

# **Altbatterien als sekundäre Rohstoffressourcen für die Metallgewinnung**

## **Inhalte der mit dem Kaiserpfalz-Preis der Metallurgie 2008 ausgezeichneten Forschungsarbeit**

Rombach, E.; R. Weyhe; T. Müller; R. Sanchez; J. Böhlke; T. Georgi; B. Friedrich

### **1 Einführung**

Das IME in Aachen vertritt die metallurgische Prozesstechnik und das Metallrecycling in Forschung und Lehre an der RWTH Aachen. Kernziele sind die Entwicklung nachhaltig umweltschonender und kosteneffizienter Verfahren zur Herstellung metallischer Werkstoffe. Ausgehend von der Georessource „Erz“ oder der Konsumressource „Schrott“ werden moderne Funktionswerkstoffe bereitgestellt. Seit Übernahme der Institutsleitung im Jahr 1999 durch Prof. Dr.-Ing. Bernd Friedrich (vormals GfE und VARTA) geht das Bestreben dahin, neu konzipierte Verfahren ausgehend von anwendungsorientierten Grundlagenarbeiten experimentell bis in den technischen Maßstab zu erproben. Diese industriennahe Entwicklung erfolgt immer unter Einbeziehung der Wirtschaftlichkeit. Das Ziel der *mit dem Kaiserpfalz-Preis der Metallurgie 2008 ausgezeichneten Forschungsarbeit*: „Rückgewinnung von Metallen aus verbrauchten Gerätebatterien“ bestand in der Entwicklung von innovativen emissionsarmen Recyclingverfahren für verbrauchte Batterien mit einer auf optimierte Umweltvorsorge ausgelegten Prozessgestaltung. Die entsprechende Problematik wurde exemplarisch anhand von massenintensiven u./od. besonders schadstoffhaltigen Gerätebatteriesystemen bearbeitet. In diesem Zusammenhang ging es auch um eine sichere Erfüllung der auf europäischer Ebene stetig verschärften Gesetzesauflagen für den betreffenden Industriebereich.

### **2 Rohstoffpotenzial und Umweltrelevanz von Altbatterien**

Die Produktverantwortung und damit die Sicherstellung einer umweltgerechten Entsorgung von verbrauchten Gerätebatterien ist ein Thema, das uns alle angeht – gehören wir doch alle mit unseren Handys, Laptops, Digitalkameras, MP3-Playern, Elektrowerkzeugen und zahlreichen weiteren technischen Kleingeräten, zu den Nutzern dieser mobilen Energiequellen. Gerätebatterieschrott, das ist jedoch kein klar definierter Stoffstrom, sondern vielmehr ein Oberbegriff für ein Stoffgemisch unterschiedlichster Batteriesysteme, die für verschiedene Anwendungsziele entwickelt wurden. Aus der entsprechenden Breite der einzelnen Stoffkomponenten interessieren insbes. die Metallinhalte (Abbildung 1) und die Frage, ob sich die Batterien als sekundäre Rohstoffressourcen ökologisch/ökonomisch sinnvoll recyceln lassen.

Klassischer Vertreter der Primärsysteme (nicht wieder aufladbar) sind in erster Linie die Anfang der 60-er Jahre entwickelten Zink-Kohle-Batterien gefolgt von den Anfang der 80-er Jahre konzipierten Alkali-Mangan-Batterien. Das wieder aufladbare Pendant gleicher Energiedichte stellt die Mitte der 80-er Jahre entwickelte Nickel-Cadmium-Batterie dar. Diese wurde bereits 5 Jahre später in spannungskompatibler Form mit verbesserten Gebrauchseigenschaften und ohne den umweltrelevanten Cd-Inhalt als Nickel-Metallhydrid-Batterie optimiert. Mit der Mitte der 90-er Jahre realisierten Lithium-Ionen-Batterie gelang ein entscheidender Durchbruch hinsichtlich gesteigerter Energiedichte pro Gewicht/Volumen. Bei Metallinhalten zwischen 35 und 85 % gelten diese Rohstoffressourcen europaweit als komplexe Problemabfälle. Neben den teils hohen Schwermetallinhalten ist dies auf organische und inorganische Bestandteile aus fluiden Elektrolyten, Leitsalzen, Gehäusen und Separatoren zurückzuführen.



Abbildung 1: Metallinhalte derzeit gängiger Gerätebatteriesysteme

Zum Schadstoffpotenzial dieser Stoffströme addiert sich ein immenses Mengenpotenzial, welches diese Abfallproblematik besonders stark ins breite öffentliche Interesse rückt. So stieg in den letzten 10 Jahren der weltweite Bedarf allein für den Bereich der wieder aufladbaren Batterien von ca. 60 000 Jahrestonnen auf nahezu die doppelte Menge (115 000 t/a) an. Neben dieser Verbrauchssteigerung verdeutlicht Abbildung 2 die Umgruppierungen zwischen den einzelnen Batteriearten, wodurch beispielsweise in der gleichen Dekade der prozentuale Produktionsanteil vom Typ NiCd durch NiMH und Li-Ionen halbiert wurde. Zusammen mit den weltweit produzierten Primärbatterien (Zink-Kohle/Alkali-Mangan), die mit 90 % den Hauptmassenanteil ausmachen, werden derzeit jährlich 2 Millionen Tonnen Gerätebatterien verbraucht. Das entspricht der immensen Stückzahl von 50 Milliarden – noch zur Jahrtausendwende lag dieser Wert bei etwa 30 Milliarden Stück.

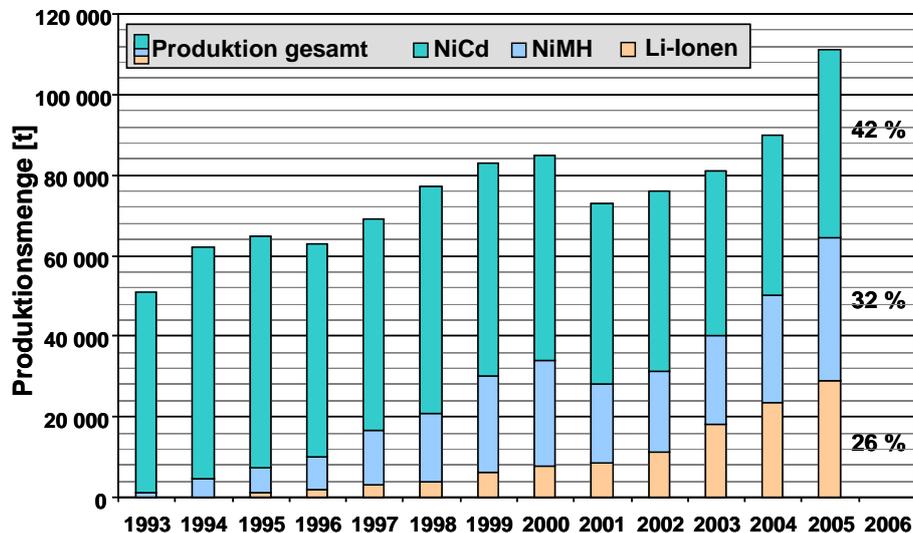


Abbildung 2: Zeitliche Entwicklung der weltweiten Produktionsmenge für sekundäre Gerätebatterien (mengenbezogene Marktanteile der verschiedenen Batterietypen in %)

Das Batterierecycling steht seit einer Dekade im Fokus der deutschen und europäischen Umweltpolitik. In Deutschland wurde mit Inkrafttreten der Batterieverordnung (BattV vom 27.03.1998) das Prinzip der Produktverantwortung, d. h. der verantwortungsvolle Umgang durch den Endverbraucher sowie die Batterierücknahme durch Hersteller und Vertrieber zur Verwertung nach den Maßgaben des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrW-/AbfG vom 27.09.1994), bereits früh forciert. Diese Vorgaben wurden kürzlich auf EU-Ebene durch die neue Batterierichtlinie (RL 2006/66/EG vom 26.09.2006) zahlenmäßig konkretisiert und deut-

lich verschärft: neben der Forderung, Gerätebatterien verstärkt zu sammeln (definierte Sammelquoten) und primär stofflich zu verwerten, werden Mindestwerte für Recyclingeffizienzen explizit festgelegt. Mit Inkrafttreten dieser Richtlinie im Oktober diesen Jahres wird somit der Grundstein für ein nachhaltiges Batterierecycling europaweit zementiert. Infolgedessen ist die Industrie und insbesondere die Metallindustrie in einem hohen Maße gefordert, ihren Beitrag zur „Vorsorge zum Schutz des Wohls der Allgemeinheit“ zu liefern.

### 3 Forschungsergebnisse zum Recycling von Altbatterien

Seit 2000 stellt das Batterierecycling einen thematischen Forschungsschwerpunkt am IME dar, für den unter Leitung von Frau Dr. Rombach eine eigenständige Arbeitsgruppe eingerichtet wurde. Einen chronologischen Überblick über die am IME entwickelten Recyclingverfahren ergänzt durch zukünftige Forscherambitionen gibt Abbildung 3.



Abbildung 3: Entwicklung von Batterierecyclingverfahren am IME der RWTH Aachen

- **Nickel-Cadmium-Batterien**

Das Promotionsvorhaben von Herrn Weyhe im Zeitraum von 2000 bis 2002 beschäftigte sich, angetrieben durch die umweltbelastende Cd-Problematik, mit NiCd-Batterien. Der entwickelte Verfahrensvorschlag basiert auf einer Vakuumdestillation des leichtflüchtigen Cadmiums im *Kaltwand-Vakuuminduktionsofen*. Unter den Voraussetzungen, dass mit einem angepassten Chargierbehälter und einem bodenseitig angeflanschem Vakuummetalldampfkondensator gearbeitet wird, kann durch diesen hermetischen Prozess neben dem Marktprodukt Ni-Fe-Schrott nahezu 100 % Cd-Metall in Form von hochwertigen Kugeln emissionsminimiert erzeugt werden. Genau darin liegt der große Vorteil dieses Verfahrens im Vergleich zu anderen Varianten. Dieses Recyclingverfahren wird heute als BAT für Gerätebatterien definiert und verhalf dem Unternehmen ACCUREC Recycling GmbH, Mühlheim zum Marktdurchbruch.

- **Nickel-Metallhydrid-Batterien**

Das Promotionsvorhaben von Herrn Müller zwischen 2001 und 2004 stellt den Beginn einer Entwicklungsreihe zum Elektroreduktionsschmelzen verschiedener Batterietypen im bekanntermaßen emissionsarmen *Lichtbogenofen* dar. Hierbei wurde die notwendige Verfahrensflexibilität durch die folgenden Voraussetzungen erreicht:

1. Dem Schmelzprozess wurde eine batteriespezifische Aufbereitung vorgeschaltet. Diese wurde mechanisch (brechen, mahlen, sieben, agglomerieren) oder thermisch ausgeführt (Pyrolyse, Vorreduktion).
2. Geeignete Schlackensysteme zur angestrebten Metalltrennung wurden durch umfangreiche Schlackenentwicklungen anhand von Metall-Schlacke-Gleichgewichtsberechnungen und –untersuchungen jeweils angepasst.
3. Optimale prozesstechnische Rahmenbedingungen wurden durch den Einsatz modernster Chargiermethoden (Vollelektroden- oder Hohlelektroden-System, Chargierrohr zum Materialein- oder Aufblasen) sichergestellt.
4. Diese sollten durch eine geeignete, effektive Abgasfiltertechnologie ergänzt werden.

Bezogen auf das Recycling von NiMH Batterien konnte so bis zum Pilotmaßstab neben einer Ni-Co-Legierung (80/12) eine hochwertige SE-Schlacke (Ausbringungsgrad bis 85 %) erzeugt werden. Demgegenüber steht die konventionelle Nutzung dieser Altbatterien als preiswerte Ni-Quelle in der Stahlindustrie. Bei dieser Verfahrensvariante werden entweder einzelne Metallinhalte, wie Kobalt, nicht bezahlt oder gehen, wie im Falle der Seltenen Erden, in der Schlacke für eine Wiedergewinnung durch Verdünnung verloren. Die in einer Szenarioberechnung nachgewiesene Wirtschaftlichkeit des entwickelten Verfahrens für den Modellfall soll noch in diesem Jahr im industriellen Maßstab bestätigt werden.

- **Zink-Kohle-/Alkali-Mangan-Batterien**

Das im Jahr 2004 begonnene Projekt zur Entwicklung eines Recyclingverfahrens für Primärbatterien wurde 2007 erfolgreich abgeschlossen und wird noch in diesem Jahr in zwei Dissertationen der Herren Sanchez und Böhlke ausführlich dokumentiert. Hierbei konnten ebenfalls im *Lichtbogenofen* nach demselben Verfahrensprinzip, allerdings nach batteriespezifischer Anpassung des Arbeitsfensters, eine hochwertige Ferromanganlegierung ( $\text{Fe/Mn} \leq 1$ ) und ein ZnO-Konzentrat als getrennte Recyclingprodukte gewonnen werden. Gerade im deutlich höheren Ausbringen metallischen Mangans in dieser qualitativ sehr hochwertigen Legierung liegt der entscheidende Stoffvorteil dieses Prozesses, wird doch Mangan im Zuge der gängigen Verwertung größtenteils in einem vergleichsweise minderwertigen Schlackenprodukt als Oxidverbindung verdünnt. Basierend auf diesen Forschungsergebnissen hat die BATREC Industrie AG, Wimmis (Schweiz) einen Lichtbogenofen installiert, in welchem dieser Prozess ab Mitte diesen Jahres großtechnisch realisiert werden soll.

- **Lithium-Ionen-Batterien**

Seit 2005 forscht Herr Georgi nach gleicher Prämisse an einem Recyclingverfahren für Li-Ionen-Gerätebatterien. Im Unterschied zu den bisherigen pyrometallurgischen Prozessen werden hierdurch bereits vor dem Einschmelzen elektrochemisch eher unedle Metallkomponenten in der qualitativ hochwertigen Form einer sehr reinen Al- sowie einer Fe-Ni-Fraktion gewonnen. Hauptrecyclingprodukte bilden jedoch die im *Lichtbogenofen* erschmolzene Co-Mn-Legierung und das aus Schlacke und Flugstaub bestehende Li-Konzentrat, für die bereits interessierte Abnehmer gefunden werden konnten. Dieses vorerst letzte größere Teilprojekt steht derzeit kurz vor seinem erfolgreichen Abschluss.

- **Berechnung von Recyclingeffizienzen**

Batteriesystemübergreifend wurde für Europa ein Beitrag zur Entwicklung einer *Arbeitsformel zur Berechnung von Recyclingeffizienzen* (gemäß RL 2006/66/EG) erarbeitet. Die auf EU-Ebene festgelegten Grenzwerte für Recyclingeffizienzen sind bis dato noch nicht definiert und bieten daher zahlreiche Interpretationsmöglichkeiten für eine Kalkulation an. Da die Recyclingeffizienz das Ergebnis von Stoffstromberechnungen und damit von Massenbilanzen darstellt, sind die entsprechenden Systemgrenzen klar zu definieren. Die Komplexität derartiger Systeme wurde, angestoßen durch die Vorschläge des IME, intensiv in die öffentliche Diskussion eingebracht und zu einem Vorschlag verwertet.

#### 4 Anwendernutzen der Forschungsergebnisse

Durch Prozessanalyse der existierenden Recyclingverfahren konnte festgestellt werden, dass die Verzettelung der Wertmetallinhalte infolge Verschlackung u./od. mehrstufige Prozessabfolge sowie Wertmetallverdünnung in minderwertigen Nebenprodukten die Hauptverlustquellen für das Metallausbringen beim Batterierecycling darstellen. Hierdurch geht ein merkliches Recyclingpotenzial verloren, das nun auch durch Verschärfung der gesetzlichen Rahmenbedingungen eingegrenzt werden soll. Eine direkte Arbeitsweise wirkt nicht nur der Metallverzettelung entgegen; durch Reduzierung der Quellen (Prozesseinheiten, Transportwege) werden auch Emissionen verringert bzw. leichter beherrschbar sowie der zum Recycling erforderliche Gesamtenergieaufwand verringert bzw. effizienter einsetzbar (Abbildung 4).

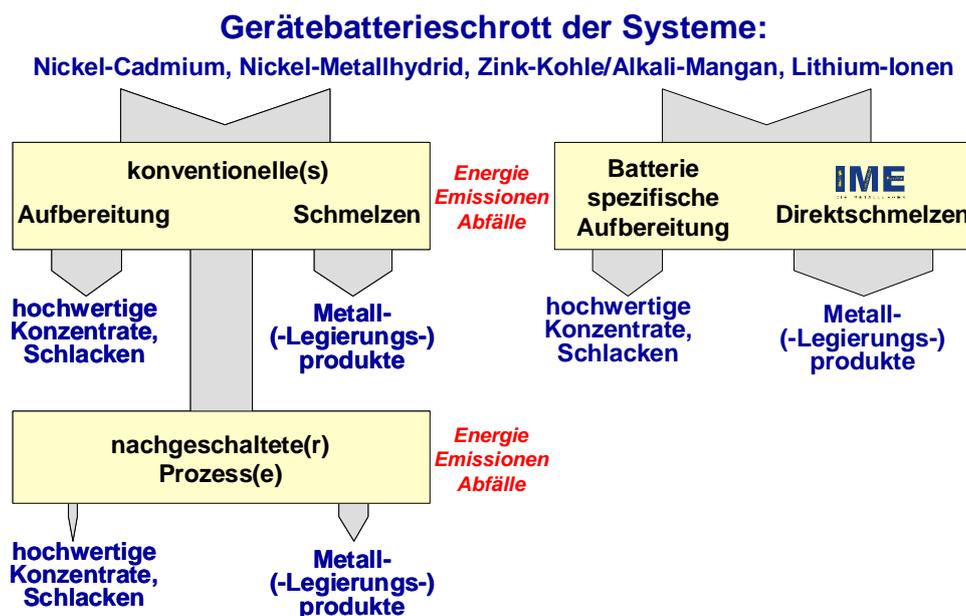


Abbildung 4: Vereinfachtes Stoffflussschema des Batterierecyclings nach konventionellen (links) und den vom IME vorgeschlagenen pyrometallurgischen Verfahren (rechts)

In den vom IME vorgeschlagenen *Direktschmelzverfahren* werden anstelle von teils umweltrelevanten u./od. minderwertigen Zwischen- oder Endprodukten durch einstufige emissionsarme *Lichtbogenofen- bzw. Vakuumofentechnologie* metallische und damit qualitativ hochwertige Recyclingprodukte mit gleichen Eigenschaften wie die entsprechenden Primärprodukte mit erhöhten Metallausbeuten erzeugt. Hierbei werden die übrigen Batteriebestandteile größtenteils harmlos verbrannt oder im Rahmen des Gesamtprozesses anderweitig genutzt (Reduktionsmittel, Schlackenzusatz). Im Vergleich zur derzeit europaweiten Recyclingpraxis kann so der in die Batterieproduktion rezirkulierte Metallanteil auf bis zu 60 % gesteigert und damit eine bessere *Ressourcenschonung* von energieintensiven Importmetallen erreicht werden. Die anfallenden Schlacken erstarren komplett aus dem schmelzflüssigen Zustand; ihre Umweltrelevanz ist im Gegensatz zu anderen Verfahrensvarianten als unkritisch einzustufen.

Insbesondere die Kopplung der direkten Metall(-Legierungs-)gewinnung mit dem Ausbringen weiterer hochwertiger und damit marktfähiger Nichtmetallprodukte stellt eine *innovative technische Herausforderung* dar, die jedoch der Umwelt deutlich besser als bisher gerecht wird. Mit den vorgeschlagenen Prozessen dürfte daher nicht nur eine optimierte Recyclingeffizienz – wie vom Gesetzgeber gerade gefordert – sondern auch ein dauerhaft ökonomischer Betrieb realisierbar sein. Die prinzipielle Eignung der vorgeschlagenen Lösungswege wurde bereits vielversprechend bis zum Pilot- teils sogar bis zum Industriemaßstab bestätigt, so dass Deutschland hinsichtlich der Nachfrage an geeigneten Lösungswegen zur Umsetzung der geforderten Mindestrecyclingeffizienz eine Art *Vorreiterrolle* übernehmen könnte.

Das breite *öffentliche Interesse* an den am IME durchgeführten Arbeiten zum Batterierecycling lässt sich neben institutseigenen Dissertationen (2 fertiggestellte + 3 in Vorbereitung) durch Publikationen in technischen Fachzeitschriften (inges. 3) und zahlreiche Vorträge auf internationalen Konferenzen und Fachseminaren (insges. 15) sowie Interviews und Reportagen der letzten Jahre eindrucksvoll dokumentieren (Details vgl. Schrifttum).

## **5 Ausblick – Lithium-Ionen-Batterien für Hybridantriebe in Automobilen**

Der Einsatz der Li-Ionen-Batterietechnologie in Automobil-Hybridantrieben soll innerhalb der nächsten zwei Jahre erfolgen und die bis dahin verwendeten NiMH-Batterien ersetzen. Die zukünftigen Systeme stellen das Batterierecycling wieder vor neue Herausforderungen. Erstmals ist am IME geplant, zeitgleich mit der Batteriesystementwicklung ein geeignetes Recyclingkonzept zu entwickeln, um die *Idee eines ganzheitlichen Batteriemangement-Konzeptes* von der Entwicklung über die Anwendung bis hin zum Recycling von Anfang an zu verwirklichen. Hierzu soll einem Jungingenieur mit Hilfe des Preisgeldes eine auf zwei Jahre befristete Forschungsstelle mit der Möglichkeit zur Promotion angeboten werden. Mit der Sicherstellung des Recyclings zukünftiger Hybridantriebsbatterien und der damit verbundenen weiteren Etablierung dieser umweltfreundlichen Antriebstechnologie in Automobilen will das IME seinen aktiven Beitrag gegen die globale Erderwärmung und für den Klimaschutz leisten.

### **Danksagung**

An dieser Stelle gebührt unser Dank den zahlreichen Partnern für ihre Unterstützung: BMBF; ACCUREC Recycling GmbH; DBU; BATREC Industrie AG; UVR-FIA GmbH; DAAD.

### **Schrifttum (Öffentlichkeitsarbeit des IME im Bereich des Batterierecyclings)**

- [1] Weyhe, R.; B. Friedrich: “Vacuum-thermal Recycling of used Nickel-Cadmium Batteries”; Proc.: EMC European Metallurgical Conference 2001, September, 18 - 21, Friedrichshafen, Germany; GDMB Medienverlag Clausthal-Zellerfeld, 2001, Vol. 2, pp. 175 - 186
- [2] Weyhe, R.; B. Friedrich: “Vakuumthermisches Recycling von Ni-Cd-Akkumulatoren”; Jahrestagung: Aufbereitung und Recycling, 15. November, Freiberg, 2001

- [3] Müller, T.; B. Friedrich: "Closed-Loop Recycling von Nickel, Kobalt und Seltenen Erden aus Nickel-Metallhydrid-Akkumulatoren"; Jahrestagung: Aufbereitung und Recycling; 15. November, Freiberg, 2001
- [4] Weyhe, R.; B. Friedrich; T. Müller; H. P. Heegn: "Feasibility of a new Closed-Loop Recycling Concept for Nickel-Metallhydride Batteries"; Proc.: ICBR International Congress for Battery Recycling, July, 3 - 5, Vienna, Austria, 2002
- [5] Weyhe, R.: „Recycling von Nickel-Cadmium-Batterien durch Vakuumdestillation“; Dissertation, IME der RWTH Aachen, 2002
- [6] Müller, T.; B. Friedrich: "A new Metallurgical Process for Recycling of Discharged Nickel-Metallhydride-Batteries"; Proc.: TMS Fall 2002 EPD Meeting on Recycling and Waste Treatment in Mineral & Metal Processing; June, 16 - 20, Lulea, Sweden; Ed.: B. Björkman et al., Vol. 2, pp. 25 - 36
- [7] Heegn, H. P.; B. Friedrich; T. Müller; R. Weyhe: "Closed-Loop Recycling of Nickel, Cobalt and Rare Earth Metals from spent Nickel-Metallhydride Batteries"; Proc.: XXII International Mineral Processing Congress, Cape Town, South Africa, 28.09.-03.10. 2003;
- [8] Müller, T., B. Friedrich: "Development of a new Metallurgical Process for Closed-Loop Recycling of Discarded Nickel-Metallhydride-Batteries"; Proc.: EMC European Metallurgical Conference 2003, September, 16 - 19, Hannover, Germany; GDMB Medienverlag Clausthal-Zellerfeld, 2003, Vol. 3, pp. 1059 - 1074
- [9] Müller, T.; B. Friedrich: "Keynote Adress: Development of an CaO-CaF<sub>2</sub> slag system for high rare earth contents"; Proc.: VII International Conference on molten slags, fluxes & salts, Cape Town, South Africa, 25.01.-28.01.2004; The South African Institute for Mining and Metallurgy, Symposium Series S 36, pp. 449 - 454
- [10] Friedrich, B.; H. Klammer; R. Sanchez: "Ferromanganese Production from spent primary batteries – Feasibility of an EAF process"; Proc.: ICBR International Congress for Battery Recycling, June, 2 - 4, Como, Italy, 2004
- [11] Müller, T.: „Entwicklung eines Recyclingprozesses für Nickel-Metallhydridbatterien“; Dissertation, IME der RWTH Aachen, 2004
- [12] Sanchez, R.; B. Friedrich: "Primärbatterien besser recyceln"; Recycling Magazin 60 (2005) 23, S. 18 - 19
- [13] Sanchez, R.; B. Friedrich: "High Grade FeMn from Spent Primary Batteries"; Proc.: EMC European Metallurgical Conference 2005, September, 18 - 21, Dresden, Germany; GDMB Medienverlag Clausthal Zellerfeld, 2005, Vol. 4, pp. 1828 - 1829
- [14] Müller, T.; B. Friedrich: "Development of a Recycling Process for Nickel-Metal Hydride batteries"; Journal of Power Sources 158 (2006), pp. 1498 - 1509
- [15] Rombach, E.; B. Friedrich; M. Berger: "Recycling Efficiency of the Reprocessing of Primary Batteries"; Proc.: ICBR International Congress for Battery Recycling, June, 28 - 30, Interlaken, Switzerland, 2006
- [16] Rombach, E.; B. Friedrich: „Recyclingeffizienz – Stand der Technik am Beispiel von Primärbatterien“; Vortragsveranstaltung: Die neue Batterierichtlinie – Herausforderung für Hersteller und GRS Batterien; GRS Forum Berlin, 10.10.2006; [www.segmenta.de/forum2006](http://www.segmenta.de/forum2006)
- [17] Sanchez, R.; B. Friedrich: "Optimization of the Ferromanganese Production from Spent Primary Batteries-Design of the Process Slag"; World of Metallurgy–ERZMETALL 60 (2007) 1, S. 7 - 14
- [18] Georgi, T.; B. Friedrich: "Investigation of a Slag System for a Li-Ion Battery Recycling Process in the EAF"; Proc.: EMC European Metallurgical Conference 2007, June, 11 - 14, Düsseldorf, Germany; GDMB Medienverlag Clausthal-Zellerfeld, 2007,
- [19] Rombach, E.; B. Friedrich: "The Complexity of Defining Recycling Efficiencies in Primary Battery Recycling Processes"; Proc.: EMC European Metallurgical Conference, June, 11 - 14, Düsseldorf, Germany; GDMB Medienverlag Clausthal-Zellerfeld, 2007, Vol. 2, pp. 741 - 755
- [20] Friedrich, B.; T. Georgi; M. Ridderbusch: "Development of a Calculation Method for Recycling Efficiencies of Battery Recycling Processes"; Proc.: ICBR International Congress for Battery Recycling, June, 20 - 22, Budapest, Ungarn, 2007
- [21] Sanchez, R.: „Optimierung der EAF-Schlacke bei der Herstellung von Ferromangan und Zink aus Primärbatterieschrott“; Dissertation, IME der RWTH Aachen, in Vorbereitung
- Diverse Interviews für Beiträge in der Süddeutschen Zeitung sowie beim Westdeutschen Rundfunk und Deutschlandfunk, 2007

## **Synopsis: Altbatterien als sekundäre Rohstoffressourcen für die Metallgewinnung**

Verbrauchte Gerätebatterien stellen einerseits komplexe Problemabfälle und andererseits - bei Wertmetallgehalten zwischen 35 und 85 % - sekundäre Rohstoffressourcen für die Metallgewinnung dar. So sollte nicht nur vor dem Hintergrund stetig verschärfter gesetzlicher Rahmenbedingungen ein effizientes Metallrecycling dieses mit etwa 50 Milliarden Stück pro Jahr weltweit anfallenden immensen Abfallstroms angestrebt werden. Gegenstand des Forschungsvorhabens sind theoretische und praktische Arbeiten zur Aufarbeitung von Gerätebatterien der Sekundärsysteme NiCd, NiMH und Li-Ionen bzw. der Primärsysteme Zink-Kohle und Alkali-Mangan. Die bis zum Pilotmaßstab teils sogar bis zum Industriemaßstab entwickelten Recyclingverfahren umfassen prinzipiell die Prozessschritte Aufbereitung und einstufige pyrometallurgische Metallgewinnung in emissionsarmen Badschmelzreaktoren (Vakuuminduktionsofen, Elektroreduktionsofen). Sie beinhalten zudem problemlose Integrationsmöglichkeiten erzeugter Nebenprodukte in konventionelle metallurgische Prozessketten durch Sicherstellung ihrer Marktfähigkeit. Entgegen der derzeit vorherrschenden Recyclingpraxis, in welcher einzelne Metallinhalte der Batterieschrotte durch meist mehrstufige Prozesse entweder mit unzureichenden Metallausbeuten wieder gewonnen oder sogar in minderwertigen Schlacken verdünnt werden, werden durch die vom IME vorgeschlagenen Verfahrenswege wichtige Gebrauchsmetalle in deutlich stärkerem Maße in den Rohstoffkreislauf zurückgeführt, Produktqualitäten verbessert, Energieinhalte der Altbatterien gezielter genutzt sowie Prozess- und Transport bedingte Emissionen deutlich vermindert. Neu sind hierbei nicht die für Sortieren und Einschmelzen eingesetzten Technologien, sondern vielmehr deren Kombination und metallurgische Arbeitsweise, die spezielle Modifikationen (z.B. batteriespezifische Stoffstromtrennung durch angepasste Aufbereitung und abgestimmte Schlackensysteme sowie moderne Chargier- und Abgasreinigungstechniken) erforderlich macht.

## **Summary: Used batteries as secondary raw material resources for the metal production**

Used portable batteries represent on the one hand complex waste and on the other hand - with a valuable metal content between 35 and 85 % - secondary raw material resources for the metal production. Thus an efficient metal recycling of this immense waste stream, resulting world-wide with approximately 50 billion pieces per year, should not only be aimed at before the background of constantly intensified legal framework. Objects of the research project are theoretical and practical work for the processing of portable batteries of the secondary systems NiCd, NiMH and Li-ions respectively of the primary systems zinc-carbon and alkaline. The recycling procedures, developed up to pilot scale and partly even up to the industrial scale, cover the process steps pre-treatment and direct metal-winning by smelting in low-emission bath reactors (vacuum induction furnace, submerged arc furnace). Besides, they include integration possibilities of the generated by-products without any difficulties into conventional metallurgical process chains due to their marketable product qualities. In conventional recycling procedures single metal contents of the used batteries are treated by mostly multistage processes either with insufficient metal yields or even diluted in low-grade slags. In contrast to this the direct processes suggested by IME improve recycling efficiency and product quality. Furthermore the energy content of the battery scrap can be used more purposefully as well as process and transport related emissions are clearly decreased. The used technologies for pre-treatment and direct smelting are not new, but their combination and metallurgical mode of operation. This makes special modifications necessary (e.g. battery-specific material separation by aligned pre-treatment steps and slag-systems as well as modern feed- and gas cleaning techniques).