

Bericht über die Fortbildungstag für Lehrerinnen und Lehrer am 14. Juni 2014 im Deutschen Bergbaumuseum:

Unscheinbar, unersetzlich, teuer: Seltene Metalle als strategische Rohstoffe

Natur- und sozialwissenschaftliche Aspekte der Mineralogie, Gewinnung und Nutzung seltener Technologiemetalle: Diese Rohstoffe sind als unverzichtbare Bausteine der Mikroelektronik zu einem Schlüsselfaktor der technologischen und wirtschaftlichen Entwicklung geworden.

Programm:

10:00 Begrüßung und Einführung in das Thema

10:30 **Einführungsvorträge** mit Diskussion:

**Prof. Dr. Uwe Altenberger: Institut für Erd- und Umweltwissenschaften der Universität Potsdam:
Seltene Erden: Mineralogie, Entstehung, Lagerstätten**

Die Seltenen Erden – korrekt: Metalle der Seltenen Erden oder auch Seltene-Erden-Elemente (SEE), Englisch: rare earth elements (REE) – umfassen 17 Elemente: die 15 Lanthanoiden (Ordnungszahl 57-71), außerdem Scandium (21) und Yttrium (39). Gemeinsam ist ihnen, dass sie alle dreiwertig auftreten, Europium und Cer daneben auch in anderen Wertigkeiten. Man unterscheidet leichte, mittlere und schwere Metalle der Seltenen Erden; die leichten sind zugleich die preiswerten, die schweren sind die teuren.

Die Lanthanoide haben eine identische Elektronenhülle, ihre Differenzierung geschieht durch die sogenannte Lanthanoidenkontraktion, d.h. das Phänomen, dass der Ionenradius mit der Ordnungszahl abnimmt.

Der Name täuscht: Die Metalle der Seltenen Erden sind nicht selten; aber sie sind stark dissipativ verteilt (gestreut). Einige der Minerale, zumeist Oxide, die aus den Seltenen Erden gebildet werden, sind jedoch sehr selten (daher der Name: „Erden“ bezeichnete früher die Oxide). Die ersten Elemente dieser Gruppe wurden zwischen 1788 und 1803 entdeckt, von Berzelius und anderen, die damals „Yttererden“ untersuchten, vorwiegend in Schweden.

Wichtige Minerale zur Gewinnung der Seltenen-Erd-Metalle sind der stabile Monazit (CePO_4 bzw. auch LnPO_4 , also ein Cerphosphat bzw. Lanthanoidphosphat), Bastnäsit ($(\text{Ce,La,Nd,Y})[(\text{F,OH})|\text{CO}_3]$, d.h. ein Karbonat mit zusätzlich Fluor- und Hydroxidionen (benannt nach dem schwedischen Fundort Bastnäs [berühmt auch für einen außergewöhnlichen Autofriedhof!], Pyrochlor (Calcium-Niob-Oxide in zahlreichen Modifikationen), Parisit (vor allem als Cerkarbonat) und Cerit (ein Silikat).

Die Produktion der Seltenen Erden hat stark zugenommen, der Schwerpunkt des Abbaus hat sich dabei nach China verlagert, von wo mittlerweile rund 95 % der Weltförderung herkommen.

Die Lagerstätten sind im Wesentlichen magmatischen Ursprungs; die Seltenen Erden bilden sich aus heißen, das Magma begleitenden Fluiden; sekundär kann eine Anreicherung passieren; Seltene Erden können auch als Verwitterungsreste bei der Lateritisierung konzentriert werden (so die Lagerstätte Mountain Pass am Rand der Mojave-Wüste in Kalifornien). Das für Farbfernseher wichtige Europium wird aus magmatischem Karbonatit gewonnen.

Zusammen mit den Seltenen Erden werden häufig auch Niob (Nb) und Tantal (Ta) – letzteres wichtig für die Stahlproduktion – behandelt; sie gehören ebenfalls zu den Seltenen Metallen und haben ähnliche Eigenschaften wie die Metalle der Seltenen Erden und treten auch mit diesen zusammen auf. Gemeinsam

ist ihnen auch, dass die Erze zunächst durch umweltaggressive Lösungen aufgeschlossen werden müssen, was die Verarbeitung ökologisch so problematisch macht – auch ein Grund, warum China in so dominanter Weise zum Weltproduzenten der Seltenen Metalle geworden ist!

Zur Nutzung: Seltenerd-Metalle werden vor allem gebraucht für den Bau von Magneten (Neodym, Dysprosium – für den Bau eines Windrades werden 1000 kg Nd und 7 kg Dy benötigt), für Batterien (Lanthan), Polituren, Bildschirme, Katalysatoren, Glaszusatzstoffe.

Die gegenwärtig weltgrößte Produktionsstätte für SEE ist das Bergwerk im chinesischen Bayan Obo (Nordchina, nahe der Grenze zur Mongolei); bei der Genese dieser Lagerstätte wurden im Wesentlichen durch Fluide Magmatit und Hämatit durch Erze mit SEE ersetzt, darunter der Huanghoit, ein Barium-Cer-Fluor-Carbonat ($\text{BaCe}(\text{CO}_3)_2\text{F}$). Die bedeutendste Mine außerhalb Chinas ist die Lagerstätte Mount Weld im südlichen Westaustralien, wo SEE und Tantal aus den Verwitterungsresten eines gewaltigen Carbonatitschlotes gewonnen werden.

Es wird erwartet, dass in Zukunft auch Grönland eine bedeutende Rolle als Produzent von SEE spielen wird, australische Unternehmen haben dort Schürfrechte erworben. Mit Kringlerne besitzt Grönland das derzeit größte Vorkommen an Schweren Seltenen Erden und mit Kvanefjeld das drittgrößte Seltene-Erden-Vorkommen der Welt. Derzeit ruht jedoch dort der Bergbau, auch wenn inzwischen die politischen Entscheidungen zugunsten des Abbaus getroffen wurden; hohe Explorations-, Erschließungs- und Abbaukosten verhindern hier eine schnelle Entwicklung. Ein weiteres großes Seltene-Erden-Vorkommen ist die nordsibirische Lagerstätte Tomtor (Russland), während die Behauptung Nordkoreas, nordwestlich der Hauptstadt Pjöngjang selbst über die weltweit größten Vorkommen zu verfügen, von den Experten der BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) angezweifelt wird.

Eine weitere potenzielle Quelle für SEE wie auch für Schwermetalle sind reiche untermeerische vulkanische Vorkommen an „Black smokers“.

In Deutschland gibt es Vorkommen am Kaiserstuhl (Karbonatit) sowie – jüngst entdeckt – in Sachsen (Storkwitz bei Delitzsch).

Literatur: *Altenberger, Uwe und Roland Oberhänsli* 2012: Vom Atom zum Hightec-Produkt. Minerale der Seltenerdelemente als Rohstoffe. – Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule 61 (7): 5-12

Dr. Dipl.-Volksw. Henning Wilts, Stoffströme und Ressourcenmanagement, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie: Seltene Metalle – zu gut für die Tonne!

Die globalen Rohstoffprobleme einerseits und die mit der Förderung einhergehende Umweltbelastung andererseits haben sich in jüngster Zeit massiv verschärft: Im Zeitraum 2000-2013 hat sich die globale Ressourcenextraktion verdoppelt. Dabei sind einige Rohstoffe zu sogenannten „kritischen Rohstoffen“ geworden, d.h. ihre Verfügbarkeit ist nicht gesichert, einem geringen Angebot steht eine hohe Nachfrage gegenüber und Recycling gestaltet sich schwierig.

In der Geschichte der Grundstoffe unter ihrer Nutzung hat sich das Spektrum der „kritischen“ Rohstoffe verschoben; um 1800 galten Kohlenstoff, Eisen, Kalzium als kritisch, heute sind es rund 36 Stoffe, die als kritisch angesehen werden. Viele davon werden auch für „grüne Technik“ eingesetzt (Photovoltaik, Stromspeicher, Katalysatoren, LED, Informations- und Kommunikationstechniken). Angesichts dieser Situation wird Recycling immer wichtiger. „Urban mining“ ist die Rohstoffquelle der Zukunft. Die EU hat sich dazu gerade für den Elektroschrott bis 2020 hohe Ziele gesetzt.

Bei Seltenen Metallen ist das Recycling allerdings problematisch: bei der Sammlung (das „Horten“ der Alt-Handys in den Privathaushalten! – aus Angst um Datenklau u.ä., Nachlässigkeit etc.), aber auch bei der Aufbereitung und Gewinnung: Zahlreiche Stoffe sind ineinander verbaut: Polysubstanzen statt Monosubstanzen; Liefer- und Wertschöpfungsketten sind kompliziert und intransparent.

Führend in der stofflichen Rückgewinnung von kritischen Metallen aus Altstoffen, im Wesentlichen Elektroschrott, ist das Unternehmen Umicore mit seiner zentralen Anlage in Hoboken bei Antwerpen (Belgien), wo Investitionen von 1,4 Mrd. € getätigt wurden, um die Gewinnungsprozesse zu optimieren.

**Prof. Dr. Karl-Heinz Otto, Geographiedidaktik, Ruhr-Universität Bochum:
Lithium – Das leichteste Metall der Erde gewinnt an Gewicht**

Die Nachfrage nach Lithium steigt stark an – wegen des Bedarfs für E-Mobilität, Notebooks u.v.a. Das Element wurde früher vor allem als Schmierstoff für Achslager in der Bahntechnik verwendet; heute benötigt es die Glasproduktion als Zusatzstoff (z.B. für Brillen, Teleskope – wie das „very large telescope“ der ESO – , Spiegel) sowie die Herstellung von Batterien, die Aluminiumproduktion und die Pharmazie.

Die Datenlage über Gewinnung, Produktion und Verbrauch ist unsicher. Die Zahlen von USGS oder Roskill u.a. widersprechen sich häufig.

Lithium ist das leichteste Metall, ein Alkalimetall mit der Ordnungszahl 3. Es hat ein sehr geringes Normalpotenzial, d.h. es reagiert sehr leicht und kann deswegen gut als Anode in einer Batterie verwendet werden.

Das Vorkommen in der Erdkruste ist stark dissipativ. Gegenüber den primären Lagerstätten bilden sekundäre Lagerstätten die wesentlichen Förderquellen. Zu ihnen gehören die Vorkommen von Lithiumsalzen, zumeist Lithiumchlorid, in Salzseen in Chile (Salar de Atacama mit einem Lithiumgehalt von 0,16 %), Bolivien, Argentinien, den USA, Australien und China.

Der Salar de Atacama im nördlichen Chile ist ein 3000 km² großer Salzsee im präandinen Becken; er zeigt typische Strukturböden und halophytische Vegetation am Rand, was ihn zu einem Nationalpark und Tourismusziel gemacht hat. Die hohe Verdunstung führt zu einer konzentrierten Lithiumlauge. Das Lithiumchlorid stammt aus den Andesiten und Ignimbriten des Umgebungsgebirges. Zu seiner Gewinnung wird das lithiumhaltige Wasser an die Oberfläche gepumpt und in flache Becken geleitet, wo es verdunstet. Kaliumchlorid und Kaliumsulfat fallen aus, während Lithiumchlorid gelöst bleibt. Diese Sole wird zur weiteren Verarbeitung per Tankwagen nach Salar del Carmen bei Antofagasta gebracht. Durch den hohen Wasserverbrauch zur Gewinnung der Metalle und Salze ist der Wasserspiegel in der zentralen Lagune bereits gesunken, vom Rand her nimmt die Austrocknung zu. Weitere Probleme sind die Luftverschmutzung durch die Anlagen und Fahrzeuge sowie die Staubentwicklung. 2012 wurden durch SQM Salar S.A. 45 700 Tonnen Lithium (berechnet als Lithiumcarbonat) gefördert, im Wert von 222,2 Mill. US\$. Die Rechte an der Ausbeutung der Rohstoffe sind ungeklärt, traditionell gehören sie den in der Region beheimateten Indios – und damit sind sie ständig Gegenstand juristischer und politischer Auseinandersetzungen.

Bei der Verhüttung wird aus Lithiumhydroxid zunächst Lithiumkarbonat und danach das elementare Lithium gewonnen. Das Mengenverhältnis zu dem chemisch höchst ähnlichen Element Magnesium beträgt im Salar de Atacama 6:1 (Mg/Li) und ist damit sehr gut (in chinesischen Lagerstätten rund 100:1). Schwerpunkte der Verhüttung sind Japan und Korea. In Deutschland gibt es ein Werk von Rockwood in Langelsheim (Harz).

Britta Bookhagen, Institute for Advanced Sustainability Studies, Potsdam:

Der Handy-Koffer und sein Einsatz im Unterricht und anderswo

Am Beispiel des Mobiltelefons lassen sich in einzigartiger Weise die Zusammenhänge zwischen Ressourcennutzung und Entwicklung der Informationstechnik, die Bedeutung seltener Metalle für unseren Alltag und die globalen ökologischen Auswirkungen unseres Alltagshandelns aufzeigen. Zu

diesem Zweck wurde von Britta Bookhagen am IASS der Handy-Koffer entwickelt. Er präsentiert die wesentlichen Stoffe, die für die Produktion eines Mobiltelefons erforderlich sind. Ziel ist die Sensibilisierung von Schülern/-innen (und anderen Zielgruppen) für die eingangs beschriebenen Zusammenhänge. Das Handy ist heute ubiquitär: 98 % der Sekundarschülerinnen und -schüler haben eines – mindestens eines. Die Lebensdauer eines Mobiltelefons beträgt dabei 18-26 Monate. 2012 wurden 1,7 Mrd. Mobiltelefone produziert und verkauft; es gibt weltweit 6,4 Mrd. Anschlüsse.

Das Handy enthält mehr als 30 Metalle und mehr als 47 Elemente. Wesentliche Arbeitsschritte bei der Behandlung des Kofferinhalts: Auseinandernehmen des Handys, Benennen der Bauteile, Erkennen der Rohstoffe. Ein Rohstoff-Quiz fragt nach den Elementen und wofür sie nützlich/erforderlich sind. Im Zusammenhang mit der Koffer-Kampagne stand im Wissenschaftsjahr 2012 „Zukunftsprojekt ERDE“ auch eine Handy-Sammelaktion an Schulen.

Dr. Sylvia Riechermann, Besucher-Service Bergbaumuseum: Workshop Steinbeißer

Die Mitarbeiterin am Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik der Ruhr-Universität Bochum und beim Besucher-Service des Bergbaumuseums stellte das Gesteinskundepraktikum vor, das im Museum mit Besuchern durchgeführt wird. Die drei Hauptgesteinstypen werden vorgestellt hinsichtlich ihres Aussehens, ihrer Eigenschaften, Entstehung und Verwendung. Das Museum hat dazu ein Schema entwickelt, anhand dessen Gesteinsproben nach einfachen und grundlegenden Kriterien den Gesteinstypen zugewiesen und bestimmt werden können.

Vorstellung und Kurzkomentar zur Liste der verfügbaren Literatur und weiterer (Online-) Materialien – vorbereitet vom GeoEd-Team in Potsdam

Die Referentin und Referenten:

Prof. Dr. Uwe Altenberger leitet die Forschungsgruppe Strukturpetrologie am Institut für Erd- und Umweltwissenschaften der Universität Potsdam. Seine Schwerpunkte in Forschung und Lehre sind das Zusammenspiel von Deformation und Mineralneubildungen sowie Seltenerd- und Coltan-Lagerstätten. Südamerika, Schweden, Norwegen und Italien sind die wesentlichen Gebiete seiner Forschungsaufenthalte. Uwe Altenberger wird vor allem über die Mineralogie der seltenen Metalle sowie die Entstehung und besonderen Bedingungen der Lagerstätten dieser Stoffgruppe berichten.



Dr. Henning Wilts ist Projektleiter am Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie und koordiniert dort den Bereich Abfall und Ressourceneffizienz. Im Fokus der Forschung stehen dabei notwendige Rahmenbedingungen zur Rückgewinnung seltener Metalle aus Produkten wie Handys, Bildschirmen oder USB-Sticks. Diese bestimmen maßgeblich den ökologischen Rucksack der Produkte, d.h. wie viele Ressourcen ihre Herstellung, Nutzung und Nachnutzungsphase insgesamt beansprucht. Herr Wilts wird im Rahmen der Fortbildung über Handlungsoptionen sprechen, solche Abfälle zukünftig als Ressource zu nutzen und insbesondere seltene Metalle verstärkt in geschlossenen Kreisläufen zu führen.

Prof. Dr. Karl-Heinz Otto, ist Professor für Didaktik der Geographie an der Ruhr-Universität Bochum und verantwortlich für die Ausbildung im Studiengang Master of Education im Fach Geographie. Seine Schwerpunkte sind u.a. Bildung für nachhaltige Entwicklung sowie geowissenschaftliche Inhalte im Geographieunterricht. Er ist ein ausgewiesener Experte für die Probleme der Lithiumgewinnung in Lateinamerika (insbesondere Bolivien); über diese wird er berichten und Anregungen für die Vermittlung im Unterricht geben.



Dipl.-Geol. Britta Bookhagen absolvierte zusätzlich zu Ihrem Geologie-Diplom zahlreiche Universitätskurse für das Lehramt in Mathematik und Physik in Berlin und an der Boston University. Sie hat als Dozentin und Projektmanagerin mit SchülerInnen und LehrerInnen in verschiedenen Forschungsinstitutionen gearbeitet, u.a. dem GFZ in Potsdam, dem MIT und der Boston University in den USA und im Naturhistorischen Museum in Wien. Seit April 2012 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin am IASS Potsdam und hat dort die Handy-Rohstoffbox für das „Wissenschaftsjahr 2012“ des BMBF „Zukunftsprojekt Erde – Die Rohstoff-Expedition“ entwickelt.

Konzeption und Veranstaltungsleitung: Dr. Andreas Bergner (PROGRESS), Dipl.-Geophys. Simon Schneider (GEOTECHNOLOGIEN), Dipl.-Geol. Britta Bookhagen (Institute for Advanced Sustainability Studies, IASS), Dr. Christof Ellger (GeoUnion Alfred-Wegener- Stiftung)

**GeoEd – c/o GeoUnion, Universität Potsdam, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften,
Karl-Liebknecht-Str. 24-25, 14476 Potsdam, Tel. 0331-977-5789; Fax 0331-977-5700;
infos@geo-union.de**