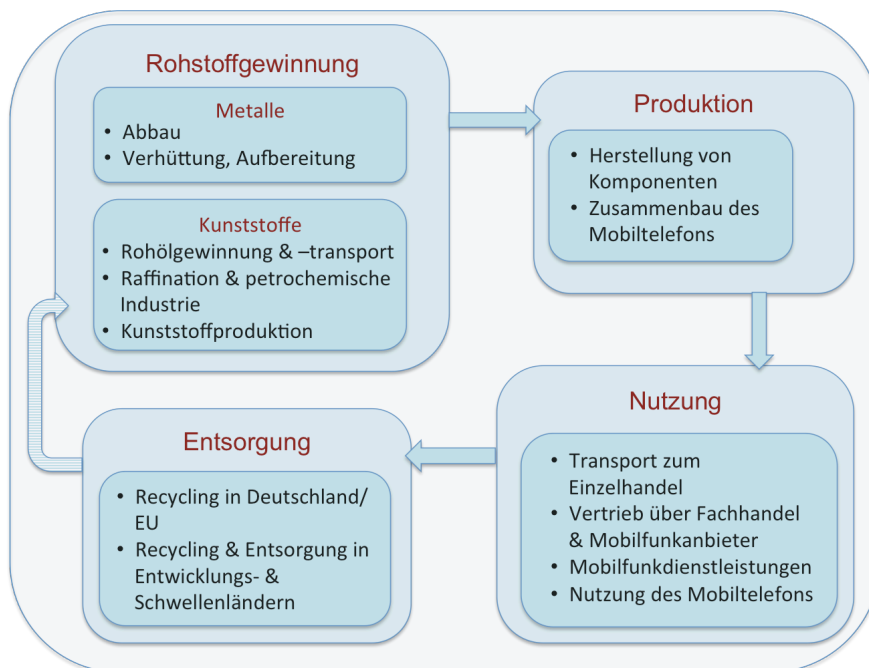




Handy-Recycling im Lebenszyklus des Mobiltelefons

Der Lebenszyklus des Mobiltelefons beschreibt den Gang und die Transformationen aller natürlichen Materialien, die ein Mobiltelefon von „seiner Geburt“ bis zu „seinem Tod“, also seine Rückkehr in die Natur, begleiten. Die folgende Abbildung stellt den Lebenszyklus eines Mobiltelefons schematisch dar.

Abb. 1 Der Lebenszyklus eines Mobiltelefons



Quelle: Wuppertal Institut

Die letzte Phase des Lebenszyklus betrifft die Entsorgung des Mobiltelefons, wozu auch das Recycling gehört. Neben dem Recycling werden auch einige Handys direkt über den Hausmüll entsorgt, d.h. ohne eine Rückgewinnung von Rohstoffen, und nur rein energetisch verwertet.

→ Lebenszyklus eines Mobiltelefons (siehe Factsheet 3)

Allgemeine Schritte der Rückgewinnung von Rohstoffen

Die reguläre Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten, also auch von alten Mobiltelefonen, verläuft in Deutschland über folgende Schritte (vgl. LAGA 2009; Hagelüken 2006):

- getrennte Sammlung der Geräte durch Annahmestellen der kommunalen Entsorger, des Handels, der Hersteller sowie gewerblicher Annahmestellen
- Prüfung auf Wiederverwendbarkeit, falls diese gegeben ist Bereitstellung für Hersteller
- Transport zur Erstbehandlungsanlage: Hier findet in der Regel die Sortierung der Geräte statt, gegebenenfalls auch schon eine weitere Behandlung
- manuelle oder mechanische Behandlung der Mobiltelefone, wie z.B. die Demontage, Entfernung von Schadstoffen, Schreddern etc.
- Verwertung, einschließlich stofflicher Verwertung verschiedener Materialien
- Beseitigung nicht verwertbarer Rückstände

Hochtechnologie für das Recycling: der integrierte Hüttenprozess

Mobiltelefone werden üblicherweise nach der Entnahme der Akkus und anderen Zubehörteilen ohne weitere Zerlegung oder Aufbereitung in pyrometallurgische Anlagen - sogenannte Schmelzer - eingespeist (Hagelüken 2011; Singhal 2005). Es existieren verschiedene Typen von Schmelzern, die von dem Fokus auf das zurückzugewinnende Material abhängen.

Man muss Rohstoffe „opfern“ um Rohstoffe zurückzugewinnen

In einem mehrstufigen Hüttenprozess werden basierend auf den chemischen/metallurgischen Eigenschaften von den Materialien die Metalle zurückgewonnen: Dies beruht auf dem Ziel, den Lebenszyklus z.B. eines Handys auch in der Entsorgungsphase zu optimieren, sodass möglichst viele Metalle (Edel-, Sondermetalle und Basismetalle wie Kupfer) zurückgewonnen werden können und gleichzeitig toxische Substanzen verfahrenstechnisch behandelt werden (z.B. durch Abscheidung, Filtern). Kunststoffanteile werden in den Prozessen als Energieträger genutzt und verbrannt.

Mit dem Recyclingverfahren ist somit von Anfang an die Art der rückgewinnbaren Metalle festgelegt. In integrierten Kupfer-Schmelzern werden vor allem Metalle wie Kupfer, Blei, Nickel (Sammlermetalle) Zinn und Edelmetalle wie Gold, Silber, Palladium in hoher Ausbeute zurückgewonnen (Buchert et al. 2012; Hagelüken 2011). Aluminium oder Eisen können in diesem Hüttenprozess nicht gewonnen werden. Dies ist hingegen in Aluminium-Schmelzern möglich, hier können aber keine Edel- oder anderen Metalle zurück gewonnen werden (Hagelüken 2006).

Bei dem integrierten Hüttenprozess gelangen die Seltenen Erden in Form ihrer Oxide in Schlacken und können nicht zurückgewonnen werden (Buchert et al. 2012). Unter Seltenen Erden versteht man „eine Gruppe von 17 Elementen [...], welche aus den 15 Lanthaniden (Ordnungszahl 57 bis 71) sowie Scandium und Yttrium besteht“ (SATW 2010, S. 16). Haupteinsatzgebiete für seltene Erden liegen in der Metallurgie sowie der Elektrotechnik (ebd.). Diese Elemente sind funktionell wichtig und kommen nur in sehr geringen Mengen im Mobiltelefon vor (Rare Earth Digest 2010). Die sogenannten End-of-Life Recyclingraten, welche die Rückgewinnungsraten über alle Recycling-Stufen darstellen, sind für Seltene Erden weniger als ein Prozent (Graedel et al. 2011).



Geringe End-of-Life Recyclingraten sind auch für Gallium und Indium zu registrieren. Diese sind aber auf die geringen Einsatzmengen und die dissipativen¹ Anwendungen zurückzuführen (Graedel et al. 2011; Buchert et al. 2012).

→ Handy Recycling- Daten (siehe Factsheet 12)

Der integrierte Hüttenprozess

In der Abbildung 2 werden ein integrierter Hüttenprozess und die sich während der Schmelze ergebenden Stoffströme abgebildet.

Die in Handys enthaltenen Metalle können in einem metallurgischem Verfahren zurückgewonnen werden. Dazu betreibt Umicore - ein Materialtechnologiekonzern und Recyclingspezialist - eine integrierte Metallhütte bei Antwerpen. Handys werden hier zunächst geschreddert, beprobt und auf ihre Zusammensetzung analysiert. Danach werden sie mit anderen edelmetallhaltigen Materialien (z.B. Autokatalysatoren oder Computer-Leiterplatten) vermischt, in einen Hochofenprozess gegeben und bei Temperaturen von über 1200°C geschmolzen (1). Der Kunststoff, der hierbei verbrennt, liefert nicht nur Energie, sondern wird auch als chemisches Reduktionsmittel genutzt (z.B. CuO zu Cu reduziert). Die beim Einschmelzen entstehenden Abgase werden gereinigt, der in Einsatzmaterialien enthaltene Schwefel wird in Schwefelsäure (H₂SO₄) umgewandelt und abgetrennt (2). Im Schmelzprozess werden Kupfer, Edelmetalle und einige Sondermetalle² abgetrennt, in dem diese als eine metallische Legierung (so genanntes Werkkupfer) am Boden des Hochofens abgestochen werden (1). Andere Bestandteile wie Glas, Keramik und die Oxide von Eisen, Aluminium, Blei und Zinn schwimmen als leichtere Schlacke oben und werden ebenfalls abgestochen. In einem weiteren Hochofen (6) wird diese „Primärschlacke“ erneut geschmolzen, wobei Blei, Zinn und andere Nichteisenmetalle abgetrennt und Sondermetalle (Indium, Selen, Tellur) zurückgewonnen werden. Weitere spezifische pyro- und hydrometallurgische Prozesse³ folgen, bis die einzelnen Elemente in hochreiner Form extrahiert werden können (7-9) (in der Abbildung dunkelblau unterlegte Prozesse). Das aus dem ersten Hochofen abgetrennte edelmetallhaltige Werkkupfer wird im Wasserbad granuliert. In der Kupferlaugung wird das mit Schwefelsäure aufgelöste Kupfer durch eine Gewinnungselektrolyse als hochreines „Kathodenkupfer“ in Platten abgeschieden (3). Die Edelmetalle und einige Sondermetalle verbleiben als unlöslicher Rückstand, der über eine Filterpresse separiert wird. Dieses Edelmetallkonzentrat wird von Verunreinigungen gesäubert (4) und dann hydrometallurgisch zu hochreinen Edelmetallen weiterverarbeitet (5) (in der Abbildung hellblau unterlegte Prozesse).

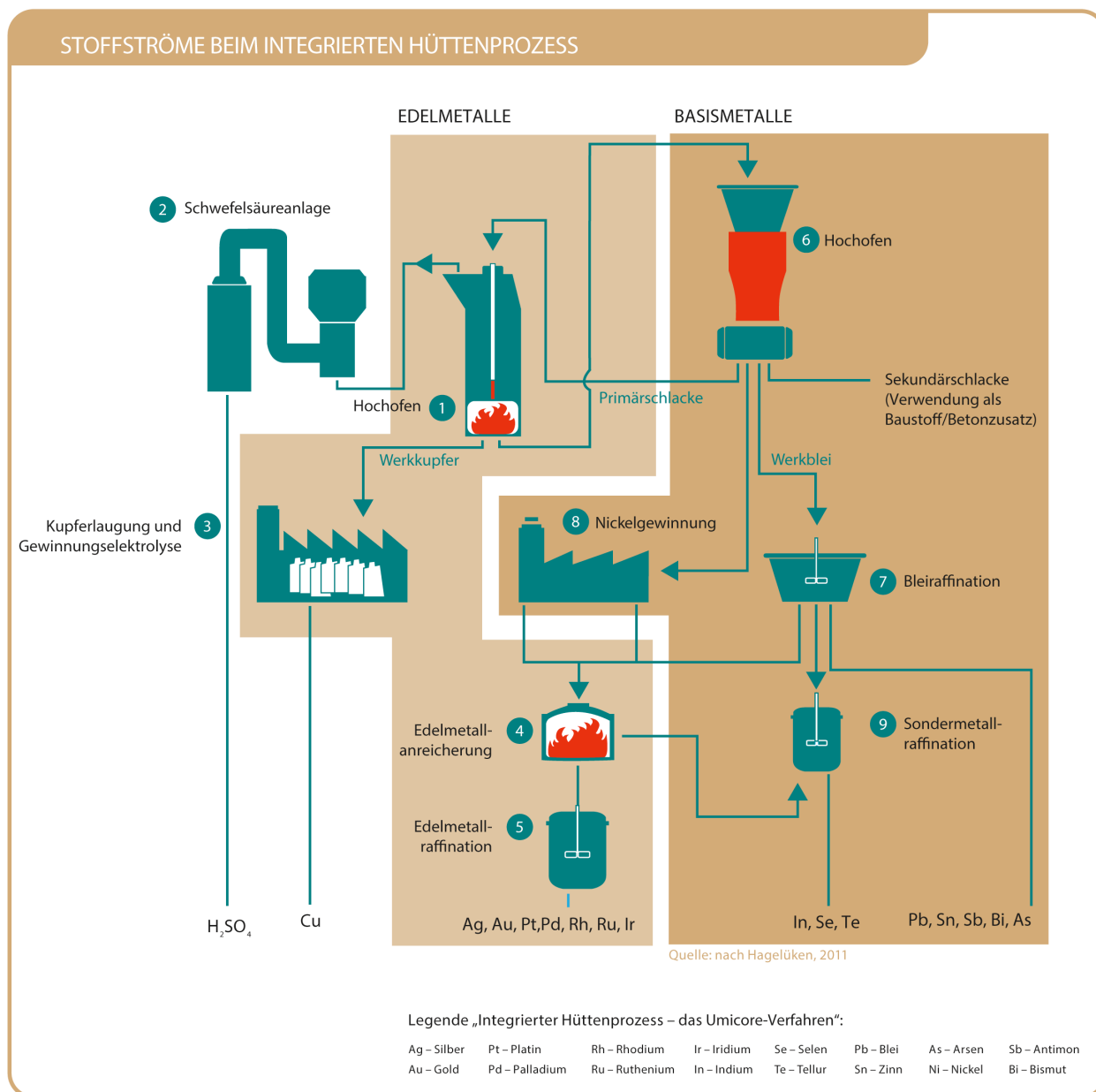
Auf diesem Wege können heute neben den Edelmetallen auch eine Reihe von Sondermetallen recycelt werden (Hagelüken 2006; Buchert et al. 2012; Singhal 2005).

¹ Den Effekt, dass ein Material, einmal in die Technosphäre gekommen, sehr schwer wieder zurück in die Natur gelangen kann, nennt man „Dissipation“.

² Die niedrig schmelzenden Elemente Gallium, Indium und Thallium werden als sogenannte Sondermetalle gehandelt.

³ Pyrometallurgische Verfahren gewinnen Metalle bei hohen Temperaturen durch den Einsatz von Schmelzaggregaten zurück. Bei hydrometallurgischen Verfahren führen nasschemische Lösungs- und Fällungsschritte bei niedrigen Temperaturen zur Metallrückgewinnung (Friedrich 2009).

Abb. 2 Stoffströme beim integrierten Hüttenprozess



Grafik: Wuppertal Institut 2013, in Anlehnung an BMBF (Hg.) (2013): Die Rohstoffexpedition. Lern- u. Arbeitsmaterial. Bonn. S. 58

Quelle: Nach Hagelüken 2011, Grafik: Wuppertal Institut, in Anlehnung an BMBF (Hg.) (2012): Die Rohstoffexpedition. Lern- und Arbeitsmaterial. Bonn, S. 58



Die so gewonnenen Metalle werden von der Industrie wieder für die Herstellung von z.B. neuen Handys verwendet. Aus über 300.000 t Einsatzmaterialien gewinnt Umicore jährlich über 70.000 t Metalle zurück, im Jahr 2007 waren dies z.B. rund 1.000 t Silber, 30 t Gold, 37 t Platingruppenmetalle, 65.000 t Kupfer, Blei und Nickel sowie 3.500 t weitere Metalle (Zinn, Selen, Tellur, Indium, Antimon, Wismut, Arsen) (Hagelüken, 2011). Elektronikfraktionen wie Leiterplatten sind dabei eine wichtige Materialart. Handys passen technisch gut in diese Recyclingverfahren, spielen bisher wegen der geringen Sammelquoten aber leider noch eine untergeordnete Rolle bei den Eingangsmengen.

Akkus

Der Recyclingprozess für die Handy-Akkus verläuft ähnlich. Diese werden separat in einer speziell von Umicore entwickelten Anlage gemeinsam mit Laptop-Akkus oder Autobatterien recycelt. Auch die Akkus werden zunächst eingeschmolzen. Ergebnis des Schmelzprozesses ist eine kobalt-/nickel-/kupferreiche Legierung und eine Schlacke. Die Legierung wird dann in einer so genannten Refininganlage weiterverarbeitet: Kupfer, Eisen und Mangan werden abgetrennt. Es bleiben reine Nickel- und Kobaltsalze übrig, die dann in Batteriechemikalien wie Lithium-Kobalt-Dioxid (LiCoO_2) und Nickelhydroxid (Ni(OH)_2) umgewandelt werden. Diese Kathodenmaterialien können erneut für die Produktion von Batterien eingesetzt werden (Umicore, 2012). Die beim Schmelzprozess anfallende Schlacke kann als Baustoff eingesetzt werden. Der Recyclingprozess eignet sich auch für Nickelmetallhydrid (NiMH) Akkus, wie sie z.B. in Hybrid-Elektrofahrzeugen zum Einsatz kommen. Diese enthalten einige Elemente der Seltenen Erden (SE) und werden in separaten Kampagnen verarbeitet. Dabei lassen sich die SE in der Schlacke anreichern und für ein weiteres Recycling abtrennen.

Literatur und Links

- Buchert, M. / Manhart, A. / Bleher D. / Pingel, D. (2012): Recycling kritischer Rohstoffe aus Elektronik-Altgeräten. LANUV-Fachbericht 38.
- Chancerel, P. / Rotter, V.S. (2009): Gold in der Tonne. Eine Stoffflussanalyse zeigt erhebliche Systemschwächen bezüglich der Verwertung von Gold aus ausgedienten Mobiltelefonen. Müllmagazin 1/2009, S. 18-22.
- Friedrich, B. (2009): Rückgewinnung der Wertstoffe aus zukünftigen Li-Ion-basierten Automobil-Batterien, In: Science Allemagne – Umweltschonende Technologien für den Automobilantrieb von morgen, 12/2009, S.24-26. (auf: http://www.metallurgie.rwth-aachen.de/data/publications/artikel_id_4985.pdf)
- Graedel, T. E. / Reck, B. / Buchert, M. / Hagelüken C. et al. (2011): "Recycling rates of metals", United Nations Environment Programme, (UNEP eds.).
- Greenpeace (2010b): Guide to greener electronics. Version 16, Oktober 2010. (auf: [http://www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/toxics/2010/version16/Ranking tables Oct 2010-All companies.pdf](http://www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/toxics/2010/version16/Ranking%20tables%20Oct%202010-All%20companies.pdf), Abruf 5.09.2011).
- Hagelüken, C. (2006): Improving metal returns and eco-efficiency in electronics recycling. In Proceedings of the 2006 IEEE International Symposium on Electronics & the Environment, May 2006, San Francisco, S. 218-223.



Arbeitsschritte bei Handy-Recycling

- Hagelüken, C. (2007): The challenge of open cycles – barriers to a closed loop economy (consumer electronics and cars). Präsentation. Umicore Precious Metals Refining. Vortrag vom 03.09.07 auf R'07 World Congress. Davos, Schweiz.
- Hagelüken, C. (2009): Edelmetalle auf dem Weg ins Nirwana. Umweltmagazin, Juni 2009, S. 16-17.
- Hagelüken, C. (2009a): „Urban Mining“ ist wichtiger Beitrag zum Klimaschutz. Dow Jones Trade News Emissions, Nr.5, März 2009, S. 14-16.
- Hagelüken, C. (2011): Recycling von Mobiltelefonen, Präsentation beim Fachgespräch „Fachgerechtes Recycling von Telekommunikationsgeräten“, 11. Mai 2011, Berlin.
- LAGA (BUND/Ländergemeinschaft Abfall) (2009): Anforderungen zur Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten (Altgeräte-Merkblatt). Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 31.
- Leung, A.O. / Duzgoren-Aydin, N.S. / Cheung, K.C. / Wong, M.H. (2008): Heavy metals concentrations of surface dust from e-waste recycling and its human health implications in southeast China. Environmental Science and Technology 42 (7): S. 2674-2680.
- Manhart, A. (2007): Key Social Impacts of Electronics Production and WEEE-Recycling in China. Studie des Öko-Instituts im Auftrag von EMPA und SECO. Freiburg.
- Nokia (2008): Environmental Report 2008. (auf: <http://www.nokia.com/environment/our-responsibility/environmental-report-2008/2008-in-short> , Zugriff 9.12.2009)
- Rare Earth Digest (2010): Your cellphone contains rare earth elements. In: Global Rare Earth Elements News, 7.12.2010. (auf: <http://rareearthdigest.com/ree-news/news-global/64-newsgrncell07122010.html>, Abruf am 30.08.2011).
- Reller, A. / Bublies, T. / Staudinger, T. / Oswald, I. / Meißner, S. / Allen, M. (2009): The Mobile Phone: Powerful Communicator and Potential Metal Dissipator. GAIA 18 (2): S. 127-135.
- Sander, K. / Schilling, S. (2010): Optimierung der Steuerung und Kontrolle grenzüberschreitender Stoffströme bei Elektroaltgeräten / Elektroschrott. Texte, Nr. 11/2010. Dessau-Rosslau. (auf: http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennummer&Suchwort=3769 , Zugriff 01.12.2010).
- Schluep, M. / Hagelueken, C. / Kuehr, R. / Magalini, F. / Maurer, C. / Meskers, C. / Mueller, E. / Wang, F. (2009): Recycling – From E-Waste to Resources. Sustainable Innovation and Technology Transfer Industrial Sector Studies. UNEP/StEP (Hrsg.). Berlin.
- Singhal, P. (2005): Life Cycle Environmental Issues of Mobile Phones. Stage I Final Report of the Integrated Product Policy Pilot Prpjekt, Nokia, April 2005.
- SATW (2010): Seltene Metalle. SATW Schrift Nr. 41, November 2010. (auf: <http://www.satw.ch/publikationen/schriften/SelteneMetalle.pdf> ,Zugriff am 26.08.2011).
- Umicore (2012): Battery recycling. Closed loop solution for batteries. (auf: <http://www.batteryrecycling.umicore.com/UBR/process/process/> , Zugriff 28.3.2012).
- Wehde, J. / Hebisch, R. / Ott, G. / Maschmeier, C.-P. / Fendler, D. (Redaktion) (2011): Handlungsanleitung zur guten Arbeitspraxis „Elektronikschrottreycling – Tätigkeiten mit Gefahrstoffen bei der manuellen Zerlegung von Bildschirm- und anderen Elektrogeräten“. Herausgegeben vom Regierungspräsidium Kassel.

GEFÖRDERT VOM



Forschungs- und Kommunikationsprojekt zur Rückgabe und Nutzung gebrauchter Handys im Rahmen des Wissenschaftsjahres 2012 – Zukunftsprojekt ERDE



Projektleitung: Dr. M. J. Welfens



Projektteam: J. Nordmann, Dr. O. Stengel, K. Bienge, K. Kennedy, T. Lemken, A. Seibt, E. Alexopoulou
Layout: J. Nordmann, P. Oettershagen

Dezember 2013

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Döppersberg 19, 42103 Wuppertal