

# **Kritische Rohstoffe für die Hochtechnologieanwendung in Österreich**

## **Zwischenstand und bisherige Ergebnisse der Studie**

Dipl.-Ing. Dr. mont. Stefan Luidold et al.

Lehrstuhl für Rohstoffmineralogie der MUL

Lehrstuhl für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft der MUL

Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredelung der MUL

Lehrstuhl für Nichteisenmetallurgie der MUL

Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik der MUL

Außeninstitut der MUL

Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft der TU Wien

Institut für Abfallwirtschaft der BOKU Wien

# 1. Einleitung

Rohstoffe sind für die Wirtschaft und somit in weiterer Folge für die moderne Gesellschaft von enormer Bedeutung, da sie nicht nur für die Industrie, sondern auch für die Infrastruktur und die Produkte des alltäglichen Lebens erforderlich sind. Während die Verfügbarkeit der Energieträger Öl, Gas und Kohle seit den Ölkrisen in den 1970er viel Beachtung fand, wurde die Notwendigkeit einer gesicherten Rohstoffversorgung aufgrund einer langanhaltenden Periode stabiler und niedriger Preise vernachlässigt. Aus diesem Grund konzentrierte sich die Minenproduktion für bestimmte Vorkommen auf einige wenige Länder. Die sich daraus ergebende Importabhängigkeit der meisten westlichen Staaten wurde bereits 2000 anhand einer Preisexplosion für Tantal und 2010-2011 für Seltene Erden aufgezeigt.

Um zukünftig Versorgungsengpässe zu vermeiden, starteten nunmehr zahlreiche Aktivitäten, beispielsweise auf EU-Ebene und auch in Österreich. Dabei ist zu bedenken, dass die grundsätzliche geologische Verfügbarkeit nahezu unbegrenzt ist, da derzeit erst einige Prozent der Erdoberfläche und des Untergrunds im Detail erkundet sind und daher enormes Potenzial für die Entdeckung neuer Lagerstätten gegeben ist. Jedoch kann die Minenproduktion nicht rasch und flexibel dem Bedarf folgen, da die Entwicklung entsprechender Projekte lange Zeiträume (10-25 Jahre) in Anspruch nimmt und darüber hinaus speziell einige Metalle für den Hochtechnologiebereich (In, Ga, etc.) keine eigenen Erze bilden, sondern sich nur als Nebenprodukt bei der Herstellung von Massenmetallen (wie Kupfer, Blei oder Aluminium) gewinnen lassen.<sup>[1]</sup>

Der Bericht einer Arbeitsgruppe der EU<sup>[1]</sup> ergab, dass sich die 41 untersuchten Rohstoffe in drei wesentliche Gruppen einteilen lassen, wobei insgesamt 14 (Seltene Erden, Platingruppenmetalle, Germanium, Niob, Antimon, etc.) bezüglich ihrer Versorgungssicherheit als kritisch gesehen wurden. Darüber hinaus soll nun diese EU-Studie im Rahmen der Ausschreibung No 147/PP/ENT/CIP/12/F/S01C02 "Raw Materials: Study on Critical Raw Materials at EU Level" der Europäischen Kommission auf Gold, Hafnium, Silber, Selen, Pottasche, Phosphatgestein, Zinn und bis zu fünf weiteren nichtenergetischen Rohstoffen ausgedehnt werden.

## 2. Relevanz der Rohstoffe für die österreichische Industrie

Für die Entscheidung, welche Rohstoffe aus dem Hochtechnologiebereich speziell für Österreich wesentlich sind, wurden folgende Kriterien für eine pragmatische Abschätzung herangezogen, ob diese für die heimische Industrie mehr oder weniger kritisch sind:

- 1) Das Verhältnis der österreichischen Importe<sup>[2]</sup> im Vergleich zur globalen Produktion<sup>[3]</sup> eines bestimmten Rohstoffes beschreibt dessen Wichtigkeit und die Größe der jeweiligen österreichischen Industrie, welche darauf angewiesen ist.
- 2) Die Verteilung der weltweiten Produktion über die jeweiligen Länder, angegeben durch den modifizierten Herfindahl-Hirschman Index (HHI)<sup>[4]</sup>, ermöglicht eine Bewertung der Marktkonzentration und sich daraus ergebender Monopolstellungen.

Die Auswertung dieser Daten ergab, dass zahlreiche Rohstoffe für Österreich von Belang sind (Tabelle 1).

Tabelle 1: Produktion einiger kritischer Rohstoffe und ihre Bedeutung für Österreich

Rohstoff	Weltproduktion 2010 [t] <sup>[3]</sup>	Rohstoff	Import AUT 2010 [t] <sup>[2]</sup>	HHI <sup>[4]</sup>
Oxide der Seltenen Erden (SE)	122.100	SE-Verbindungen Metalle der SE	5.141 550	9.586
Ta-Inhalt im Konzentrat	700	Ta	17	8.559
Nb-Inhalt im Konzentrat	107.500	FeNb	1.061	
Minenproduktion der Platingruppenmetalle (PGM-Inhalt)	482	PGM	1,4	3.767 6.156 7.467
Minenproduktion an W-Inhalt	61.700	W WC	632 1.268	7.297
Minenproduktion an Sb-Inhalt	147.000	Sb Sb-Oxid	37 249	7.533
Natürlicher Graphit	2.100.000	Graphit	18.501	5.547
Magnesit	21.800.000	Magnesit Magnesia	848 272.232	4.866
Minenproduktion an Co-Inhalt	105.000	Cobalt Cobaltoxid	653 10	4.424
Minenproduktion an V-Inhalt inkl. Schlacken, aber ohne Schweröl	67.000	V-hältige Rückstände	46.000	3.230
Zr-Mineralien	1.392.000	Zr-Konzentrate	1.680	3.173
Li-Inhalt in Mineralen und Salzen	20.100	Li-Karbonat	402	3.073

Minenproduktion an Sn-Inhalt	276.000	Rohzinn und Legierungen	2.923	2.757
Cr-Erze und -konzentrate	30.000.000	Cr-Erze und -konzentrate Cr	54.945 6.109	2.503
Minenproduktion an Mo-Inhalt	250.000	Mo	548	2.269
Primäraluminium	41.500.000	Bauxit Tonerde Tonerdehydrat Leg. und Schrott	8.489 47.681 12.914 686.089	1.764
Minenproduktion an Cu-Inhalt	16.200.000	Cu Cu-Legierungen Cu-Schrott	46.579 1.412 145.903	1.439
TiO <sub>2</sub> -Inhalt in Ti-Mineralen	5.700.000	Ti-Mineralen Ti Titanoxid	477 1.381 28.288	1.355
Minenproduktion an Ag-Inhalt	23.713	Ag	482	935
Minenproduktion an Ni-Inhalt	1.552.000	Stein, Sinter, etc. Rohnickel Ni-Schrott Nickeloxid	255 6.894 440 15	842
Minenproduktion an Au-Inhalt	2.540	Au Au-Abfall und Schrott	56,6 1,4	620

Obwohl der modifizierte HHI einen ausgezeichneten Faktor darstellt, um die Marktkonzentration zu beschreiben, ist darüber hinaus auch noch die Stabilität und Zuverlässigkeit der jeweiligen Nationen zu berücksichtigen. Ein Beispiel hierfür zeigt der Vergleich von Cobalt mit Lithium (Abbildung 1).

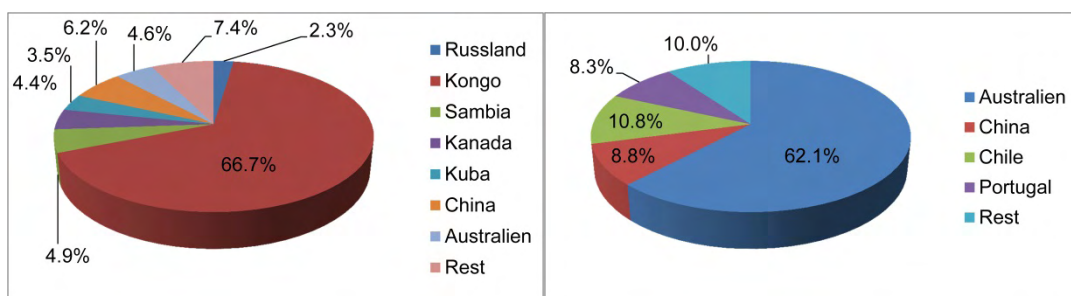


Abbildung 1: Mineralproduktion von Cobalt (links) und Lithium (rechts)<sup>[3]</sup>

Wenngleich der HHI für Lithium nur etwas niedriger ist als jener für Cobalt, muss die Versorgungslage für letzteres als wesentlich kritischer eingestuft werden, da dieses zum überwiegenden Anteil im Kongo, einem Land mit einem instabilem politischen System und hohem Risiko für Konflikte und anderen schwerwiegenden Problemen, hergestellt wird. Dies bedeutet, dass auch die Situation in den größten Produzentenländern bezüglich der

Beurteilung eines gesicherten Zugangs zu Rohstoffen zumindest in groben Zügen Berücksichtigung finden sollte.

Aufgrund des erheblichen Umfangs dieser Rohstoffliste erfolgte für die weiteren Untersuchungen im Rahmen der Rohstoff-Studie eine Schwerpunktsetzung auf die Seltenen Erden, Tantal und Niob, Wolfram, Vanadium und die Platingruppenmetalle, wobei vor allem die Ergebnisse aus zahlreichen Gesprächen mit der Industrie beachtet wurden. Darüber hinaus ist zu erwähnen, dass die Potenziale zur Sicherung der Rohstoffverfügbarkeit für die österreichischen Betriebe primär- (Geologie, Bergbau, Aufbereitung, Metallurgie) und sekundärseitig (Abfälle und Reststoffe, Aufbereitung und Recycling inkl. Metallurgie) unterschiedlich gelagert sind, wodurch auf diesen beiden Seiten die Auswahl der detailliert zu betrachtenden Rohstoffe etwas unterschiedlich ausfällt.

### **3. Geologie, Bergbau und Aufbereitung**

Die Evaluierung des Geopotenzials der einzelnen Rohstoffe basiert auf der Erfassung und Darstellung des aktuellen Kenntnisstands über die Geologie und den Lagerstätten bzw. Vorkommen in Österreich und der vergleichenden Betrachtung mit den international wichtigsten Lagerstättentypen und ihres geologischen Rahmens.

Die bisherige Auswertung der fachspezifischen Literatur und die Befragung von Experten zeigten, dass der derzeitige Kenntnisstand hinsichtlich des geologischen sowie wirtschaftlichen Potenzials für einzelne Rohstoffe sehr verschieden zu bewerten ist. Für metallische Rohstoffe (Eisen, Wolfram usw.) und Industriemineralien (Grafit, Magnesit, Kalkstein usw.), die aus eigenen Lagerstätten gewonnen werden, stellt sich der Kenntnisstand bezüglich vorhandener Lagerstätten, des geologischen und vor allem auch des wirtschaftlichen Potenzials als durchaus positiv dar. Hingegen wurde den Sondermetallen (Germanium, Indium, Gallium, Seltene Erden usw.), die meist nur als Nebenprodukt bei der Gewinnung der Hauptrohstoffe anfallen, kaum Beachtung bei Explorationstätigkeiten in Österreich geschenkt. Daher ist der Kenntnisstand über diese speziellen Rohstoffe unzureichend. Hinsichtlich des Geopotenzials lassen sich die Rohstoffe in drei Gruppen einteilen:

- 1) Eine erste Gruppe umfasst Rohstoffe mit hohem Geopotenzial, wie z.B. Wolfram, Magnesit (Magnesium) und Grafit, die auch zur Zeit in Österreich bergbaulich gewonnen werden und für die, entsprechende Investitionen in Prospektion und Exploration vorausgesetzt, damit gerechnet werden kann, neue Lagerstätten zu finden und zu erschließen. Dies soll am Beispiel von Wolfram gezeigt werden:

Österreich ist mit der Lagerstätte Felbertal global der viertgrößte Wolframproduzent und stellte im Jahr 2010 insgesamt 2 % der Jahresweltproduktion. Aufgrund des derzeitigen Kenntnisstandes ist daher davon auszugehen, dass Österreich auch in Zukunft einer der wichtigsten Wolframproduzenten bleiben wird.<sup>[5]</sup>

- 2) Eine zweite Gruppe umfasst Rohstoffe für die das Geopotenzial vernachlässigbar bzw. nicht gegeben ist. Auf Grund der geologischen Gegebenheiten ist z.B. nicht damit zu rechnen, dass es in Österreich Lagerstätten der Seltenen Erden in Karbonatiten, Alkaligesteins-Komplexen gibt. Auch die seltenen Vorkommen von Platin-Gruppen-Elementen in ultramafischen Gesteinen sind lediglich von mineralogischem Interesse. Bei dieser Gruppe ist davon auszugehen, dass Österreich auch in Zukunft zu 100 % auf Importe aus dem Ausland angewiesen sein wird (Recycling wird an dieser Stelle nicht berücksichtigt).
- 3) Eine dritte Gruppe umfasst Rohstoffe, bei denen das geologische bzw. wirtschaftliche Potenzial nicht so einfach abgeschätzt werden kann. Sie beinhaltet einerseits Rohstoffe (z.B. Antimon, Cobalt), bei denen es historischen Bergbau in Österreich gab, wobei aber der Lagerstätten-Typ (z.B. kleinräumige Gangvererzungen) im internationalen Vergleich heute eher unbedeutend ist. Hier könnte allerdings das mögliche Auftreten in Verbindung mit Edelmetallen (Au, Ag) Vorkommen interessant machen.

Zu der Gruppe mit unklarem Geopotenzial sind auch jene Rohstoffe zu stellen, die in Pegmatiten auftreten, wie Lithium, Beryllium, Niob und Tantal. Aus gewissen metamorphen tektonischen Einheiten der Ostalpen sind zahlreiche Lithium-Pegmatite bekannt, in denen auch Niob-Tantal-Mineralerale vorkommen. Die Spodumen-Lagerstätte auf der Weinebene/Koralpe wird derzeit neu exploriert. Das geologische Potenzial für Lithium-Pegmatite ist demnach als hoch einzustufen. Wie weit allerdings eine untertägige Gewinnung von Lithium aus pegmatitischen Lagerstätten mit der Gewinnung von Lithium aus Salinaren wirtschaftlich konkurrieren kann, hängt vor allem von den zukünftigen wirtschaftlichen Entwicklungen ab. Die Niob- und Tantalgehalte der ostalpinen Spodumen-Pegmatite belaufen sich auf durchschnittlich 55 ppm Niob bzw. 19 ppm Tantal<sup>[6]</sup>. Eine Gewinnung von Niob und Tantal, auch als Nebenprodukt der Lithium-Gewinnung ist unter den derzeitigen Rahmenbedingungen daher nicht wirtschaftlich.

Eine österreichische Ressourcenstrategie mit dem Ziel der Sicherung der Versorgung der heimischen Industrie mit kritischen Rohstoffen muss aus derzeitiger Sicht der Geowissenschaften folgende Punkte berücksichtigen bzw. beinhalten:

- 1) Auch bei einer Erhöhung der Ressourceneffizienz (optimiertes Recycling, Nutzung nicht-primärer Rohstoffquellen, Substitution kritischer Rohstoffe etc.) wird es allein auf Grund des steigenden Bedarfs nötig sein, Rohstoffe aus primären Lagerstätten zu gewinnen.
- 2) Verstärkung der Prospektions- und Explorationstätigkeiten auf jene kritischen Rohstoffe, für die ein entsprechendes Geopotenzial vorhanden ist.
- 3) Verdichtung der Datenbasis für Rohstoffe unklaren Geopotenzials.
- 4) Bewertung heimischer Lagerstätten hinsichtlich der möglichen Gewinnung bisher für den Bergbaubetreiber nicht relevanten Rohstoffe.
- 5) Sicherung von Rohstoffvorkommen; geologische und rohstoffmineralogische Untersuchungen, die eine Bewertung der als bedingt sicherungswürdig klassifizierten Rohstoffvorkommen in Österreich erlauben.

Das Rohstoffinformationssystem IRIS des BMVIT gibt Auskunft über sämtliche mehr- oder minderbedeutenden mineralischen Vorkommen in Österreich. Anhand dieser Datenbank und aufgrund der Meinungen verschiedener Experten aus Wirtschaft, Behörde und Universität im Bereich der Lagerstättenkunde wurde aus der Sicht des Bergbaus eine Auswahl getroffen. Eine Matrix (siehe Abbildung 2) diente dazu, qualitative Aussagen über die Lagerstätten zu sammeln und potenzielle „Kandidaten“ herauszufiltern. Leere Felder innerhalb der Matrix weisen auf keine Aussage hin. Dies kann den Grund haben, dass keine Informationen vorliegen, keine Lagerstätte bekannt oder der Abbau einer Lagerstätte nicht relevant ist. Das Resultat dieser Matrix sind folgende vier Lagerstätten (u. a. geologische Bereiche), welche bergtechnisch bezüglich kritischer Rohstoffe von Interesse sind:

- 1) Rabant und Gurskerkammer für Antimon
- 2) Sunk für Grafit
- 3) Die geologische Einheit „Bunte Serie“ für Grafit
- 4) Hochrast/Gumriaul für Wolfram

	Raith	Götzinger	Mali	Weber
Antimon	(1) Schläining; (2) <b>Rabant und Gurskerkammer</b> in der Kreuzeckgruppe:	<b>Rabant, Gurskerkammer</b>	<b>Rabant</b> <b>Gurskerkammer</b> Brück Lessing Obertilliach	<b>Rabant</b> und die östliche Erstreckung <b>Gurskerkammer</b> : hat Potential
Indium				
Gallium				
Germanium	Pb-Zn-Vererzungen des Drauzugs	Pb-Zn-Vererzungen Drauzug		Pb-Zn-Vererzungen des Drauzugs
Beryllium			Verbindung mit Scheelit, in den Flotationsbergen ist Beryll, (2) Klementkogel, Radegund: Aquamarine (3) Stubaple, Altes Almhaus: alter Stollen hat Pegmatit angefahren	(1) Habachta (2) Mittersill
Cobalt	Schladminger Tauern: Duisitzkar, Untere Giglerbaue, Vetternkarr (Ni-As-Co-Ag Polysulfid-Vererz.), Zinkwand (Vötterscharte); Leogang (Schwarzleo); Radhausberg (Imhof Stollen);		(1) Zinkwand	
Fluorit	gangförmige LS metamorph überprägt; Lafatsch: Nebenprodukt in den Pb-Zn-LS des Drauzugs (Pb-Zn-Fluorit)	einige größere Vorkommen im Helvetikum Voralbergs		Achselalm
Graphit	(1) Kaisersberg (aktiver Bergbau) (2) <b>Sunk bei Trieben</b> : (3) <b>Böhmische Masse</b> : Trandorf: ehem. Bergbau Marianne; Trenning: ehem. Bergbau in Ötz; Wollmersdorf bei Zettlitz; Zettlitz	Kaisersberg; <b>Böhmischen Masse</b>	(1) Viele Vorkommen in der karbonen Schichtfolger der Veitscher Decke <b>Sunk</b> (2) <b>Moldanubikum</b>	(1) <b>Sunk</b> (2) <b>Bunte Serie</b>
Magnesium				
Niob				
Platin und PGM	PGM in Chromiten von Kraubath und Hochgrössen;	Kraubath und Hochgrössen		
SEE				
Lithium/Spodumen	(1) Weinebene (2) Wölzer Tauern	Weinebene und Wölzer Tauern	(1) Weinebene (2) Hohenwart, Wölzer Tauern (3) Pusterwald-Vorkommen (4) Radegund	(1) Weinebene (2) Hohenwart
Tantal				
Wolframerze	(1) Mittersill (Ostfeld)-Brentling; Mittersill (Westfeld) (2) Tux - karbonatische Schwarzschiefer (UDA); Tux-Lanersbach (3) Turntaler Quarzphyllitzone/Osttirol: <b>Hochrast-Gumriaul</b> (4) Fastenberg; Schellgaden Stübelbau I und II	Raum S Mittersill, Ostfeld	(1) Scheelit Mittersill (2) Böhmische Masse: Wolframit in Greisen (3) Tux (4) Schellgaden	(1) Mittersill: aktiver Bergbau (2) <b>Hochrast-Gumriaul</b> (3) Tux-Lanersbach

Abbildung 2: Darstellung der Lagerstättenmatrix für die kritischen Rohstoffe

Nach der Auswahl der oben genannten Lagerstätten begann eine intensive Literaturrecherche. Das Hauptaugenmerk ist dabei auf bergtechnische Parameter gerichtet. Es wird auf die Literatur von der Geologischen Bundesanstalt (GBA), der Montanbehörde, diverser Firmen und den Universitätsbestand zurückgegriffen. Nach anfänglicher Recherche charakterisierten sich die beiden Lagerstätten Sunk und Rabant/Gurskerkammer heraus. In diesen Gebieten gab es bereits bergmännischen Abbau und somit sind Informationen für eine vermutlich ausreichende Charakterisierung vorhanden.

Eine Prospektion der Lagerstätten ist im Zuge dieser Arbeit nicht vorgesehen. Somit beschränkt sich auch die Qualität zukünftiger Aussagen ausschließlich auf die Literatur, Bergbaukartenwerk und Betriebsberichte.



Für Hochrast/Gumriaul und die „Bunte Serie“ ist nach Erachten des Lehrstuhls für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft der Montanuniversität Leoben zu wenig Information für die Charakterisierung der Lagerstätten vorhanden.

Die Evaluierung der Aufbereitung der betrachteten kritischen Rohstoffe ergibt ein erwartetes Bild. Betrachtet man die in Österreich betriebenen Anlagen, so sticht vor allem die Scheelit-Aufbereitung in Mittersill hervor, welche zu den größten Wolfram-Produktionsstätten der Welt gehört. Als Hauptverfahren werden dort verschiedene Verfahren der Dichtesortierung sowie die Flotation eingesetzt. Die Dichtesortierung ist hierbei schon sehr weit ausgereift und abgestimmt und bietet daher ein geringeres Entwicklungspotenzial als die Flotation. Letztere reagiert empfindlicher auf Änderungen der Zusammensetzung der Flotationsaufgabe und daher auch auf Schwankungen in der Zusammensetzung des aus der Lagerstätte geförderten Rohguts. Dies führt dazu, dass hier ein stärkeres Potenzial für Optimierungen zu sehen ist.

Die Aufbereitung der weiteren betrachteten Rohstoffe ist in Österreich vor allem in der Sparte der Sekundärrohstoff-Aufbereitung angesiedelt. In dieser sind oftmals große verfahrenstechnische Verbesserungspotenziale vorhanden, es handelt sich oftmals jedoch auch um große Herausforderungen. In diesem Zusammenhang ist besonders die schwankende Zusammensetzung der Aufgabe auf die Aufbereitungsanlagen als immer wieder auftretende Erschwerung der aufbereitungstechnischen Behandlung im Sekundärrohstoff-Bereich zu beachten.

Weitere Betrachtungen beschäftigen sich mit dem breiten Spektrum an aufbereitungstechnischen Verfahren, welche in diesem Industriezweig zur Anwendung gelangen und der heiklen Abstimmungen dieser im Zusammenhang mit den implementierten Prozessketten.

Auch die Herausforderungen des Umweltschutzes haben einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die zur Aufbereitung einsetzbaren Prozesse und vor allem die damit verbundenen Kosten. Besonders am Beispiel der Gewinnung von Metallen der Seltenen Erden kann man sehen, dass auch chemische Prozesse, welche oft von einer hohen Umweltrelevanz geprägt und mit der Notwendigkeit von hohen Sicherheitsvorkehrungen verbunden sind, in der Aufbereitung von kritischen Rohstoffen zur Anwendung kommen und daher einen nicht unwesentlichen Teil der Betrachtungen ausmachen.

Auf diesem Gebiet konnten vom Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung bereits Erfahrungen in Richtung der Rückgewinnung von Yttriumoxid aus Formschalen-Bruchstücken von Gießereiprozessen gemacht werden. Diese Erkenntnisse bilden einen wertvollen empirischen Beitrag zur gesamten Betrachtung der Sekundärrohstoff-Aufbereitung der kritischen Rohstoffe.

## 4. Anwendung und Recycling

Die zahlreichen Anwendungen von Seltenen Erden (SE) lassen sich gemäß Abbildung 3 grob in mehrere verschiedene Gebiete zusammenfassen, in denen jeweils unterschiedliche individuelle Elemente eine bedeutende Rolle spielen. Nachdem diese Metalle eine besondere Position im Periodensystem aufweisen (f-Block-Elemente, Lanthanoide), weisen sie herausragende chemische Eigenschaften auf, weshalb sie in vielen Einsatzgebieten nicht durch andere Elemente ersetzbar sind. Während beispielsweise Europium vor allem für Leuchtstoffe von Bedeutung ist, findet Dysprosium vorwiegend in Werkstoffen für Permanentmagneten Verwendung.<sup>[7]</sup>

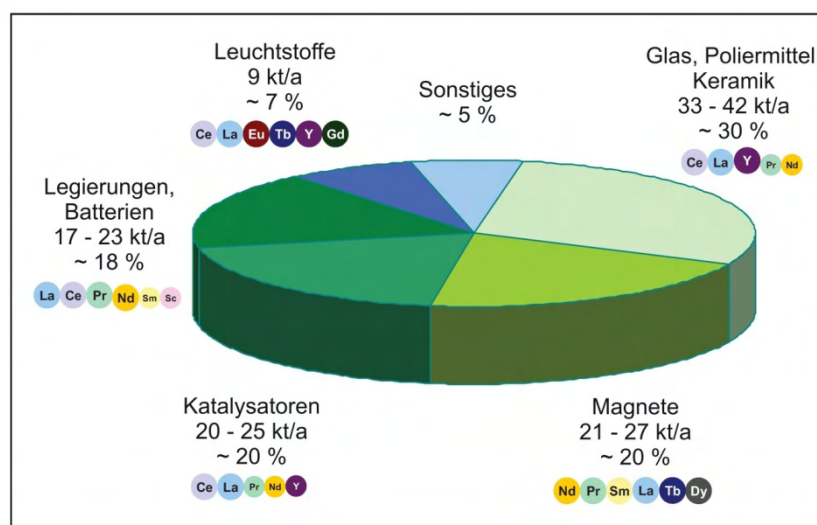


Abbildung 3: Globaler Bedarf an Seltenen Erden für unterschiedliche Anwendungsgebiete<sup>[8]</sup>

Bezüglich des Recyclings von Seltenen Erden sind Nickelmetallhydrid-Akkumulatoren ein besonders interessanter Abfallstrom, weil diese nicht nur eines der großen Anwendungsgebiete dieser Elemente darstellen, sondern darüber hinaus hohe SE-Gehalte (bis 10 %) beinhalten und bereits eine entsprechende Logistik für deren Sammlung nach Ablauf der Nutzungsdauer vorhanden ist. Da jedoch bis vor einiger Zeit die großtechnischen Aufbereitungsverfahren für diese wiederaufladbaren Batterien nur auf die Rückgewinnung von Nickel, Cobalt und Eisen abgestimmt waren, fanden im Rahmen des Research Studios Austria des Lehrstuhls für Nichteisenmetallurgie Untersuchungen statt, um ein neuartiges Recyclingkonzept auszuarbeiten, mit welchem sich über eine hydrometallurgische Route die SE in Form eines Doppelsulfats,  $(\text{Na}, \text{K})\text{SE}(\text{SO}_4)_2$  aus den Zellen gewinnen lassen.<sup>[7, 9, 10]</sup>

Grundsätzlich gibt es bereits eine sehr hohe Anzahl unterschiedlicher Arbeiten im Labormaßstab zur Rückgewinnung von Seltenen Erden aus diversen Abfällen und Reststoffen, wobei sich jedoch der überwiegende Anteil bisher auf die NiMeH-Akkumulatoren und die Leuchtstoffe konzentrierte. Hinsichtlich Permanentmagnetmaterial, Katalysatoren, Gläser

sowie Poliermittel zu deren Bearbeitung finden sich in der Fachliteratur jedoch bisher nur einige Beiträge. Darüber hinaus ist auch anzudenken, welche weiteren alternativen Quellen für Seltene Erden, wie beispielsweise Rotschlamm, U-, Nb- oder Zr-Erze, Tiefenwässer, etc. nutzbar sein könnten. Im großtechnischen Maßstab erfolgt die Herstellung von Seltenen Erden derzeit nur bei der Firma Rhodia in Frankreich, welche sich sowohl auf die Rückgewinnung aus Akkumulatoren, Leuchtstoffen und Permanentmagnete als auch auf die Trennung der einzelnen Elemente der Seltenen Erden voneinander spezialisiert hat.<sup>[11-13]</sup>

Während es bei den Seltenen Erden durchaus bedeutende Produktgruppen gibt, bei denen eine wirtschaftliche Rückgewinnung möglich erscheint, ist bei anderen Rohstoffen, speziell bei Niob (Abbildung 4, links), die Situation wesentlich ungünstiger. Nachdem hier nahezu die gesamte Weltproduktion für die Herstellung bestimmter Stahlgüten Verwendung findet und in diesen Niob nur in geringsten Konzentrationen vorliegt, geht dieses für den Niobkreislauf verloren. Ein ähnliches Bild, nur nicht so extrem, zeigt sich bei Tantal (Abbildung 4, rechts), welches fast zur Hälfte in der Elektronik für Feststoffelektrolytkondensatoren genutzt wird. Auch hier ist die Verdünnung so stark, dass sich dieser Anteil nach Ablauf der Produktlebenszeit nicht mehr dem Stoffkreislauf zuführen lässt.

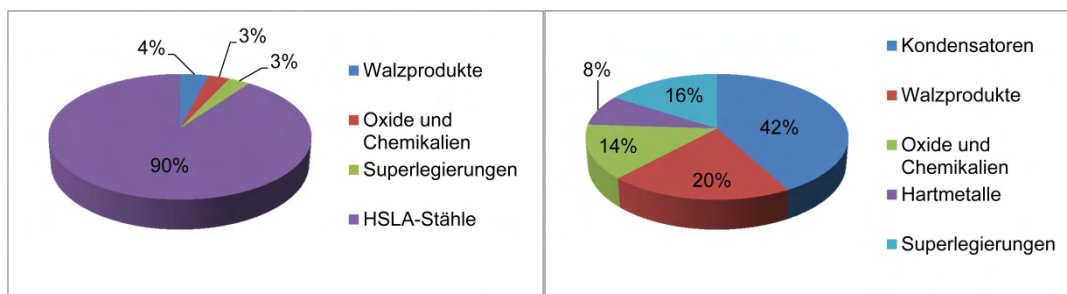


Abbildung 4: Anwendungsgebiete von Niob und Tantal (laut Gille, G. & Maier, A. – Berliner Recycling- und Rohstoffkonferenz 2012)

Im Gegensatz zu den bisher erwähnten Metallen (SE, Nb und Ta) hat sich beim Wolfram bereits seit langem das Recycling sehr gut etabliert. Diese Metall findet zu 54 % als Wolframkarbid zur Herstellung von Hartmetallen Verwendung und darüber hinaus zu 27 % in Stählen und anderen Legierungen, zu 13 % in Walzprodukten und zu 6 % in sonstigen Anwendungen<sup>[14]</sup>. Vor allem für die Verwertung von reinem Hartmetallschrott stehen viele unterschiedliche Prozesse auch im Industriemaßstab zur Verfügung, während die verunreinigten Schrotte nach einer Vorbehandlung der Primärmetallurgie zuzuführen sind. An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass dies eine gängige und oftmals notwendige Vorgangsweise beim Recycling von Technologiemetallen darstellt. Aus diesem Grund darf auch für das Recycling das Vorhandensein und die Technologie der Primärmetallurgie keinesfalls außer Acht gelassen werden.

Hinsichtlich der Recyclingraten ist auch zu berücksichtigen, welche Quoten genau angegeben werden, da sich sonst oftmals ein verzerrtes Bild ergeben kann. Beispielsweise deckt die Primärproduktion an Wolfram derzeit etwa zwei Drittel des Bedarfs, während bereits ein Drittel aus den unterschiedlichen Recyclingprozessen stammt. Jedoch tragen hier die Produktionsabfälle und somit die produktionsinternen Stoffkreisläufe einen wesentlichen Anteil bei, wodurch die Menge an Wolfram, welche aus gebrauchten Produkten nach Ablauf ihrer Lebensdauer rückgewonnen wird, wesentlich geringer ausfällt.

Bei Vanadium ist wiederum zu beachten, dass dieses großteils in Stählen als Legierungselement Anwendung findet (Abbildung 5, links) und sich somit dem V-Kreislauf entzieht, während das großindustrielle Recycling aus den Katalysatoren bereits in großem Ausmaß stattfindet und somit hier nur noch wenig zusätzliches Potenzial vorliegt.

Grundsätzlich steht für die Rückgewinnung von Cobalt aus den Anwendungen ein höherer Anteil zur Verfügung, weil sich dieses in einigen Produktgruppen in ausreichender Konzentration (Batterien, Hartmetalle, Katalysatoren, Magnete und Superlegierungen) vorliegt (Abbildung 5, rechts). Jedoch muss hier Beachtung finden, dass für die Extraktion des Cobalts aus den Materialien zumeist komplexe und aufwändige Technologien (Solventextraktion, Ionenaustausch, etc.) notwendig sind, um zum Reinmetall zu gelangen, welches wiederum zu den unterschiedlichen Produkten verarbeitet werden kann.

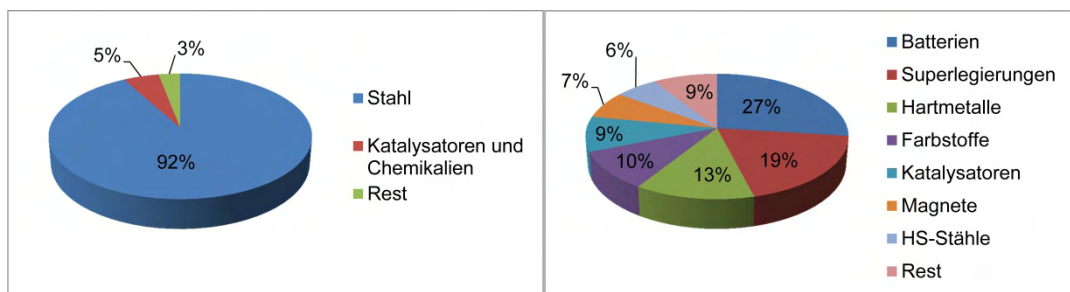


Abbildung 5: Anwendungen für Vanadium<sup>[15]</sup> und Cobalt<sup>[16]</sup>

Allgemein resultiert aus den bisher gesammelten Informationen, dass hinsichtlich des Recyclings der als kritisch betrachteten Rohstoffe nicht nur die Technologie ausschlaggebend ist, welche lediglich für manche Elemente bereits gut entwickelt ist, sondern dass viele Anwendungen aufgrund der dissipativen Verteilung oftmals keine wirtschaftliche Extraktion zulassen. Aus diesem Grund müssen verstärkt Synergieeffekte genutzt werden, um aus einer Fraktion nicht mehr nur einen oder einige wenige Wertstoffe (wie beispielsweise Kupfer und Edelmetalle aus Elektronikschrott) zu extrahieren, sondern eine möglichst hohe Anzahl dieser zu gewinnen. Für die dazu notwendige Vernetzung der unterschiedlichen Prozesse und Technologien sind jedoch noch zahlreiche Untersuchungen erforderlich. Darüber hinaus benötigt dieses oftmals auch das Vorhandensein der Primärmetallurgie, weil in vielen Fällen die Reststoffe und Abfälle einer zweckmäßigen

Vorbehandlung zugeführt werden, um ein geeignetes Konzentrat zu erhalten. Dieses wird letztendlich in die bestmögliche Prozessstufe der primären Gewinnungsrouten eingeschleust.

## 5. Abfallwirtschaft

Im Zuge der Stoffflussanalysen (SFA) wurden zunächst Methoden zur Kritikalitätsbewertung von Rohstoffen recherchiert und verglichen (z.B. Graedel et al.<sup>[17]</sup> oder USGS<sup>[18]</sup>), um eine möglichst objektive und nachvollziehbare Auswahl der Stoffe für die SFA zu ermöglichen. Als Grundlage für die Stoffauswahl erfolgte schließlich die Verwendung der Methode zur Kritikalitätsbeurteilung der EU Ad-hoc Working Group zum Thema „Critical raw materials for the EU“<sup>[1]</sup>. Dazu wurde die Zuordnung der 14 kritischen Rohstoffe (die für die EU identifiziert wurden) zu den verschiedenen Mega-Sektoren auch für Österreich angewendet, um besonders relevante Stoffe aus der EU-Liste zu identifizieren.

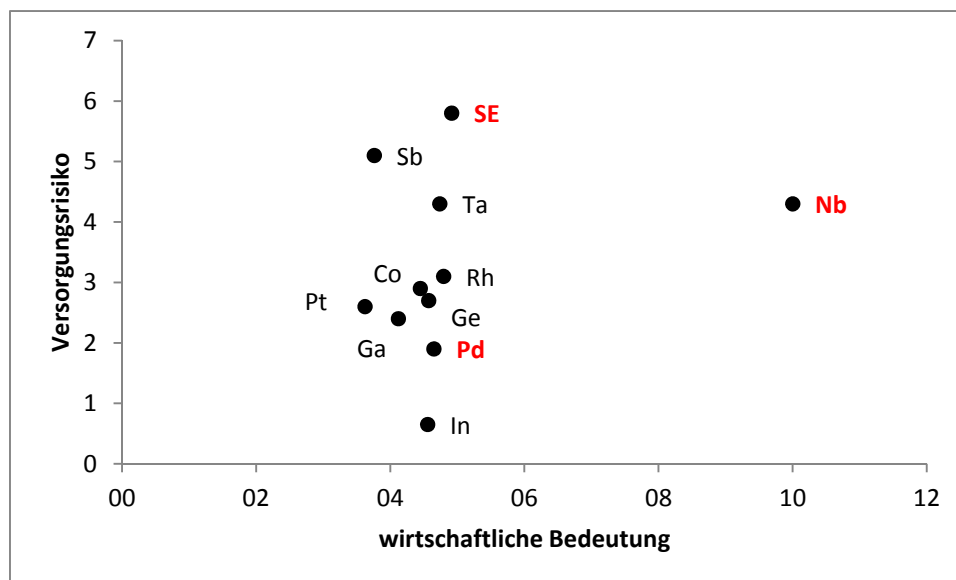


Abbildung 6: Darstellung der wirtschaftlichen Bedeutung und des Versorgungsrisikos kritischer Elemente für Österreich (Abbildung auf Grundlage von Daten aus Angerer et al.<sup>[19]</sup> und Weber et al.<sup>[20]</sup>. Für Be, CaF<sub>2</sub>, C, Ir, Mg, Os, Ru, W finden sich in diesen Quellen keine Daten, daher sind sie in der Darstellung nicht inkludiert.)

In Ergänzung zu den Ergebnissen der Kritikalitätsbewertung auf nationaler Ebene anhand der EU-Methodik (vgl. Abbildung 6), wurden die Ergebnisse aus den Gesprächen der Montanuniversität Leoben mit den Industriepartnern berücksichtigt. Dadurch fand auch die Einschätzung ausgewählter Hochtechnologieunternehmen bei der Stoffauswahl Berücksichtigung. Schließlich fand eine Auswahl folgende Stoffe für die SFA statt: Neodym (Nd) als Vertreter der Seltenen Erden, Palladium (Pd) als Vertreter der Platingruppenelemente und Niob (Nb).

Für die ausgewählten Stoffe wurden qualitative Stoffhaushaltssysteme mittels STAN®, einer an der TU Wien entwickelten Spezialsoftware für SFA, erstellt (vgl. qualitativer Nd-Haushalt, Abbildung 7), die nun anhand von Daten und Abschätzungen zu quantifizieren sind.

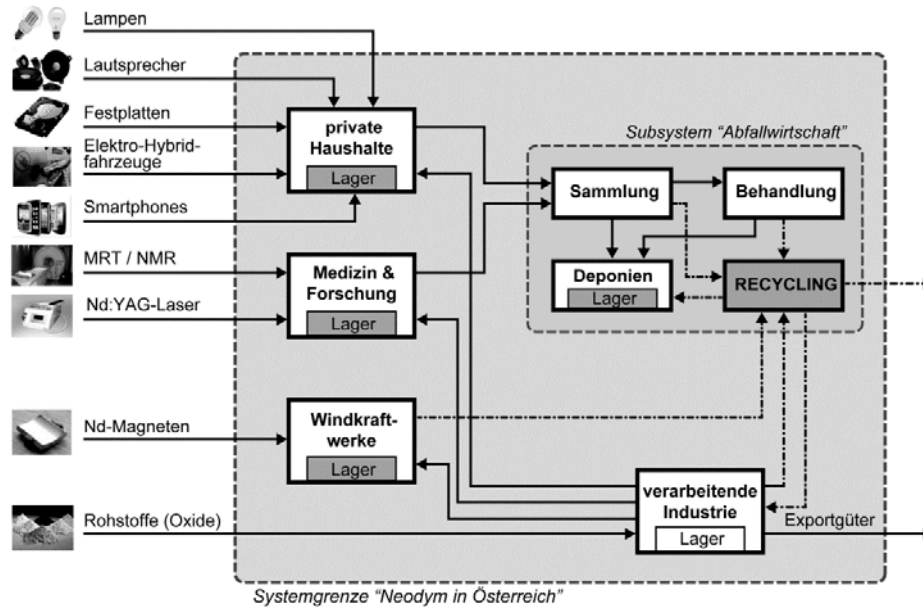


Abbildung 7: Schematische Darstellung wesentlicher Flüsse und Lager des Neodymhaushalts für Österreich (grau hinterlegte Lager/Prozesse bzw. strichpunktierte Flüsse stilisieren ein potenzielles Recyclingsystem für Neodym, das derzeit noch nicht besteht)

Derzeit werden Daten zu den Hauptanwendungen der Stoffe, den jeweiligen Konzentrationen in Produkten und Produktmengen als auch statistische Daten zu Produktionsmengen, Import und Export sowie dem Inlandsverbrauch der Rohstoffe gesammelt. Die Daten stammen aus Literaturquellen, von statistischen bzw. geologischen Diensten, von Firmen in den betroffenen Branchen (Kontakt über das Projektkonsortium oder durch direkte Anfragen) oder unmittelbar von Projektpartnern. Die kontinuierliche Verdichtung der vorhandenen Daten bedingt in der Regel auch eine Anpassung des Stoffflusssystems, damit eine Quantifizierung der Flüsse und Lager möglich ist. Da aufgrund vorhandener Datenlücken und großer Schwankungsbreiten zahlreiche Schätzungen für eine geschlossene Bilanzierung der Systeme notwendig sind, kommt der Berücksichtigung von Unsicherheiten besondere Bedeutung bei der Erstellung der SFA zu (vgl. Hedbrandt und Sörme<sup>[21]</sup>). Mittels STAN® ist basierend auf der Berücksichtigung von Unsicherheiten der Inputdaten eine Fehlerfortpflanzungsrechnung möglich, wodurch eine Beurteilung der Aussagekraft der SFA-Ergebnisse erleichtert wird. Außerdem können die Flüsse oder Lager mit den größten Unsicherheiten identifiziert und entsprechender Forschungsbedarf abgeleitet werden.

Basierend auf den fertiggestellten Stoffflussanalysen soll es schließlich möglich sein, vorhandene Sekundärrohstoffpotenziale für Nd, Pd und Nb in anthropogenen Lagern und

bestimmten Abfallströmen grob abzuschätzen und Vorschläge für die Entwicklung gezielter Recyclingstrategien abzuleiten.

## 6. Zusammenfassung

Aus den bisherigen Untersuchungen resultieren folgende wesentlichen Aussagen:

- Für die österreichische Industrie müssen wesentliche Mengen einer ganzen Reihe von Rohstoffen aus dem Ausland importiert werden.
- Die Gewinnung dieser Materialien ist oftmals auf einige wenige Länder konzentriert, welche dazu zum Teil politisch instabil und unzuverlässig sind.
- Um einen überschaubaren Umfang der Studie zu gewährleisten, erfolgte eine Schwerpunktsetzung auf Seltene Erden, Tantal und Niob, Wolfram, Vanadium sowie Platingruppenmetalle.
- Hinsichtlich des geologischen Potenzials in Österreich lassen sich die Rohstoffe in drei Gruppen unterteilen. Für erstere (Wolfram, Magnesit, Grafit etc.) sind mit hoher Wahrscheinlichkeit noch unentdeckte Lagerstätten vorhanden. Für die zweite Gruppe (SE und PGM) ist das Geopotenzial vernachlässigbar und für die dritte (Sb, Co etc.) lässt sich mit den vorhandenen Informationen das Potenzial nicht klar abschätzen.
- Aus bergtechnischer Sicht sind vor allem die Lagerstätten Rabant und Gurskerkammer für Antimon und Sunk für Grafit sowie in weiterer Folge auch die geologische Einheit „Bunte Serie“ für Grafit als auch Hochrast/Gumriaul für Wolfram interessant.
- Aufbereitungstechnisch ergab sich auf Seite der Primärrohstoffe vor allem für die Flotation der Scheeliterze noch Optimierungspotenzial.
- Die Sekundärrohstoffe stellen für die Aufbereitung oftmals eine hohe Herausforderung dar, sodass hier noch erhebliche Verbesserungen möglich erscheinen.
- Die als kritisch angesehenen Metalle sind in den Produkten und Anwendungen oftmals so dissipativ verteilt, dass die Rückgewinnung einen viel zu hohen Aufwand erfordern würde.
- Das Recycling von Technologiemetallen findet vielfach durch Einschleusung in die Primärmetallurgie an geeigneter Stelle nach einer zweckmäßigen Vorbehandlung statt, weil die Mengen für die Installation eigener Prozessketten viel zu gering sind.
- Für die Vernetzung der unterschiedlichen Verfahrenslinien zur Nutzung von Synergieeffekten sowie zur Gewinnung von möglichst allen Wertstoffen aus den jeweiligen Abfall- und Reststoffströmen müssen noch zahlreiche Arbeiten und Untersuchungen durchgeführt werden.

- Für die Erstellung von Stoffflussanalysen (für Nd, Pd und Nb) ergeben sich aus den vorhandenen Datenlücken und zum Teil erheblichen Schwankungsbreiten der angegebenen Werte erhebliche Unsicherheiten, woraus sich entsprechender Forschungsbedarf ableiten lässt.

## 7. Literatur

- [1] Critical raw materials for the EU: Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials. Internet: [http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/critical/index\\_de.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/critical/index_de.htm) (Zugriff: 14.8.2011).
- [2] European Mineral Statistics. Internet: <http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/europeanStatistics.html> (Zugriff: 27.4.2012).
- [3] Brown, T. J. et al.: World Mineral Production. Keyworth, Großbritannien: British Geological Survey (2012).
- [4] Weber, L. et al.: World-Mining-Data. Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend (2012) Heft 27, 1–296.
- [5] Achzet, B. et al.: Materials critical to the energy industry - an introduction. University of Augsburg (2012) [http://www.physik.uni-augsburg.de/lehrstuehle/rst/downloads/Materials\\_Handbook\\_Rev\\_2012.pdf](http://www.physik.uni-augsburg.de/lehrstuehle/rst/downloads/Materials_Handbook_Rev_2012.pdf).
- [6] Göd, R.: The spodumen deposit at "Weinebene", Koralpe, Austria. In: Mineralium Deposita, 24 (1989) 270–278.
- [7] Luidold, S. und H. Antrekowitsch: Gewinnung von Technologiemetallen aus alternativen Rohstoffquellen. In: Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, 157 (2012) 32–37.
- [8] Schüler, D. et al.: Study on Rare Earths and Their Recycling. Öko-Institut e.V. (2011) Final Report for the Greens/EFA Group in the European Parliament, 1–140.



- [9] Kaindl, M. et al.: Extraction of rare earths from used nickel metal hydride batteries. In: Proceedings of EMC 2011, Volume 4, Harre, J. und U. Waschki (Hrsg.). Düsseldorf, Deutschland: GDMB (2011) 1401–1415.
- [10] Luidold, S. und H. Antrekowitsch: Rückgewinnung von Seltenen Erden aus Nickelmetallhydrid-Akkumulatoren. In: DepoTech 2010, Lorber, K. E. et al. (Hrsg.). Leoben, Österreich: Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik (2010) 301–306.
- [11] Rhodia develops innovative process for the recycling of rare earths. Internet: [http://www.rhodia.com/en/news\\_center/news\\_releases/Rare\\_earths\\_130111.tcm](http://www.rhodia.com/en/news_center/news_releases/Rare_earths_130111.tcm) (Zugriff: 30.4.2012).
- [12] Umicore and Rhodia develop unique rare earth recycling process for rechargeable batteries. Internet: [http://www.rhodia.com/en/news\\_center/news\\_releases/Umicore\\_rare\\_earth\\_160611.tcm](http://www.rhodia.com/en/news_center/news_releases/Umicore_rare_earth_160611.tcm) (ZUgriff: 12.12.2011).
- [13] Rhodia to recycle rare earths from magnets. Internet: [http://www.rhodia.com/en/news\\_center/news\\_releases/Recycle\\_rare\\_earths\\_031011.tcm](http://www.rhodia.com/en/news_center/news_releases/Recycle_rare_earths_031011.tcm) (Zugriff: 30.4.2012).
- [14] Tungsten. Internet: <http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/mineralProfiles.html> (Zugriff: 27.4.2012).
- [15] Vanadium outlook. Internet: <http://www.americanvanadium.com/vanadium-outlook.php> (Zugriff: 30.4.2012).
- [16] Cobalt supply & demand. Internet: <http://www.thecdi.com/cdi/images/documents/facts/Cobalt%20Facts%20-%20Supply%20%20Demand%20-%202010.pdf> (Zugriff: 12.5.2012).
- [17] Graedel, T. E. et al.: Methodology of metal criticality determination. In: Environmental Science and Technology, 46 (2012) 1063–1070.
- [18] Mineral commodity summaries 2011. Internet: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2011/mcs2011.pdf> (Zugriff: 12.5.2012).
- [19] Angerer, G. et al.: Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Stuttgart, Deutschland: Fraunhofer Verlag (2009).

- [20] Weber, L. et al.: Welt-Bergbau-Daten. In: Rohstoffproduktion, 26. Wien: Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, International Organizing Committee for the World Mining Congresses (2011).
- [21] Hedbrant, J. und L. Sörme: Data vagueness and uncertainties in urban heavy-metal data collection. In: Water, Air, and Soil Pollution, 1 (2001) 43–53.