BZW. GRUNDLAGEN FÜR DEN UMGANG MIT DEM ABFALLSTROM</p>	<p>Best Practice bei dieser Abfallart bedeutet, wie auch in der oben genannten Richtlinie festgelegt, das Einhalten bestimmter Bedingungen beim Inverkehrbringen von Batterien und Akkumulatoren wie auch im Umgang mit Altbatterien und Altakkumulatoren.</p> <p><u>Inverkehrbringen:</u> Durch ein Verbot, Batterien und Akkumulatoren in Verkehr zu bringen die mehr als 0,0005 Gewichtsprozent Quecksilber bzw. mehr als 0,002 Gewichtsprozent Cadmium enthalten, wird eine Grundlage geschaffen, die Menge dieser Substanzen im Markt und damit auch im Abfall schrittweise zu verringern (Ausgenommen vom Cadmiumverbot sind Akkumulatoren, welche für die Verwendung in ausgewählten Systemen/Geräten vorgesehen sind. Das beinhaltet Not- und Alarmsysteme einschließlich Notbeleuchtung, medizinische Ausrüstung oder schnurlose Elektrowerkzeuge).</p> <p><u>Umgang mit Altbatterien und Altakkumulatoren:</u> Um eine hohes Recyclingniveau sicherzustellen, sind erforderliche Maßnahmen zu ergreifen, um die Batterien und Akkumulatoren getrennt zu sammeln. Für die Sammlung von Geräte-Altbatterien erweist sich die Einrichtung geeigneter Rücknahmesysteme als wirksamste Maßnahme. Die Hersteller von Gerätebatterien sind bspw. in Deutschland gesetzlich verpflichtet, ihre Rücknahmepflicht auf ein Rücknahmesystem von Geräte-Altbatterien zu übertragen: Dies kann entweder durch Beteiligung an einem gemeinsamen, nicht gewinnorientierten, flächendeckend tätigen Rücknahmesystem oder einem eigens durch einen oder mehrere Hersteller eingerichteten Rücknahmesystem (herstellereigenes Rücknahmesystem) geschehen. Hersteller von Fahrzeug- und Industriebatterien müssen hingegen ihren Vertreibern und den Behandlungseinrichtungen eine zumutbare und kostenfreie Möglichkeit der Rückgabe von Altbatterien anbieten. Die Übertragung dieser Pflichten auf bestehende Rücknahmesysteme wäre ebenso möglich wie die Gründung und das Betreiben eigener Rücknahmesysteme (von einem oder mehreren Herstellern mit der Sammlung und Verwertung der Altbatterien beauftragte Dritte).</p> <p>Zur Sicherung dieser Pflichten ist ein zentrales Melderegister zu empfehlen, dass alle am Markt tätigen Hersteller von Batterien verwaltet, veröffentlicht und dadurch Transparenz schafft. Die Hersteller hinterlegen in diesem Register u.a. die Marken, die in Verkehr gebracht werden, sowie Angaben zur Ausgestaltung ihrer Rücknahmepflichten.</p> <p>Um die Mitwirkung der Endnutzer zu fördern, sollten für diese Akteure keine Kosten entstehen. Für den anschließenden Transport (teilweise Gefahrgut), das Sortieren der Batteriegemische, sowie die Behandlung bzw. das Recycling von Altbatterien und Altakkumulatoren sind geeignete Prozesse/Systeme unter Nutzung der besten verfügbaren Technik zu etablieren.</p> <p>Es ist sicherzustellen, dass der Endnutzer von den Batterievertreibern hinreichend über Folgendes informiert werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - die Bedeutung bestimmter Kennzeichnungen (Symbole) auf den Batterien, beispielsweise die Bedeutung kennzeichnungspflichtiger toxischer Stoffe, die in den Batterien und Akkumulatoren des Vertreibers enthalten sind, - die gesetzliche Verpflichtung der Endnutzer, Altbatterien und Altakkumulatoren an Sammelstellen zurückzugeben, um das Recycling zu ermöglichen sowie - die Möglichkeit der unentgeltlichen Rückgabe von Altbatterien und Altakkumulatoren in der Verkaufsstelle der Vertreiber. <p>Eine Kennzeichnung aller Batterien und Akkumulatoren sowie Batteriesätze mit einem Symbol wie dem nachfolgend dargestellten, trägt dazu bei, dem Endnutzer die Notwendigkeit der getrennten Sammlung und der anschließenden Übergabe in ein sicheres Entsorgungssystem zur Kenntnis zu geben.</p>

Abbildung 1: Symbol / Kennzeichnungspflicht zur Getrenntsammlung von Batterien und Akkumulatoren


**GEEIGNETE BZW.
EMPFOHLENE
ERFASSUNGS-
WEGE UND -
STRATEGIEN**

Rücknahme und spezielle Sammelsysteme sind effektive Wege für das gezielte Sammeln und die umfassende Erfassung von gebrauchten Batterien und Akkumulatoren. Die Rücknahme kann sehr effizient über die Geschäfte, welche Batterien verkaufen, über öffentliche Einrichtungen und Wertstoffhöfe der Kommunen oder über Abholvereinbarungen zwischen Recyclingfirmen und (gewerblichen) Nutzern gestaltet werden. Auch durch bestimmte (einrichtungs- bzw. stadtteilbezogene) Sammelkampagnen ist eine Sammlung praktikabel.

Es ist empfehlenswert, dass die mit der Rücknahme beauftragten Partner spezielle Behälter zur Sammlung nutzen. Dadurch sind eine Erleichterung der Sammlung und eine gleichzeitige getrennte und sichere Lagerung in den gegebenen Räumlichkeiten gewährleistet. Ferner wird die frühzeitige Beschädigung der Altbatterien vermieden, da die Behälter nur ausgetauscht und nicht umgefrachtet werden müssen. Beschädigte Batterien können zu Kurzschlüssen führen: Auf dem Weg von der Sammlung bis zur stofflichen Verwertung sind diese häufig die Ursache von Bränden.

Abbildung 2: Sammelbehälter für gebrauchte Lithiumbatterien (Bildquelle: Intecus GmbH)



Denkbar ist, dass neben den im Rahmen der Produktverantwortung verpflichteten Herstellern von Batterien (Produzenten, Importeure etc.) auch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger freiwillig an der Sammlung von Batterien mitwirken oder vom Gesetzgeber ebenfalls dazu verpflichtet werden.

GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE BEHANDLUNGS- WEGE UND STRATEGIEN

Da die Batterien nur selten nach ihren Inhaltstoffen getrennt gesammelt werden, müssen sie vor der Verwertung sortiert werden. Vor der Sortierung nach Typen werden die Batterien nach Größe klassiert, wobei Knopfzellen aussortiert werden. Für die weitere Sortierung gibt es zwei Verfahren:

- Elektromagnetisches Verfahren

Als erstes erfolgt hier eine Sortierung nach magnetischen (ca. 85%) und nicht magnetischen (ca. 15%) Batterien. Die magnetischen Batterien passieren anschließend ein Magnetfeld, welches sich in Abhängigkeit vom elektrochemischen System (Inhaltstoffen) der Batterie verändert. Bis zu 6 Batterien pro Sekunde können mit diesem System sortiert werden. Die Sortenreinheit beträgt 98 %.

- Röntgen-Verfahren

Die Batterien passieren einen Röntgensensor. Anhand der Graustufung des Röntgenbildes lässt sich das System der Batterie erkennen. Bis zu 20 Batterien pro Sekunde können mit diesem System identifiziert werden. Die Sortenreinheit beträgt mehr als 98 %.

Alternativ zu den beschriebenen automatisierten Sortierverfahren ist bei geringeren Anfallmengen auch eine händische Sortierung möglich. Unter Berücksichtigung der entsprechenden Sicherheitsvorkehrungen ist die händische Sortierung ebenfalls eine genaue Trennmethode.

Um eine Trennung zwischen quecksilberhaltigen und quecksilberfreien Batterien zu erreichen, kennzeichnen die Hersteller von Alkali-Mangan- und Zink-Kohle-Batterien mit einem UV-Code, der mit einem UV-Sensor gelesen werden kann. Um das Recycling der Batterien auf hohem Niveau zu ermöglichen, sind die Sortierverfahren getrennt vom jeweiligen Recyclingprozess durchzuführen.

Für die anschließenden Recyclingverfahren sollten u. a. Mindestanforderungen an die Effizienz sowie einheitliche Berechnungswege festgelegt werden. Weiterhin ist sicherzustellen, dass alle identifizierbaren und gesammelten Altbatterien behandelt und recycelt werden. Zur Überwachung und Weiterentwicklung der Verfahren wurden bspw. in Deutschland für die Recyclingbetriebe Berichtspflichten gegenüber einer zentralen Behörde eingeführt.

GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE RECYCLINGWEGE UND -STRATEGIEN

Für die einzelnen Batteriesysteme gibt es unterschiedliche metallurgische Verwertungsverfahren. Diese können in pyro- und hydrometallurgische Prozesse unterteilt werden, welche im Folgenden beispielhaft genauer dargestellt werden. Die hauptsächlichen Unterschiede der Prozesse können wie folgt charakterisiert werden:

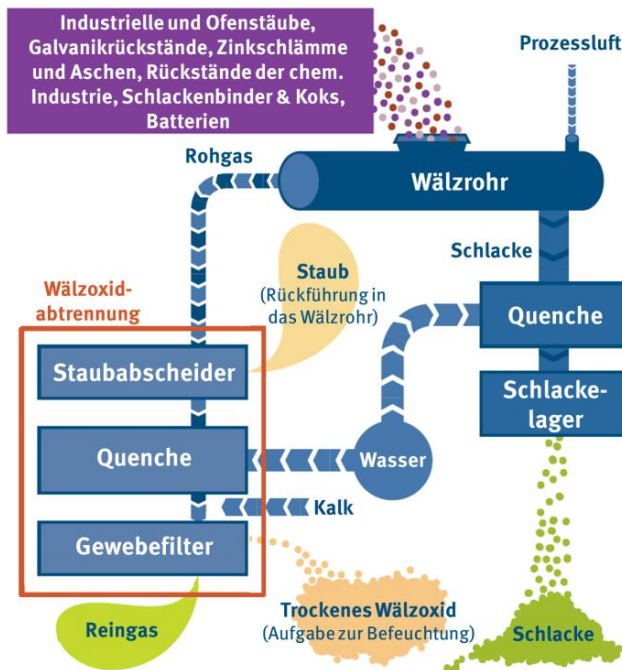
Tabelle 2: Vor- und Nachteile pyrometallurgischer und hydrometallurgischer Prozesse

	pyrometallurgischer Prozess	hydrometallurgischer Prozess
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Reaktionsgeschwindigkeit - hohe Effizienz - hohe Durchsatzrate - geeignet für komplexe Verbindungen - unempfindlich bei Änderung des Inputmaterials 	<ul style="list-style-type: none"> - sehr verschiedene Reaktionen (hohe Reinheit des Outputs) - gut kontrollierbar bei einem Input gleicher Zusammensetzung - wenig Probleme mit Emissionen
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - wenige Einzelreaktionen (geringere Reinheit des Outputs) - Prozessschritte müssen zu verschiedenen Zeiten wiederholt werden - hohes Geräusch- u. Emissionspotential 	<ul style="list-style-type: none"> - geringere Geschwindigkeit der Reaktionen - geringere Effizienz und Durchsatz - empfindlich gegenüber der Änderung der Zusammensetzung des Inputs - Prozessrückstände sind hinsichtlich der Ablagerung/Entsorgung problematisch

Zink-Kohle und Alkali-Mangan – Batterien

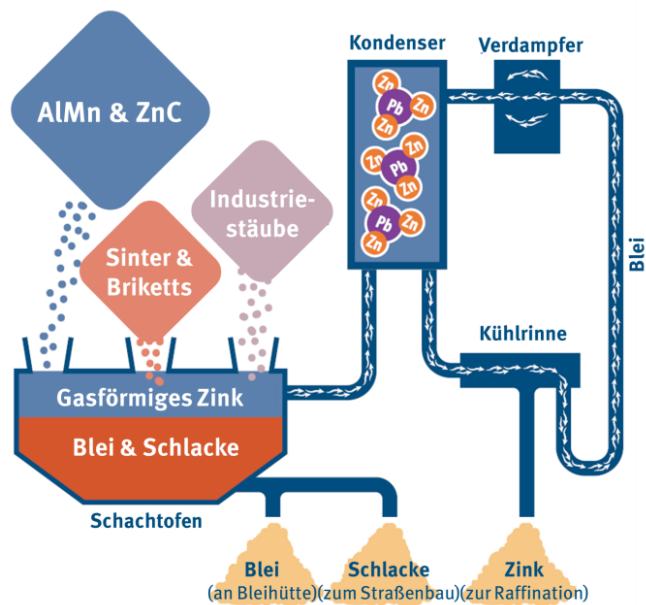
a) *Wälzofen* – das Wälzrohrverfahren ist ein hüttenmännischer Prozess in dem die zinkhaltigen Batterien (mit Sand und Koks) in einen sich drehenden Ofen gegeben werden. Das Zink oxidiert und verflüchtigt sich (bei 1300°C). Nach der Abkühlung werden die Oxide (Wälzoxid) gesammelt und an die Primärzinkhütten weitergegeben. Die restliche Schlacke findet im Straßenbau ihren Gebrauch.

Abbildung 3: Prozessschema für ein Wälzofenverfahren zur Batterieverwertung



b) *Imperial-Smelting-Verfahren* – in diesem Verfahren kann metallisches Zink gewonnen werden. Auch hier wird das Zink verdampft und in einen Kondensator geleitet, wo es mit fein versprühtem Blei abgekühlt wird. Das Zink bleibt am Blei haften. Anschließend werden beide Metalle abgekühlt und getrennt. Das Blei wird in den Kondensator zurückgeleitet, das Zink liegt in reiner Form vor und kann weiter verarbeitet werden.

Abbildung 4: Prozessschema für ein Imperial-Smelting-Verfahren zur Batterieverwertung



c) *Weitere Verfahren* – zum Material-Recycling von Alkali-Mangan-Batterien sowie Zink-Kohle-Batterien sind

- Elektrostahlofen, welcher Stahl produziert
- Elektrostahlofen, welcher Ferromangan produziert,
- Blasstahlofen, welcher Ferromangan produziert
- Drehrohrofen

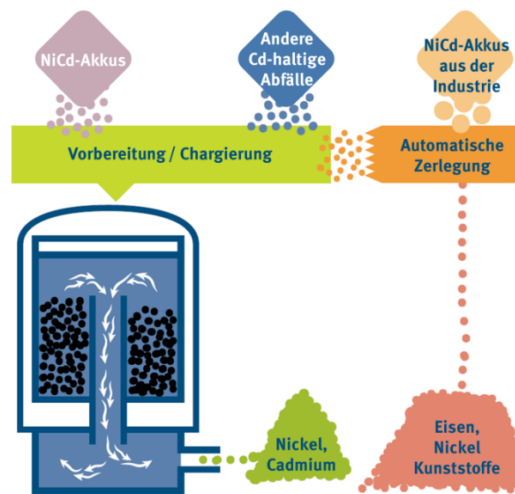
Wie in den vorherigen Prozessen wird auch hier das Zink verdampft und so aus der Mischung gewonnen. Die letztgenannten Verfahren sind jedoch weniger gebräuchlich.

- Dismantlingprozess: Alkali-Mangan-Batterien der Größe C und D werden mechanisch geöffnet um einen Rückbauprozess zu durchlaufen. Es entstehen Zinkoxid, Eisen und Manganoxid

Nickel-Cadmium-Batterien

Verbrauchte Nickel-Cadmium Akkumulatoren werden auch thermisch verwertet. Das Cadmium wird unter Vakuum oder in einer Inertatmosphäre abdestilliert. Das verbleibende Stahl-Nickel-Gemisch wird zur Stahlerzeugung weitergegeben. Die bereits in Europa für dieses Verfahren vorhandenen Kapazitäten sind aufgrund der rückläufigen Mengen solcher Batterien für ganz Europa ausreichend.

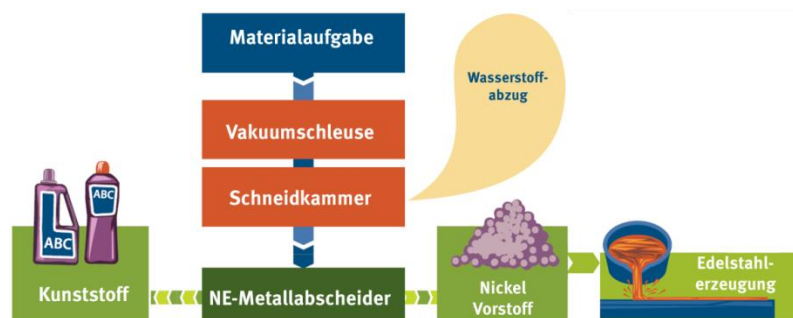
Abbildung 5: Prozessschema zum Verfahrensansatz für das Recycling von NiCd Batterien



Nickel-Metallhydrid-Batterien

Der Schwerpunkt des Recyclings dieser Batterieart liegt auf der Wiedergewinnung des Nickels. Wegen der möglichen Wasserstofffreisetzung bei der Zerkleinerung der NiMH-Batterien muss die Verarbeitung in überwachter Atmosphäre stattfinden. Nach Separation der enthaltenen Kunststoffe liegt ein hoch nickelhaltiges Produkt vor, das als wichtiger Legierungsbestandteil bei der Stahlproduktion weiterverwendet wird.

Abbildung 6: Prozessschema zum Recycling von NiMH Batterien auf Basis des NIREC-Prozesses



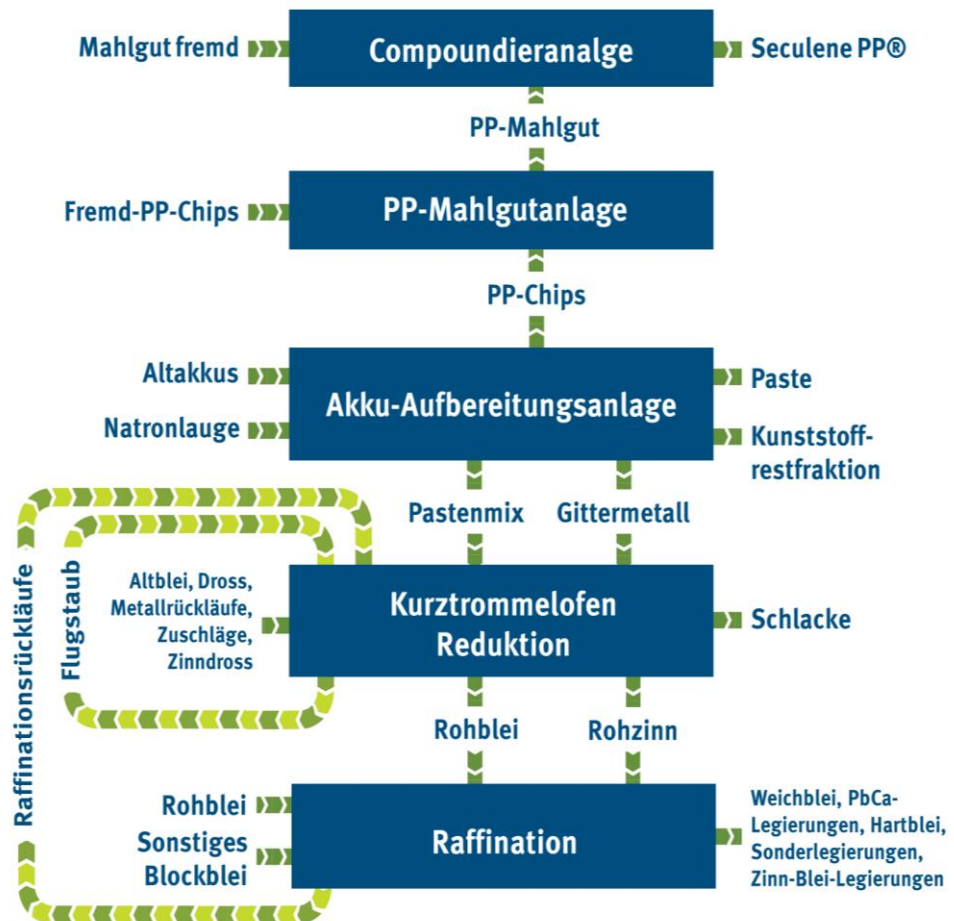
Bleibatterien

Blei kann auf zwei Arten aus Altbatterien gewonnen werden. Zum einen können die Bleiakkumulatoren auseinander genommen und das Blei sowie die anderen Materialien (Blei, Kunststoff, Säure) separat gewonnen werden oder die Batterien werden nach Entnahme der Säure komplett und ohne weitere Behandlung dem Hochofen beigegeben. Im Hochofen werden sie mit einem Gemisch aus Kohle, Kalkstein und Eisen verhüttet. Das entstehende Produkt ist Rohblei.

Das Verfahren wird beim Batteriehersteller VARTA unter dem Namen (VARTA) Schachtofen-Verfahren eingesetzt. Ein weiteres Produkt des Schachtofen-Verfahrens ist das Abgas. Diese beinhaltet die gasförmigen Komponenten der Schmelze: außerdem Kohlendioxid und Kohlenmonoxid, Staubpartikel mit hohem Bleigehalt sowie Reste aus der Verbrennung des Kunststoffs. Um das Abgas effektiv zu reinigen sind die organischen Bestandteile vollständig in einem ersten Schritt zu verbrennen. Die Gasbrenner erhitzen das Abgas mit einer Initialtemperatur von 200°C und erwärmen dies dann auf eine Temperatur von 1100°C. Somit können die letzten Rückstände organischer Bestandteile entfernt werden. Nach der Abkühlung durchläuft das Gas ein Filtersystem, welches nahezu 100 % der Staubbestandteile herausfiltert. Der gesammelte Staub enthält bis zu 65% Blei, welches als wertvolles Rohmaterial gilt. Nach der Nachbehandlung wird dieses wieder dem Schmelzprozess zugesetzt.

Am Standort Braubach führt die BSB Recycling GmbH ein Recycling von u. a. Blei-Säure-Akkumulatoren aus dem Fahrzeug- und Industriesektor durch und setzt dazu die Engitec-Technologie ein. Es erfolgt eine Rückgewinnung von Kunststoffgranulaten (Seculene PP®) sowie Weichblei, PbCa-Legierungen, Hartblei, Sonderlegierungen und Zinn-Blei-Legierungen (Abbildung 7).

Abbildung 7: Anlagenschema BSB Recycling GmbH Braubach (modifiziert nach BSB Recycling GmbH)

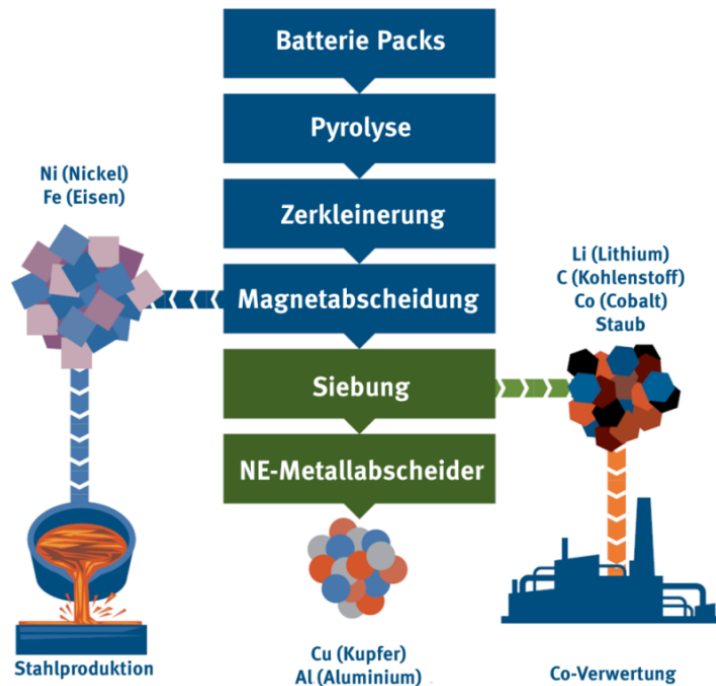


<http://www.berzelius.de/berzelius/bsb/schema.php>

Lithiumbatterien

Bei den Lithium-Primärsystemen (LiMnO₂) wird hauptsächlich darauf gesetzt, die Metalle Nickel, Eisen, und Mangan zu gewinnen. Das Recycling von wieder aufladbaren Lithiumsystemen (Li-Ion bzw. Li-Polymer) erfolgt vorwiegend unter der Maßgabe der Rückgewinnung von Kobalt, Eisen, Nickel und Kupfer.

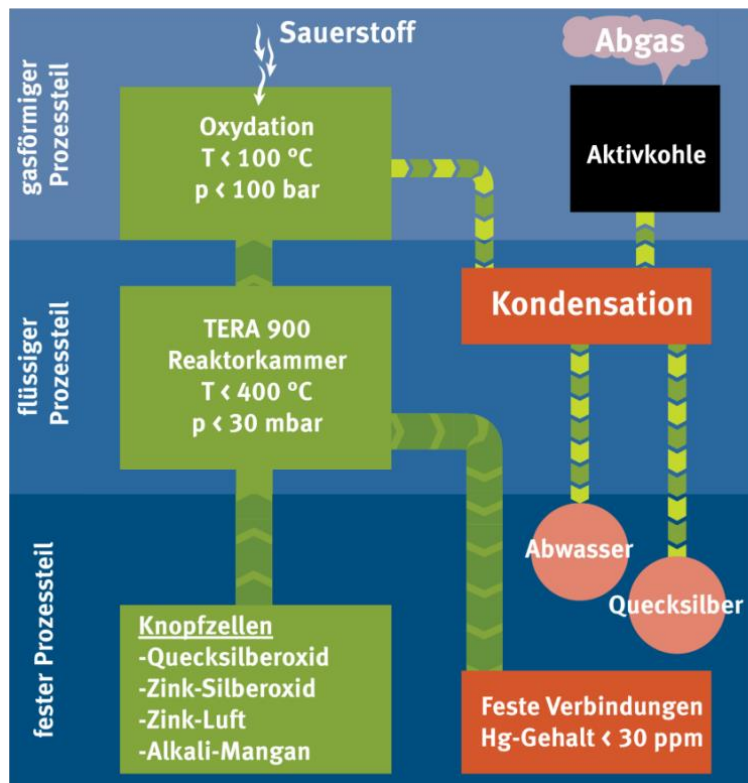
Abbildung 8: Verfahrensansatz für das Recycling von lithiumhaltigen Batterien



Quecksilberhaltige Batterien (Knopfzellen)

Quecksilber aus Altbatterien wird u.a. mit dem ALD-Verfahren gewonnen. Es basiert auf einer vakuothermischen Behandlung. In speziellen, hermetisch geschlossenen Anlagen wird im Chargenbetrieb das Quecksilber bei 350°C und 650°C verdampft. Es kondensiert anschließend bei niedrigeren Temperaturen und kann somit dem Wirtschaftskreislauf wieder zurückgeführt werden. Der quecksilberfreie Stahl wird verkauft.

Abbildung 9: Verfahrensansatz zum Recycling von quecksilberhaltigen Batterien



**REFERENZEN UND
DIENSTLEISTER
BZW. HERSTELLER**

*(wichtiger Hinweis:
die Aufzählung von
Firmen in dieser
Übersicht erhebt
keinen Anspruch auf
Vollständigkeit)*

In Deutschland findet die Erfassung von Altbatterien und -Akkus im Rahmen der Produktverantwortung statt. In 2014 wurden in Deutschland mehr als 170.000 Annahmestellen im Handel, Gewerbe und bei den Entsorgungsträgern mit Sammelbehältern und Transportkartons für Gerätealtbatterien von den Rücknahmesystemen von Geräte-Altbatterien ausgestattet.

Im Berichtsjahr 2014 waren in Deutschland die folgenden vier Rücknahmesysteme für Geräte-Altbatterien tätig:

- das Gemeinsame Rücknahmesystem für Geräte-Altbatterien (GRS Batterien - Stiftung Gemeinsames Rücknahmesystem Batterien) www.grs-batterien.de
- herstellereigenes Rücknahmesystem REBAT, www.rebat.de
- herstellereigenes Rücknahmesystem ERP Deutschland www.erp-recycling.de
- herstellereigenes Rücknahmesystem Öcorecell www.ifa-gmbh.com

Jedes der vier Rücknahmesysteme für Geräte-Altbatterien muss seit 2014 die Mindestsammelquote von 40 % und spätestens ab dem Berichtsjahr 2016 eine Sammelquote von 45 % erreichen und dauerhaft sicherstellen. Im Jahr 2014 nahmen die vier Rücknahmesysteme so viel Geräte-Altbatterien zurück wie in keinem Jahr zuvor. Die Masse der zurückgenommenen Altbatterien erhöht sich seit 2010 ununterbrochen, in 2014 steigt die Masse gegenüber dem Vorjahr um 543 t bzw. auf 19.142 t. Die Sammelquote erhöhte sich von 43,1 % in 2013 auf 44,2 %.

Anlagen die das Recycling bzw. die Verwertung von gebrauchten Batterien und Altakkus durchführen sind in Deutschland in größerer Zahl vorhanden. Referenzanlagen für die zum Teil oben beschriebenen Verfahren sind z.B.:

Tabelle 3: Referenzanlagen

Anwendung	Drehrohrofen	Imperial-Smelting-Verfahren	Blasstahlofen
Anlagenstandort	Goslar	Duisburg	Duisburg
Input Batterien	5%	2-3 %	2-3 %
Produkte	Zinkoxid, Schlacke	Zink, Schlacke	Zinkstaub, Blei, Schlacke, Eisen

Weitere Dienstleister im Bereich Batterierecycling/-verwertung sind z.B.:

- Recycling von AlMn und ZnC-Batterien sowie NiMH-Batterien:
Redux GmbH, Dietzenbach www.redux-gmbh.de
- Recycling von quecksilberhaltigen Knopfzellen:
REMONDIS QR GmbH, Dorsten www.remondis-qr.de
- Recycling von NiCd-Batterien sowie Lithiumbatterien:
Accurec GmbH, Mülheim/Ruhr www.accurec.de
- Recycling von Bleibatterien
BSB Braubach der Berzelius Metall GmbH, Braubach www.berzelius.de
HOPPECKE Metallhütte GmbH & Co. KG, Brilon www.hoppecke.de