

Indium und Neodym: Ist ein Recycling sinnvoll?

Seit 2013 läuft das vom Bundesamt für Umwelt, BAFU, im Rahmen der Förderung innovativer Umwelttechnologien finanzierte Projekt E-Recmet. Das Projekt befasst sich mit der Frage der Rückgewinnung kritischer Metalle aus Elektronikschrott (siehe auch Fachbericht 2013). Im Fokus stehen die u.a. in Displays resp. in Magneten vorhandenen Elemente Indium und Neodym, welche als geologisch selten und als kritisch bezüglich der künftigen Versorgung gelten. Die Kernfrage des Projektes lautet: Ist eine Rückgewinnung von Indium und Neodym technisch machbar, wirtschaftlich tragbar und ökologisch sinnvoll und sollen im Recycling von Elektroaltgeräten diese seltenen Metalle zurückgewonnen werden?

Die Rückgewinnung kritischer Metalle insbesondere aus Elektro- und Elektronikaltgeräten ist in aller Munde: Der Gesetzgeber fordert sie, die Medien nehmen das Thema regelmässig auf und die Forschung erlebt einen eigentlichen Boom an Projekten zur Untersuchung der Mengen und Bedeutung dieser Metalle in den Produkten und zu deren Rückgewinnung. Da der jährlich steigende Fluss von Elektro- und Elektronikaltgeräten in der Entsorgung vergleichbar ist mit einer rohstoffreichen Mine, stellt sich zwangsläufig die Frage, ob das Recycling auch für Metalle gefördert werden soll, bei welchen der Markt eine Rückgewinnung (noch) nicht rentabel macht: Trotz der Seltenheit und der steigenden Preise ist der Recyclingaufwand meist höher als der Ertrag aus der Rückgewinnung mit dem Resultat, dass diese Metalle verbraucht und als sekundäre Ressource für künftige Generationen kaum mehr verfügbar gemacht werden können.

Während sich die meisten Projekte der technischen Machbarkeit der Rückgewinnung kritischer Metalle widmen, hatte das Projekt E-Recmet einen umfassenderen Anspruch. Zwar wurde für die technische Machbarkeit der Rückgewinnung verschiedener kritischer Metalle nur die in der Schweiz stattfindende Vorbehandlung der Elektronikaltgeräte untersucht; zusätzlich wurden aber auch die Ökobilanz der Primär- und Sekundärgewinnung und die wirtschaftliche Tragbarkeit analysiert. In einem ersten Schritt wurden aus 31 seltenen und kritischen Metallen, welche in Elektronikkomponenten enthalten sind,

die seltenen Metalle Indium und Neodym ausgewählt und der weitere Projektablauf vertieft untersucht. Diese Metalle fungierten als Stellvertreter für die 31 Metalle. Ziel war es, anhand von 2 Fallstudien zu ermitteln, ob die Rückgewinnung technisch machbar, ökologisch sinnvoll und wirtschaftlich tragbar ist.

Technische Machbarkeit

In der Schweiz werden Elektronikaltgeräte einer manuellen und mechanischen Vorbehandlung unterzogen. Die Weiterverarbeitung und Rückgewinnung einer grossen Anzahl von Metallen findet – mit der Ausnahme von Eisen – im europäischen Ausland statt. Ziel der Vorbehandlung ist es, aus einer ökonomisch und technisch optimierten Kombination von manueller Zerlegung und mechanischer Verarbeitung die besten Voraussetzungen zu schaffen, um die wichtigsten Metalle aus Elektronikschrott zurückgewinnen zu können. So werden heute von ca. 36 Metallen im Elektronikschrott in hochspezialisierten Schmelzwerken bereits ca. 17 Metalle zurückgewonnen. Nicht dazu gehören u.a. die seltenen Metalle Indium und Neodym. Die zentrale Frage in E-Recmet lautete deshalb: Wie sieht für diese Metalle die optimale Vorbehandlung aus, um eine Rückgewinnung zu ermöglichen?

Die Untersuchungen zeigten für den Fall von Indium, dass die manuelle Freilegung der indiumhaltigen LCD-Panels ein besseres Ausgangsmaterial herstellt, als die mechanische Verarbeitung ganzer Bildschirme, weil im mechanischen Prozess ein Teil

des Indiums verloren geht und sich der Rest zudem auf verschiedene Fraktionen verteilt. Die Rückgewinnungseffizienz ist dabei auf der Stufe der Vorbehandlung bereits deutlich schlechter, zudem weist das Ausgangsmaterial geringere Indiumgehalte auf, was die nachfolgenden Behandlungsschritte erschwert und deutlich verteuert. Die Indium-Rückgewinnung wird deshalb auf manuellen oder allenfalls halbautomatischen Vorbehandlungsschritten aufbauen müssen. Da die Flachbildschirme bereits heute manuell zerlegt werden, um die quecksilberhaltigen Hintergrundbeleuchtungen zu entnehmen, wäre eine manuelle Vorbehandlung mit keinem zusätzlichen Aufwand verbunden.

Bei der Vorbehandlung von neodymhaltigen Komponenten von Elektronikaltgeräten hat sich gezeigt, dass der zeitliche Aufwand für die manuelle Freilegung der Magnete aus Laufwerken, Lautsprechern und Kopfhörern hoch ist. Versuche zur mechanischen Vorbehandlung konnten infolge fehlender Mittel im Rahmen des Projektes E-Recmet nur ansatzweise durchgeführt werden. Untersuchungen der Umtec an der Fachhochschule Rapperswil im Rahmen des noch laufenden Projektes Neorec lassen jedoch darauf schliessen, dass mittels einfacher mechanischer Verfahren eine Effizienzsteigerung möglich sein könnte.

Grundsätzlich ist für die Metalle Indium und Neodym die technische Machbarkeit der Rückgewinnung auf der Stufe der Vorbehandlung gegeben. Für die Zwischen- und Endbehandlung im industriellen Massstab sind jedoch noch einige Fragen zu klären, welche im Rahmen des Projektes E-Recmet nicht angegangen werden konnten. Dazu finden gegenwärtig vor allem in Deutschland und Japan verschiedene Forschungsprojekte statt. Vorversuche im Labor- und Pilotmassstab deuten auf eine Machbarkeit der Rückgewinnung von Indium und Neodym hin, dennoch kann diese heute noch nicht als gegeben angenommen werden. Die nächsten Jahre werden zeigen, ob die technische Machbarkeit entlang der gesamten Rückgewinnungskette gegeben ist.

Ökobilanz der Primär und Sekundärgewinnung

Mit Hilfe von Ökobilanzen wurde untersucht, wie sich die Umweltauswirkungen der Rückgewinnung von 1 kg Indium aus Flachbildschirmen und von 1 kg Neodym(oxid) aus Festplattenlaufwerken gegenüber den Umweltauswirkungen bei der Primärproduktion, also der Gewinnung dieser Metalle aus Mineralien, verhalten.

Dabei zeigte es sich, dass die Rückgewinnung von Indium mit vorangehender manueller Zerlegung etwas besser abschneidet als die heutige Primärproduktion (Indium wird als Nebenprodukt von Zink gewonnen), während die Rückgewinnung von Indium nach mechanischer Aufbereitung mit grösseren Umweltauswirkungen verbunden ist als die Primärproduktion. Sollte Indium in Zukunft nicht mehr wie heute als Nebenprodukt, sondern als Hauptprodukt gewonnen werden, etwa aufgrund einer starken Zunahme der Nachfrage durch die Wirtschaft, würde die Primärproduktion hingegen mit grossem Abstand schlechter abschneiden als beide Rückgewinnungsverfahren (manuelle Zerlegung bzw. maschinelle Aufbereitung der Flachbildschirme vor der nasschemischen Weiterverarbeitung).

Im Falle des Neodym(oxid)s ergab die Ökobilanz, dass sowohl die Rückgewinnung mit manueller Zerlegung der Festplattenlaufwerke als auch die mechanische Aufbereitung der Festplattenlaufwerke deutlich besser abschneiden. Die Umweltauswirkungen der Rückgewinnung von Neodym(oxid) aus Festplattenlaufwerken sind um bis zu 3 Grössenordnungen kleiner als die Umweltauswirkungen der Rückgewinnung von Indium aus Flachbildschirmen.

Wirtschaftliche Tragbarkeit

Die Fragen der Wirtschaftlichkeitsanalyse waren: (a) Wie würde sich die vorgezogene Recycling-Gebühr (vRG) verändern, wenn Swico in Zukunft Indium aus Bildschirmgeräten zurückgewinnen würde? (b) Was ist die potentiell zurückgewinnbare Indium-Menge aus Bildschirmgeräten? In Zusammenarbeit mit Swico und Empa führte die Berner Fachhochschule dazu eine Wirtschaftlichkeitsanalyse des Recyclings von Indium aus Flachbildschirmgeräten durch.

Die Analyse erstreckte sich über die Produktkategorien «TV-Monitor», «PC-Monitor» und «Laptop» und erfolgte mit Hilfe eines systemdynamischen Simulationsmodells. Um den bestehenden Unsicherheiten bei der Datenlage zur Indium-Rückgewinnung Rechnung zu tragen und den Einfluss einer Veränderung wichtiger Modellannahmen zu untersuchen, wurden insgesamt sieben Szenarien definiert. Tabelle 1 und Abbildung 1 geben eine Übersicht über eine Auswahl von Simulationsergebnissen.

Veränderung der vRG bei der Rückgewinnung von Indium

Eine vollständige Abdeckung der Kosten für das Indium-Recycling mit manueller Verarbeitung würde zu einer Erhöhung der vRG von ca. 0.19 CHF/Produkt bei TV-Monitoren, ca. 0.07 CHF/Produkt bei PC-Monitoren und ca. 0.08 CHF/Produkt bei Laptops führen (Szenario 1). Tabelle 1 zeigt zwei weitere Hauptszenarien und dazugehörige Unterszenarien. Eine mechanische Verarbeitung der Elektronikaltgeräte für das Indium-Recycling hätte vielfach höhere Kosten zur Folge als eine manuelle Verarbeitung.

Tabelle 1: Notwendige Veränderung der vRG zur Abdeckung der Kosten für ein Indium-Recycling

Veränderung der vRG (in CHF)	TV-Bildschirm	PC-Bildschirm	Laptop
Szenario 1: Art der Verarbeitung bei der Indium-Rückgewinnung			
Szenario 1a: 100% manuelle Verarbeitung	0.19	0.08	0.07
Szenario 1b: 100% mechanische Verarbeitung	3.52	1.44	1.28
Szenario 2: Kosten für das Recycling von Indium			
Szenario 2a: um 50% niedrigere Aufkonzentrierungskosten	0.06	0.03	0.02
Szenario 2b: um 200% höhere Aufkonzentrierungskosten	0.45	0.18	0.16
Szenario 3: Veränderung der Rückgabequote			
Szenario 3a: geringere Rückgabequote (normale Werte *80%)	0.15	0.06	0.06
Szenario 3b: geringere Rückgabequote (normale Werte *60%)	0.11	0.05	0.04

Menge des potentiell aus Bildschirmgeräten zurückgewinnbaren Indiums

Die Szenarioanalysen zu den jährlichen Output-Mengen an reinem Indium betrachten den Zeitraum von 2016 bis 2030 (Abbildung 1). Bei einer vollständig manuellen Verarbeitung und einer hohen Rücklaufquote (80 % bei Bildschirmen, 90 % bei Laptops) können im Referenzjahr 2026 bis zu 475 kg reines Indium rezykliert werden (Szenario 1). Unter denselben Bedingungen würden bei einer mechanischen Verarbeitung im Jahr 2026 lediglich 200 kg zurückgewonnen werden können. Im Folgenden werden nur Szenarien mit manueller Verarbeitung betrachtet. Bei einer Verdopplung der Nutzungsdauer bei Bildschirmgeräten könnten 406 kg Indium/Jahr im Jahr 2026 (Szenario 4) zurückgewonnen werden, bei einer Halbierung der Nutzungsdauer 518 kg/Jahr. Wäre die Rücklaufquote um 20 % bzw. 40 % geringer, so würde das bei vollständiger manueller Verarbeitung zurückgewonnene Indium auf 380 kg/Jahr bzw. 280 kg/Jahr im Jahr 2026 sinken (Szenario 5).

Die Szenarioanalysen zeigen, dass bei einer manuellen Verarbeitung nur eine geringe Erhöhung der VRG (um ca. 0.2-0.5 CHF/Produkt) nötig wäre, um Indium aus Bildschirmgeräten zurückzugewinnen zu können. Die potenzielle Menge an zurückgewinnbarem Indium ab 2016 dürfte zwischen 300-400 kg pro Jahr liegen. Diese Ergebnisse sind vor dem Hintergrund der getroffenen Annahmen zu betrachten. Die Annahmen über die tatsächlichen Rückgewinnungskosten von Indium aus Fraktionen sind nicht bekannt und mussten somit geschätzt werden. Eine zweite wichtige Annahme bei der Analyse der wirtschaftlichen Tragbarkeit ist, dass die Rückgewinnung technisch machbar ist.

Ausblick

Das Projekt E-Recmet wird Mitte 2015 abgeschlossen. Die positiven Ergebnisse bestätigen, dass ein Recycling von Indium und Neodym ökologisch sinnvoll und wirtschaftlich tragbar wäre. Jedoch sind die Rahmenbedingungen auf der technischen Seite noch nicht vollständig gegeben. Die Resultate des Projektes E-Recmet werden die Recyclingstrategie von Swico somit noch nicht beeinflussen. Bei positiven Entwicklungen zur technischen Machbarkeit werden Swico und die Konventionsunterzeichner (Hersteller, Importeure, Handel) jedoch mittelfristig vor der Frage stehen, welchen Beitrag die Systeme bei der Rückgewinnung kritischer Metalle, welche nicht kostendeckend zurückgewonnen werden können, leisten können.

Abbildung 1: Entwicklung der zurückgewonnenen Indium-Mengen in simulierten Szenarien

