

Effizientes Recycling von Elektronikschrott

Die Herausforderung, 20 Metalle zurückzugewinnen

More than 40 million tons – this is the quantity of electric and electronic waste that accumulates worldwide every year and increases further with an annual rate of 3 to 5 %. Sustainable solutions to manage these amounts are not in sight. The IME – the Institute of Process Metallurgy and Metal Recycling – engages in the challenge to find new opportunities for a holistic metal recovery from these recycling materials. Against this backdrop, both pyro- and hydrometallurgical processes are examined, developed and proved in order to review their potential and increase their efficiency. The whole concept is designed to provide several sub-processes, which can be arranged as a module kit, whereby the overall process can be adapted to the properties of the input material and the desired product.

Neuer, besser oder einfach anders: Von Jahr zu Jahr steigt die Nachfrage nach aktueller Technik, besonders bei Privatpersonen. So werden im Mobilfunksektor verbraucher-optimierte Verträge angeboten, die jährlich das neueste Modell garantieren und so die Produktzyklen weiter verkürzen. Der damit einhergehende Produktionsanstieg verursacht einerseits bedingt durch die hohe Nachfrage nach Metallen eine stetig wachsende globale Ausbeutung der Ressourcen, andererseits einen Berg an Elektronikschrott. Dabei könnte dieser eine attraktive, alternative Rohstoffquelle zu primären Metallressourcen darstellen, da er beträchtliche Mengen an Wertmetallen mit hohem ökonomischem Potenzial beinhaltet. So sind bis zu 60 verschiedene Werkstoffe in einem Handy zu finden, darunter mehr als 20 Metalle. Dies sind neben den bekannten Basismetallen wie Kupfer, Aluminium und Eisen sowie verschiedenen Edelmetallen je nach Sorte auch so genannte kritische Metalle. Die Eigenschaft „kritisch“ umschreibt weniger das geringe Vorkommen dieser Metalle in der Erdkruste, sondern viel mehr ein hohes Versorgungsrisiko kombiniert mit einer großen wirtschaftlichen Bedeutung. Sie sind häufig unverzichtbar für Technologieanwendungen. Auch Mobiltelefone beinhalten diese Metalle, speziell Indium, Gallium und Germanium. Doch trotz der großen Chance, die dieser Rohstoff bietet, gibt es noch kein umfassendes Recyclingverfahren, welches die Massen bewältigen kann und alle Metalle berücksichtigt, um das gesamte Potenzial des Rohstoffes auszuschöpfen.

Die Herausforderung bei der Entwicklung eines umfassenden Recyclingverfahrens stellt neben der hohen Komplexität des Schrottes seine große Heterogenität dar. Der Schrott variiert nicht nur in seiner Stückgröße, beginnend bei ganzen Bauteilen bis hin zu wertvollen Stäuben aus der Aufbereitung, sondern ebenfalls in seiner chemischen Zusammensetzung. Neben verschiedenen Metallen besteht der Schrott zu großen Teilen aus Kunststoffen und Keramiken. Wird der Schrott ohne Vorsortierung in Industrieöfen eingeschmolzen, führt der hohe Kunststoffanteil im Material oft zu erheblichen Problemen. Zum einen verbrennen die Kunststoffe unkontrolliert, wodurch große Wärmemengen frei werden, die sich prozesstechnisch nur schwierig kontrollieren lassen. Zum anderen sind Kunststoffen häufig Halogene wie Brom und Chlor als Flammenschutzmittel zugesetzt, die während des Einschmelzens gasförmig ausgetragen werden und das Abgasbehandlungssystem der Öfen stark beanspruchen.

Um Elektronikschrott ganzheitlich recyceln zu können, wird am Lehrstuhl für Metallurgische Prozesstechnik und Metallrecycling ein Konzept entwickelt, welches aus mehreren Teilverfahren besteht, wobei jedes Teilverfahren eine andere Komponente des Rohstoffs berücksichtigt. So werden Lösungen für die Heterogenität des Schrottes, die Bewältigung des Energiegehalts, die Abtrennung von Schadstoffen sowie die effektive Gewinnung von Metallen entwickelt. Die Verfahren können nach dem Baukastenprinzip miteinander kombiniert werden, wodurch der Gesamtprozess

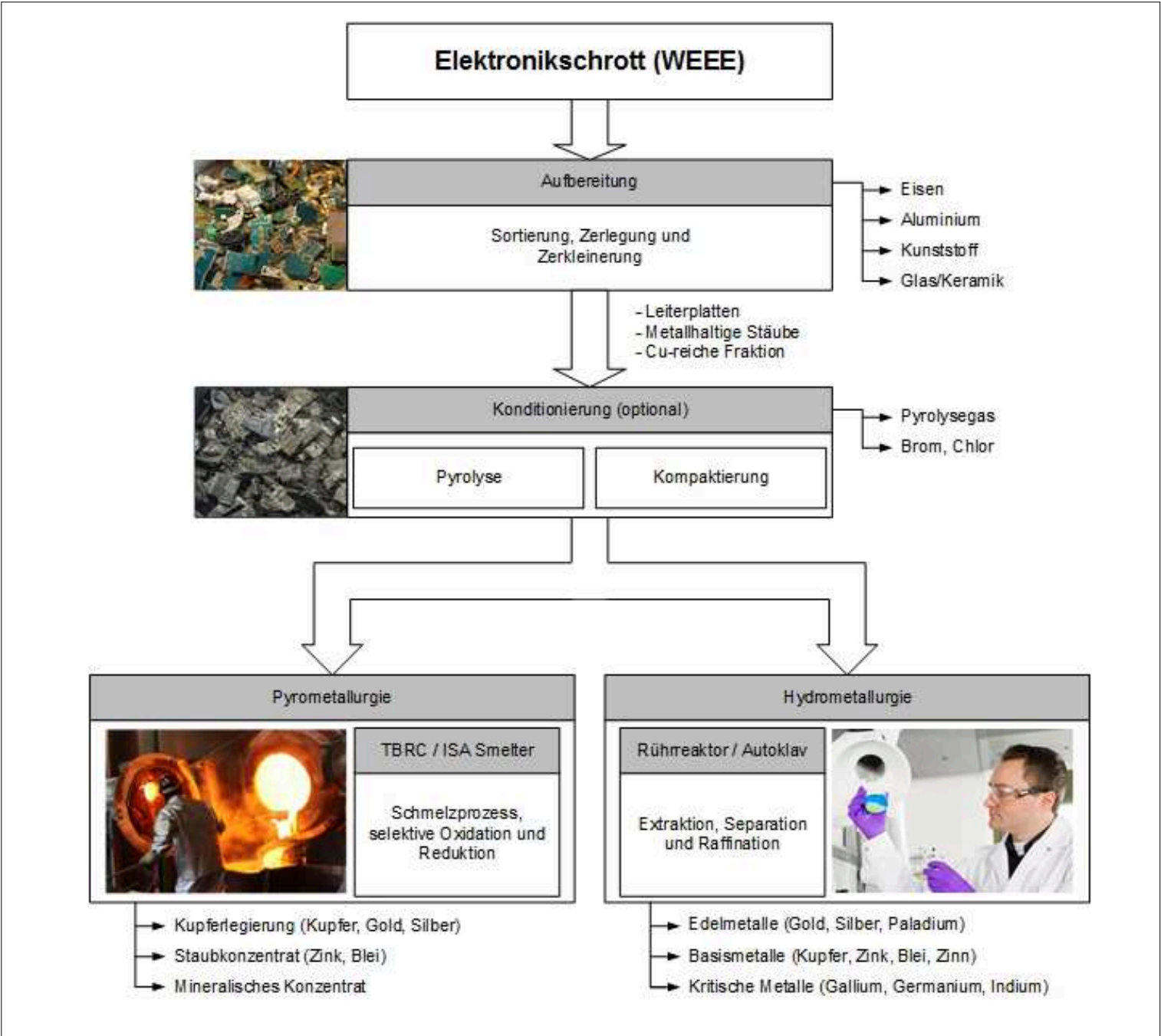


Bild 1: Übersicht der am Institut für Metallhüttenkunde und Elektrometallurgie untersuchten Prozessschritte.

entsprechend der Beschaffenheit des Einsatzmaterials und der gewünschten Produkte adaptiv und flexibel gestaltet werden kann.

Thermische Konditionierung

Um die Schwierigkeiten, die sich während des direkten Einschmelzens von Elektronikschrott durch anhaftende Kunststoffe ergeben, zu beheben, kann Elektronikschrott vor dem Schmelzprozess einer thermischen Vorbehandlung, einer so genannten Pyrolyse, unterzogen werden. Pyrolyse beschreibt die thermische Zersetzung von langkettigen Kohlenwasserstoffen unter Sauerstoffab-

schluss mit dem Hauptziel, die Struktur des Kunststoffes aufzuspalten. Als Produkte der thermischen Konditionierung entstehen ein Pyrolysegas sowie ein kohlenstoffreicher Feststoff, Pyrolysekoks genannt. Der Pyrolysekoks enthält die nicht flüchtigen Bestandteile, wie Metalle, Glas und Keramik. Bisherige Untersuchungen zeigen, dass durch die Pyrolyse Masseverluste von 15 bis 20 Prozent des Einsatzmaterials erzielt werden können, was zu einer Anreicherung von Wertmetallen führt. Gleichzeitig werden unerwünschte Halogene aus dem Kunststoff verflüchtigt und mit dem Gasprodukt entfernt. Die Pyrolyse des Kunst-

stoffes erleichtert daneben die Trennung der unterschiedlichen Metalle und elektronischen Bauteile von den Leiterplatten. Ferner kann das Pyrolysegas dazu genutzt werden, kritische Metalle wie Gallium, Germanium, Indium zurückzugewinnen, die nur in geringen Konzentrationen im Elektronikschrott vorliegen. Das angestrebte Ziel ist eine Reaktion zwischen dem Pyrolysegas und den kritischen Elementen. Die dabei entstehenden gasförmigen Metallverbindungen können mit dem Abgas aus dem Reaktor ausgetragen und durch eine gezielte Abgasbehandlung aus dem Abgasstrom auskondensiert werden.



Bild 2: Pyrometallurgische Verarbeitung von Elektronikschrott bei Temperaturen von bis zu 1400 Grad Celsius.

Pyrometallurgie

Um aus dem Elektronikschrott die Basis- und Edelmetalle zurückzugewinnen, bieten sich pyrometallurgische Verfahren an, bei denen das Einsatzmaterial aufgeschmolzen wird. Am Lehrstuhl für Metallurgische Prozesstechnik und Metallrecycling wird der Schmelzprozess in diesem Fall in einem Drehtrommel-Ofen realisiert. Dabei kann der Elektronikschrott direkt oder der aus der thermischen Konditionierung gewonnene Pyrolysekoks zur Anheizung des Schmelzprozesses eingesetzt werden. Die im Pyrolysekoks enthaltenen hohen Anteile an Kohlenstoff werden als Energieträger genutzt und durch Sauerstoffzugabe verbrannt. So kann der gesamte Schmelzprozess ohne zusätzliche Energiezufuhr betrieben werden. Als Produkte entstehen eine Schlacke, in der Glasfasern und Keramiken, sowie eine Metallphase, in der Basis- und Edelmetalle,

zurückgewonnen werden. Die Herausforderung dieses Verfahrens besteht zum einen in der Kontrolle des großen Energiegehalts, zum anderen in der starken Heterogenität der Schrotte. Ein eigens entwickelter Lösungsansatz nutzt ein neues Verfahren, bei dem zerkleinerte und individuell gemischte Schrotte unter eine Schaumphase eingeblasen werden. Ziel ist es, durch den Einsatz einer gezielten Mischung unterschiedlicher Schrotte den Energie- und Metallgehalt so weit zu homogenisieren, dass ein stabiler Schmelzprozess garantiert werden kann. Weitere Vorteile sind neben der Stabilisierung des Prozesses auch die Effektivität, die durch das direkte Einblasen der zerkleinerten Einsatzmaterialien in die Schmelzzone resultiert. Durch die daraus entstehende hohe Schmelzgeschwindigkeit kann ein großer Massendurchsatz realisiert werden.

Kompaktierung und Pelletierung

Eine große Verlustquelle für Edelmetalle wie Gold sind unter anderem Filterstäube aus Aufbereitungs- und Zerkleinerungsprozessen des Elektronikschrotts. Aufgrund der kleinen Größe edelmetallhaltiger Bauteile in Elektronikgeräten wird diese Fraktion verstärkt über die Absaugung ausgetragen. Um auch diese Fraktion der Wertschöpfungskette wieder zuzuführen, wird ein spezieller Konditionierungsprozess entwickelt, in dem aus den Filterstäuben autogene Pellets für den metallurgischen Einschmelzprozess hergestellt werden. Der Fokus liegt hier auf der Zusammensetzung der Pellets hinsichtlich der optimalen Nutzung der im Staub enthaltenen Kohlenwasserstoffe als Energieträger sowie der Komposition der Schlackenzusätze. Diese spielen neben dem Einsatz als Bindemittel eine übergeordnete Rolle als Flussmittel zur Beeinflussung der



Bild 3: Nass-Chemische Wertmetall-Rückgewinnung aus Elektronikschrott in der Kaskadenstraße.

Foto: Martin Braun

Viskosität und des Schmelzpunktes. Diese Eigenschaften sind von Bedeutung, um Verluste durch Metalleintrag in die Schlacke zu vermeiden und die Zielmetalle in einer Metallphase zu sammeln.

Hydrometallurgie

Hydrometallurgische Verfahren weisen zwei prozesstechnische Vorteile gegenüber konventionellen Vorgehensweisen auf, die speziell für den komplexen Rohstoff Elektronikschrott genutzt werden können. Zum einen ermöglichen diese nass-chemischen Verfahren eine äußerst selektive Metallgewinnung und zum anderen eine kosteneffiziente Rückgewinnung niedrig konzentrierter Elemente. Durch die Wahl der Chemikalien sowie Einstellung der Prozessparameter können gezielt Elemente extrahiert und anschließend separiert werden. Ein untersuchtes Behandlungsverfahren zielt

auf die direkte Behandlung von Elektronikschrott. Hierdurch können Metalle, die nicht durch eine Kunststoffschicht bedeckt sind, ohne Vorbehandlungsschritte extrahiert werden. Weitere Metalle, die sich noch unter der chemisch beständigen Kunststoffschicht befinden, werden nicht angegriffen und können in einem späteren Prozess gewonnen werden. Dies ist für die Lötmetalle Blei und Zinn aber auch für Gold auf elektrischen Kontakten möglich. Speziell die Rückgewinnung von Gold erweist sich mit dieser Methode als sinnvoll, da es einen Großteil des Wertes der im Elektronikschrott enthaltenen Metalle ausmacht. Durch die gezielte Verknüpfung der Teilprozesse lässt sich für jeden Einsatzstoff ein Verfahrenskonzept erstellen, das der Komplexität des Rohstoffs gerecht wird. Das Konzept verspricht einen effizienten Recyclingprozess, mit welchem die enormen Schrottmengen mit

minimalen Vor- und Aufbereitungsarbeiten bewältigt werden können.

Autoren

Alexander Birich, Nikolaus Borowski, Fabian Diaz, Benedikt Flerus und Anna Trentmann (alle M.Sc.) sind Wissenschaftliche Mitarbeiter am Lehrstuhl für Metallurgische Prozesstechnik und Metallrecycling und Institut für Metallhüttenkunde und Elektrometallurgie.