

Zeitschrift: Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG
Herausgeber: Eisenbibliothek
Band: 85 (2013)

Artikel: Seltene Erden : vom Glühstrumpf zum weltweiten Zankapfel
Autor: Kolczewski, Christine
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-378504>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 25.11.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Seltene Erden

Vom Glühstrumpf zum weltweiten Zankapfel

von Christine Kolczewski

Smartphone, Handy, Elektroauto, Windrad, Energiesparlampen – sie alle haben etwas gemeinsam: einen zwar geringen, aber unverzichtbaren Anteil an Seltenen Erden. Doch was sind Seltene Erden eigentlich? Sind sie wirklich so selten, wie der Name vermuten lässt? Und wie entwickelten sich die Seltenen Erden von nur für die Grundlagenforschung interessanten Objekten zu global heiss begehrten Rohstoffen?

Smartphones, mobile phones, electric cars, windmills, energy-saving lamps – they all have one thing in common: a minimal, though indispensable amount of rare earths. But what actually are rare earths? Are they really as rare as their name implies? And how did rare earths develop from merely interesting research objects to globally highly coveted raw materials?

Weder Erde noch selten – die Chemie der Seltenen Erden

Die Seltenen Erden sind eine Gruppe von 17 Elementen in der 3. Nebengruppe des Periodensystems: Scandium, Yttrium, Lanthan sowie die 14 auf Lanthan folgenden Elemente (Cer, Praseodym, Neodym, Promethium, Samarium, Europium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium und Lutetium), die Lanthanoiden. Sie lassen sich weiter unterteilen in die leichten Seltenen Erden (Ceriterden), die aus den ersten sieben Lanthanoiden bestehen, und die schweren Seltenen Erden (Yttererden), die aus den restlichen Lanthanoiden und Yttrium bestehen. Scandium lässt sich in diese Gruppierungen nicht einordnen.

Die Bezeichnung «Seltene Erden» für diese Elemente kommt daher, dass sie zuerst in seltenen Mineralien aufgefunden und aus diesen in Form ihrer Oxide, die man früher als «Erden» bezeichnete, isoliert wurden. Selten sind sie jedoch nicht – einige Metalle wie Yttrium, Cer und Neodym sind häufiger als Blei, Molybdän oder Arsen. Selbst die zwei seltensten Erden, Thulium und Lutetium, kommen in der Erdkruste noch 200 Mal häufiger vor als Gold. Jedoch gibt es nur vergleichsweise wenige Lagerstätten, in denen Seltene Erden angereichert vorliegen. Dies gilt besonders für die schweren Seltenen Erden. Auch kommen die Seltenen Erden stets in Gemeinschaft zueinander bzw. mit anderen Metallverbindungen vor und lassen sich nur aufwendig und kostenintensiv voneinander trennen.

Die Seltenerdmetalle sind sehr reaktionsfähig, fein pulverisiert sogar oft pyrophor. Sie glänzen an den frischen Schnittstellen silbrig, überziehen sich jedoch rasch mit einer Oxidschicht. In gepulvertem Zustand können Seltenerdmetalle viel Wasserstoff aufnehmen; insbesondere Lanthan zeichnet sich hier aus. Auch in anderer Hinsicht

zeigen die Seltenerdmetalle bemerkenswerte Eigenschaften: So weisen sie charakteristische Absorptionsspektren mit sehr scharfen Linien auf, und die dreiwertig positiven Ionen sind leuchtend farbig. Auch lassen sich die Seltenerdmetalle aufgrund paramagnetischer Momente gut magnetisieren, und einige von ihnen weisen grosse Neutroneneinfangquerschnitte auf, sie können also als Neutronenabsorber in Kernreaktoren eingesetzt werden. Schwache Säuren bewirken eine schnelle Auflösung der Seltenerdmetalle.

Die Seltenen Erden haben mit Ausnahme des Scandiums alle sehr ähnliche chemische Eigenschaften, was es lange Zeit schwierig machte, die Seltenerdmetalle in hochreiner Form herzustellen. Der Grund für die chemische Ähnlichkeit liegt in der Elektronenkonfiguration der Seltenen Erden. Bei den Lanthanoiden werden mit steigender Ordnungszahl die hinzukommenden Elektronen in die innere 4f-Schale eingefüllt, während die Besetzung der beiden äusseren Schalen unverändert bleibt. Die äusseren Schalen sind aber hauptsächlich für die chemischen Eigenschaften verantwortlich, daher die grosse Ähnlichkeit.^{1, 2, 3}

Irrungen und Wirrungen – die Entdeckungsgeschichte der Seltenen Erden

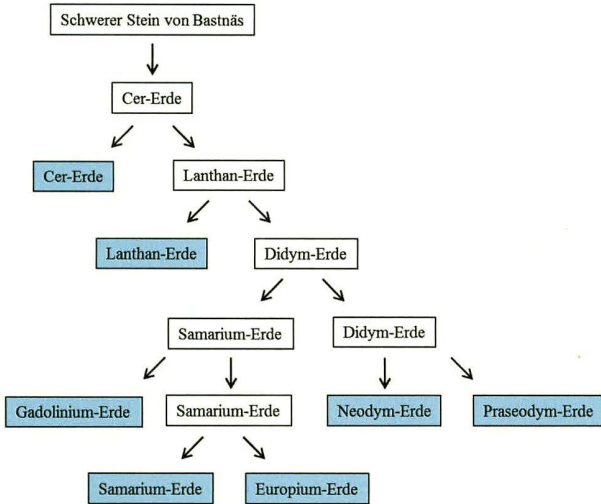
Die Geschichte der Seltenen Erden begann im späten 18. Jahrhundert. Der schwedische Chemiker Axel Cronstedt fand 1751 in der Bastnäs-Mine in Schweden einen schweren Stein, den er selber als «den schweren Stein von Bastnäs» bezeichnete. Auch der Mineraliensammler Carl Axel Arrhenius, ebenfalls Schwede, fand 1788 einen schweren Stein in der Mine Ytterby in der Nähe von Stockholm. In beiden Steinen vermutete man unbekannte Oxide, also Erden, sodass die Steine weiter untersucht wurden.

Aus dem schweren Stein von Bastnäs isolierten Martin Klaproth und Jons Berzelius 1804 unabhängig voneinander eine neue Erde, die sie «Cer-Erde» nannten. Ursprünglich hatten sie allerdings im Bastnäs-Mineral die wenige Jahre zuvor entdeckte «Ytter-Erde» vermutet. Carl Gustav Mosander, einem Assistenten von Klaproth, gelang es 1839, die «Cer-Erde» in zwei Fraktionen aufzutrennen. Eine davon war wirklich reines Ceroxid, die zweite Fraktion taufte er Lanthanerde. Mit viel Mühe trennte Mosander Letztere dann wieder in zwei Fraktionen auf, das reine Lanthanoxid und die Didym-Erde. Erst in den späten 70er-Jahren des 19. Jh. trennte Paul Émile (François) Lecoq de Boisbaudran aus Didym-Erde, die er aus dem Mineral Samarskit gewann, die Samarium-Erde ab. Die verbleibende Didym-Erde wiederum zerlegte Auer von Welsbach 1885 in reines Neodym- und Praseodymoxid.

Lecoq de Boisbaudran arbeitete währenddessen weiter an seiner Samarium-Erde, aus der er 1886 die Gadoliniumerde als Reinstoff abtrennte. Dieses Seltene-Erd-Oxid hatte

Seltene Erden

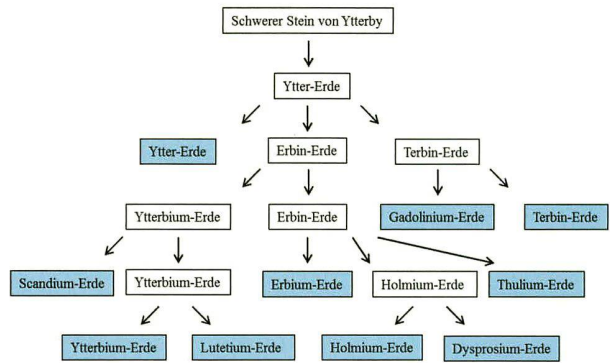
Vom Glühstrumpf zum weltweiten Zankapfel



Entdeckungsgeschichte der Seltenen Erden, ausgehend vom schweren Stein von Bastnäs (blau hinterlegte Kästchen stehen für die reinen Selten-Erd-Oxide).

(Grafik: C. Kolczewski)

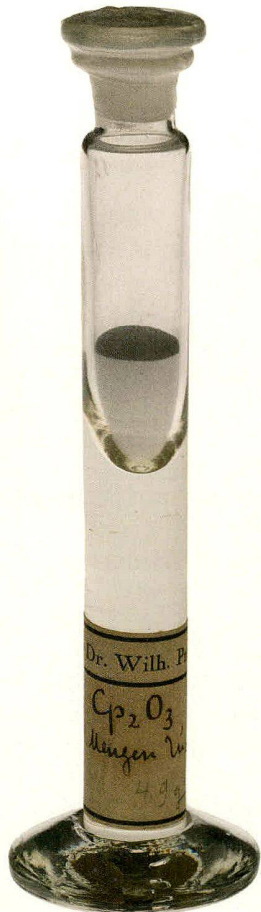
schon 1880 Jean-Charles Galissard de Marignac aus einem anderen Mineral isoliert. 1901 schliesslich isolierte Eugène-Anatole Demarçay Samarium- und Europiumoxid aus Lecoq de Boisbaudrans verbliebener Samarium-Erde. Den schweren Stein von Ytterby analysierte Johan Gadolin und fand 1794 heraus, dass er zu 38% aus einer neuen «Erde», die er Yttererde nannte, besteht. Anders Gustav Ekeberg trennte daraus Beryllium ab und behielt für den Rest den Namen Yttererde bei. Carl Gustav Mosander, der sich schon bei der Auftrennung der Cer-Erde einen Namen gemacht hatte, trennte aus der Ytter-Erde zwei weitere Fraktionen ab, die er Erbinerde und Terbinerde nannte. Mitte des 19. Jh. untersuchte Nils Johan Berlin erneut die Yttererde von Ekeberg, fand aber neben der verbleibenden Yttererde nur noch eine weitere neue Fraktion, eigentlich Mosanders Terbinerde. Er nannte sie aber jetzt Erbinerde. Marc Delafontaine fand einige Jahre später dann doch noch Mosanders dritte Fraktion; da sich aber mittlerweile Berlins Namensgebung durchgesetzt hatte, benannte er sie demzufolge Terbinerde. Jean-Charles Galissard de Marignac identifizierte dann 1880 in der Terbinerde von Delafontaine das Gadoliniumoxid, Georges Urbain isolierte schliesslich 1906 das reine Terbiumoxid. Berlins Erbinerde wurde ebenfalls von Marignac weiter untersucht, er trennte aus ihr 1878 die Ytterbiumerde ab. Schon ein Jahr später fand Per Theodor Cleve zwei weitere Erden in der Erbinerde und nannte sie Holmiumerde und Thuliumerde. Jacques-Louis Soret hatte kurz zuvor schon mit spektroskopischen Untersuchungen ein neues Element in der Erbinerde gefunden, das mit Cleves Holmium-



Entdeckungsgeschichte der Seltenen Erden, ausgehend vom schweren Stein von Ytterby (blau hinterlegte Kästchen stehen für die reinen Selten-Erd-Oxide).

(Grafik: C. Kolczewski)

erde identisch war. Lecoq de Boisbaudran trennte dann 1886 aus Cleves Holmiumerde noch reines Dysprosiumoxid ab, übrig blieb Holmiumoxid. Bleibt noch Marignacs Ytterbiumerde: Aus ihr trennte 1879 Lars Fredrik Nilson Scandiumoxid ab. In der verbliebenen Ytterbiumerde fand Carl Auervon Welsbach 1907 Ytterbiumoxid, das er Aldebaranerde nannte, und ein weiteres Elementoxid, das er Cassiopeium-Erde nannte. Nur wenig später im gleichen Jahr zerlegte auch Georges Urbain die Ytterbiumerde in zwei Fraktionen, die er aber Ytterbiumerde und Lutetiumerde benannte. Es folgte eine der längsten Prioritätsstreitigkeiten der Chemie. Schliesslich setzte sich Urbain mit seiner Namensgebung durch. Als Zeugnis dieser Streitigkeiten gibt es in der Sammlung des Deutschen Museums noch ein Probengläschen, das mit Cp_2O_3 für Cassiopeium-Oxid beschriftet ist. Aus der ursprünglichen «Cer-Erde» hatte man also im Laufe von über 100 Jahren sieben neue Elementoxide isoliert, aus der «Ytter-Erde» sogar neun. Es ist eine bemerkenswerte Leistung, diese Oxide durch nasschemische Verfahren relativ rein darzustellen und zu klassifizieren. Zumal die damaligen Chemiker weder wussten, wie viele Seltene Erden es überhaupt geben kann, noch eine Vorstellung davon hatten, nach welchen Kriterien sie die überaus ähnlichen Elemente voneinander trennen konnten. In der heutigen Zeit, wo die Chemie moderne Trennverfahren wie Ionentauscher oder Chromatographie kennt, bereitet die Trennung dieser Elemente voneinander keine grösseren Probleme mehr. Die letzte Seltene Erde konnte übrigens erst 1945 als Spaltprodukt des Urans entdeckt werden: das radioaktive Promethium. Allerdings wies bereits im Jahr 1902 Bohuslav Brauner darauf hin, dass zwischen Neodym und Samarium noch ein Element fehlen müsse.^{4, 2, 5, 6, 7}

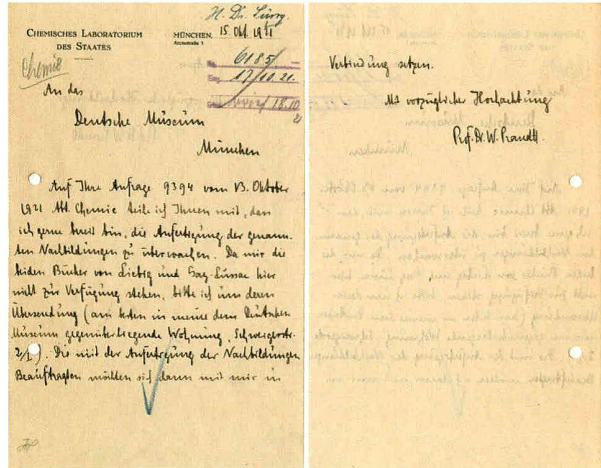


Probengläschen mit Lutetiumoxid, Beschriftung nach von Welsbach.

(Foto: Deutsches Museum)

Wilhelm Prandtl – ein Münchener «Pionier» der Seltenen Erden

Das Probengläschen aus unserer Sammlung trägt ein Etikett mit dem Namen «Prof. Wilhelm Prandtl». Wilhelm Prandtl war ein deutscher Chemiker, der 1878 in Hamburg geboren wurde und 1956 in München starb. Er arbeitete hauptsächlich auf dem Gebiet der Seltenen Erden. Die prinzipiell bekannten Verfahren zur Isolierung und Darstellung der Seltenen Erden wurden von ihm in jahrelanger mühevoller Arbeit verbessert, 1938 fasste er seine Ergebnisse in einem Übersichtsartikel zusammen.⁸ Die Verwendung seiner Präparate für Atomgewichtsbestimmungen von Otto Hönigschmid und den Spektralatlas von Pater Alois Gatterer im Vatikan unterstreicht eindrucksvoll deren hohe Reinheit.^{9, 8, 10, 11}

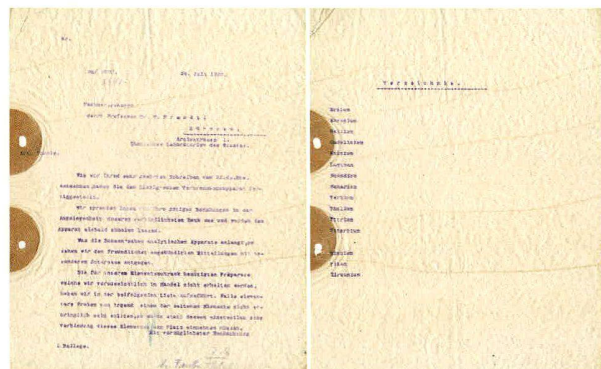


Brief von Wilhelm Prandtl an das Deutsche Museum, Verwaltungsakten VA 1275/1.

(Foto: Deutsches Museum)

Mit dem Deutschen Museum verband Wilhelm Prandtl ein reger Austausch. So überwachte er zum Beispiel die Anfertigung mehrerer Apparaturen nach historischem Vorbild für Ausstellungen des Museums, wie sich einem Brief an das Museum entnehmen lässt. Zitat: «... dass ich gerne bereit bin, die Anfertigungen der genannten Nachbildungen zu überwachen. Da mir die beiden Bücher von Liebig und Gay-Lussac hier nicht zur Verfügung stehen, bitte ich um deren Übersendung...».

Auch nach Proben der Seltenen Erden wurde damals vonseiten des Museums gefragt, Zitat: «...Die für unseren Elementeschrank benötigten Präparate, welche wir voraussichtlich nicht im Handel erhalten werden, haben wir in der beifolgenden Liste aufgeführt. Falls elementare Proben von irgend einem der seltenen Elemente nicht er-

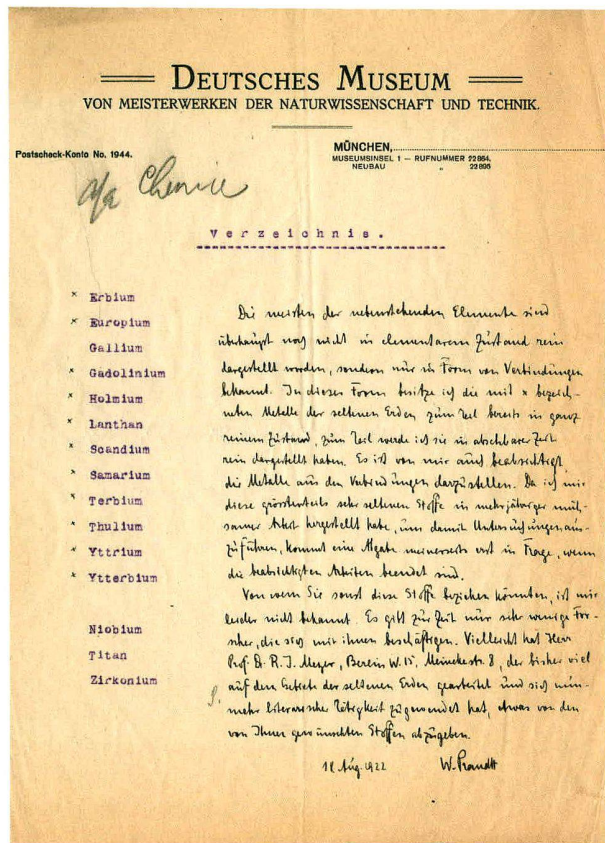


Anfrage nach Proben der Seltenen Erden vom Deutschen Museum an Wilhelm Prandtl, Verwaltungsakten VA 1277/3.

(Foto: Deutsches Museum)

Seltene Erden

Vom Glühstrumpf zum weltweiten Zankapfel



Antwort von Wilhelm Prandtl an das Deutsche Museum, Verwaltungsakten VA 1277/3.

(Foto: Deutsches Museum)

bringlich sein sollten, so würde statt dessen einstweilen eine Verbindung dieses Elementes den Platz einnehmen müssen.» In der beigelegten Liste waren 11 Seltene Erden aufgeführt. Leider hat Prandtl diese Bitte 1922 abgelehnt, Zitat: «...Die meisten der nebenstehenden Elemente sind überhaupt noch nicht in elementarem Zustand rein dargestellt worden, sondern nur in Form von Verbindungen bekannt. In dieser Form besitze ich die mit x bezeichneten Metalle der seltenen Erden zum Teil bereits in ganz reinem Zustand, zum Teil werde ich sie in absehbarer Zeit rein dargestellt haben. Es ist von mir aus beabsichtigt die Metalle aus den Verbindungen darzustellen. Da ich mir diese grösstenteils sehr seltenen Stoffe in mehrjähriger mühseliger Arbeit hergestellt habe, um damit Untersuchungen auszuführen, kommt eine Abgabe meinerseits erst in Frage, wenn die beabsichtigten Arbeiten beendet sind. Von wem sie sonst diese Stoffe beziehen könnten, ist mir leider nicht bekannt.» Ein Kreuzchen ist neben allen Seltenen Erden auf der vom Deutschen Museum übersendeten Liste. Allerdings haben wir eine gewisse Anzahl von Proben der Oxide der Seltenen Erdmetalle in unserer Sammlung, auf



Probengläschen mit Lanthan-, Gadolinium- und Praseodymoxid.

(Foto: Deutsches Museum)

deren Etikett der Name «Prof. Dr. Wilh. Prandtl» vermerkt ist, sowohl mit Verunreinigungen als auch in Reinstform. Auch farbige Salzlösungen einiger Seltenen Erden sind im Besitz des Deutschen Museums. Leider ist die Herkunft der Proben nicht eindeutig. Nachforschungen haben ergeben, dass die Proben dem Deutschen Museum wahrscheinlich von Herrn Prof. Weigel überlassen wurden, der zusammen mit Prandtl ein Labor an der damaligen Universität München hatte. Es war zu dieser Zeit durchaus üblich, dass die Professoren eigene Etiketten für ihre Präparate hatten, diese aber auch an ihre Mitarbeiter im Arbeitskreis weitergegeben haben. Es ist also mit einiger Wahrscheinlichkeit anzunehmen, dass unsere Proben von Prandtl selbst oder aus seiner Arbeitsgruppe stammen.

In Spuren überall – Vorkommen der Seltenen Erden

Seltene Erden sind längst nicht so selten, wie der Name vermuten lässt. Wichtige Selten-Erd-Mineralien sind Bastnätit, Monazit, Xenotim, Gadolinit und Thorveitit, die man auf der ganzen Welt verteilt findet.^{12,13,14} Problematisch ist, dass es nur wenige angereicherte Lagerstätten gibt, die einen gewinnbringenden Abbau ermöglichen. Ausserdem besteht bei der Gewinnung von Seltenen Erden aus Monazit die Gefahr der Freisetzung radioaktiver Stoffe.¹⁵ Auch kommen die Seltenen Erden stets gemeinsam vor, was die Auftrennung und Reinigung zusätzlich erschwert. Das Verhältnis der Elemente der Seltenen Erden im Erz ist charakteristisch für den jeweiligen Fundort und passt häufig nicht zu dem tatsächlichen technischen Bedarf an den jeweiligen Metallen. Deshalb können Hersteller gezwungen sein,



Probengläschen mit Cerdioryd, Lanthan- und Samarium-oxid in Reinstform.

(Foto: Deutsches Museum)



Salzlösungen verschiedener Seltener Erden.

(Foto: Deutsches Museum)

beträchtliche Mengen weniger lukrativer Seltener Erden zu gewinnen, um die gewünschte Menge begehrter Metalle herstellen zu können.

Die weltweiten Vorräte in den wirtschaftlich nutzbaren Lagerstätten wurden im Jahr 2009 auf knapp 100 Millionen Tonnen Selten-Erd-Metalloxide geschätzt. Hiervon verfügt China nach Schätzungen über ein knappes Drittel. Weitere Vorkommen liegen in den USA, Brasilien, Kanada, Indien, Russland, Vietnam, Schweden und Australien.¹⁶

China hat jedoch 2009 ungefähr 97% der Weltjahresproduktion an Selten-Erd-Metalloxiden abgebaut.^{16,17} Vor einigen Jahren war das noch anders. 1990 stammte das Gros der weltweiten Seltenen-Erden-Produktion aus dem Bergwerk Mountain Pass in der kalifornischen Mojave-Wüste. Die Mine wurde 2002 stillgelegt, nachdem sie sich aufgrund von schärferen Umweltauflagen nach einem schweren Unfall im Jahr 1998 nicht mehr rentierte. Aus undichten Auffangbecken waren rund eine Milliarde Liter an Abwässern ausgelaufen. Die radioaktiv und chemisch belastete Flüssigkeit lief in einen ausgetrockneten Salzsee am Rand eines Nationalparks. Die Produktion konzentrierte sich daraufhin auf China, das die Seltenen Erden verhältnismässig günstig auf dem Weltmarkt anbieten konnte, auch wegen geringerer Lohnkosten und Umweltschutzaufgaben. Daher fehlte andernorts die Motivation von Investoren, neue Ressourcen zu erschliessen.^{18, 19, 20}

Während die Preise für die leichten Seltenen Erden von 2004 bis 2007 gesunken sind, haben die Preise für Europium, Terbium, Dysprosium, Neodym und Praseodym, die für Leuchtmittel und Permanentmagnete benötigt werden, einen Preisanstieg erlebt. Ab 2007 sind die Preise für na-

hezu alle Seltenen Erden stark gestiegen, bis sie seit der Weltwirtschaftskrise im 2. Halbjahr 2008 für alle Erden unterschiedlich stark gesunken sind. Als Reaktion darauf haben die staatlichen Planer in China die Produktion zurückgefahren. Besonders die schweren Seltenen Erden haben sich deshalb seit 2011 wieder erheblich verteuert, Preissteigerungen um das bis zu Achtfache in einem Jahr sind vorgekommen.²¹ Erst im August 2011 erfolgte ein Rückgang,²² der sich im Jahr 2012 fortsetzte. Vermutlich ist die Nachfrage nach Seltenen Erden aufgrund der wirtschaftlichen Probleme in Teilen der Welt zurückgegangen; China hat darauf wiederum mit einer Senkung der Produktionskapazitäten reagiert.^{23, 24} Für die Zeit nach 2012 sagt die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in einer Studie zu den Seltenen Erden ein grösseres Defizit voraus; dessen Zitat: «...Deckung derzeit nicht absehbar ist und von der Entwicklung weiterer Explorationsprojekte abhängt.»²⁵

Unverzichtbar – Verwendung der Seltenen Erden

Der prophezeite Engpass an Seltenen Erden kann zum Problem werden, da sie mittlerweile zur Herstellung zahlreicher High-Tech-Produkte sowohl im alltäglichen Bereich (Handys, Kopfhörer, TV-Bildschirme) als auch im industriellen Bereich (Elektroautos, Solarzellen, Windräder) gebraucht werden. So werden zum Beispiel im Hybrid-PKW Prius von Toyota ein Kilogramm Neodym und rund zehn Kilogramm Lanthan verbaut – unter anderem im Motor.^{26, 27} Ausserdem werden Seltene Erden in Polituren, Spezialgläsern, Keramiken, Energiesparlampen, Festplatten von

Seltene Erden

Vom Glühstrumpf zum weltweiten Zankapfel

Computern und sogar in Elektroden von Festoxid-Brennstoffzellen eingesetzt. Gadolinium wird als Kontrastmittel bei der Magnet-Resonanz-Tomographie verwendet.^{28,16} Die Seltenen Erden werden in all diesen Anwendungen zwar in relativ geringen Mengen eingesetzt, sind aber unverzichtbar. Man bezeichnet sie deswegen auch als Gewürzmetalle. Ein Rohstoffengpass hätte also weitreichende wirtschaftliche Auswirkungen.

Die wirtschaftliche Bedeutung der Seltenen Erden war aber nicht immer so enorm. Zu Anfang ihrer Entdeckung war die Forschung auf diesem Gebiet reine Grundlagenforschung, eine Anwendung für diese Elemente gab es nicht. Das änderte sich mit dem österreichischen Chemiker Carl Auer von Welsbach. Er hatte sich bereits mit der Entdeckung und Isolierung u. a. von Neodym und Praseodym einen Namen gemacht – und das im Alter von gerade mal 27 Jahren. Inspiriert von seinem Doktorvater Robert Bunsen, beschäftigte er sich aber nicht nur mit den Seltenen Erden, sondern auch mit Licht – sein Lebensmotto war «Plus Lucis – Mehr Licht.»²⁹ Zu seiner Zeit suchte man händelnd nach einer billigen, haltbaren und ungefährlichen Beleuchtungsmöglichkeit, sowohl im Privathaushalt als auch für die Industrie. Zwar gab es in den späten 1880er-Jahren auch schon die ersten Kohlefadenglühlampen, doch sie waren sehr empfindlich und extrem teuer. Daher brannte in vielen Wohnungen neben Kerzen und Petroleumlampe noch die Gasbeleuchtung, eine kleine Gasflamme, der Acetylen beigemischt wurde, damit sie hellgelb leuchtete. Dies führte allerdings zu starker Russbildung, und die offenen Gasflammen verursachten häufig Brände.³⁰

Auer suchte nach einer Lösung für dieses Problem. Dabei kam ihm zugute, dass er bei Bunsen gelernt hatte, dass die im Bunsen-Brenner erhitzten Oxide der Seltenen Erden ein auffallendes Lichtemissionsvermögen zeigten. Auer tränkte ein Baumwollgewebe mit Selten-Erd-Nitrat und versuchte dieses dann zu einem Oxidskelett: Der Glühstrumpf war geboren. Beste Lichtausbeute erhielt er mit einer Mischung aus Lanthanoxid und Zirkonoxid, die Auer «Actinophor» nannte und 1886 patentierte.²⁹ Seine erste Fabrik musste er allerdings nach zwei Jahren wieder schliessen, da die Glühstrümpfe zu empfindlich und zu teuer waren und das Licht eine unschöne Grünfärbung zeigte. Doch er liess sich nicht entmutigen und fand schliesslich eine Mischung aus 99 % Thorium und 1 % Cer, die zu einem weltweiten Erfolg wurde.²⁹ Auer war also der Erste, der eine industrielle Anwendung der Seltenen Erden entwickelte: das Auerlicht. Auch heute noch werden Glühstrümpfe dort zu Beleuchtungszwecken eingesetzt, wo kein elektrischer Strom zur Verfügung steht, z. B. beim Camping. Statt des radioaktiven Thoriums wird heute oft Yttrium verwendet.

Carl Auer von Welsbach entwickelte aber noch eine weitere Anwendung der Seltenen Erden: das Auermetall. Hier-

bei handelt es sich um eine Legierung von geschmolzenem Cer mit Eisen, die weltweiten Einsatz als Zündstein in Feuerzeugen mit Reibrad fand und findet. Quasi nebenbei hat Auer von Welsbach so auch eine Verwendung für das massenhaft aus der Thoriumverarbeitung anfallende Cer gefunden, das für die Glühstrümpfe nur in kleiner Menge gebraucht wurde.^{29, 30} Auer verbesserte ausserdem die Kohlefadenlampe von Edison: Statt der zerbrechlichen Kohlefäden setzte er robustere Metallfäden wie Osmium ein. Möglich wurde das, weil Auer herausfand, wie man hoch schmelzende Metalle zu dünnen Fäden verarbeiten konnte.³⁰

Ausgehend von diesen ersten Anwendungen, setzten sich die Seltenen Erden langsam, aber sicher auch in vielen anderen Bereichen durch. In der Metallurgie werden sie zur Härtung von Gusseisen eingesetzt, in der Petrochemie als Katalysator zum Cracken von Erdöl und zum Polieren und Färben von Gläsern und Keramiken.¹⁶ Speziell Lanthan kommt im Bereich der optischen Gläser eine grosse Bedeutung zu, da Lanthanglas eine grosse Brechzahl und kleine Dispersion besitzt, was wichtig ist zur Korrektur von Abbildungsfehlern, insbesondere bei hochspezialisierten Anwendungen. Die beiden Mars-Rover Spirit und Opportunity besaßen z. B. Objektive mit Lanthanglas-Linsen.^{28, 31} Heute steigt der weltweite Verbrauch an Seltenen Erden von Jahr zu Jahr an. 2008 teilte er sich wie folgt auf: China 60 %, Japan 19 %, USA 15 % und andere 6 %.²⁸

Dreckig, staubig, ätzend – Förderung der Seltenen Erden

Der ständig steigende Rohstoffpreis und die starke Abhängigkeit westlicher Industrien von China sind nicht die einzigen Probleme in Bezug auf die Seltenen Erden. Die Förderung der Oxide, meist im Tagebau, hat grossen Einfluss auf die Umwelt. Neben den Tagebaukratern von teils immensen Ausmassen werden zur Auftrennung und Reinigung der Seltenen Erden ätzende und giftige Chemikalien benötigt. Zusätzlich besteht zumindest beim Abbau von Monazit grosse Gefahr, dass auch radioaktives Thorium freigesetzt wird.^{32, 33}

Ein Beispiel: In Chinas grösstem Bergwerk, der staatlichen Mine Bayan Obo in der Inneren Mongolei, arbeiten bis zu 6000 Menschen. Hier werden neben Eisenerz siebzig weitere Stoffe gefördert, auch die Seltenen Erden. Satellitenbilder zeigen Tagebaukrater, die sich kilometertief in die Erde schrauben. Die geförderten Erze werden mit Schwefelsäure, Nitratsalzen und anderen ätzenden Chemikalien ausgewaschen, das anfallende Abwasser wird in einen riesigen künstlichen See gepumpt, der mittlerweile 12 km lang ist. Vermutlich sind in diesem See neben den verwendeten Chemikalien auch Tonnen an radioaktivem Thorium zu finden. Seit Mitte der 1990er-Jahre traten in den Dörfern der Umgebung vermehrt Krebsfälle auf, bei

den Tieren wurden gehäuft schwere Missbildungen beobachtet.³⁴ Erst in den letzten Jahren siedelte die chinesische Regierung einige der Dörfer um.

Auch die Arbeitsbedingungen in der Mine sind sehr problematisch. Die Minenarbeiter sind giftigen Stäuben ausgesetzt, die unter anderem radioaktives Thorium enthalten. Studien haben nachgewiesen, dass tödliche Lungenkrebs-erkrankungen bei den Minenarbeitern deutlich häufiger auftraten als bei Arbeitern, die den Stäuben nicht ausgesetzt waren.³⁴

China begründet seine aktuellen Exportbeschränkungen mit einer Verbesserung der Umweltschutzaufgaben und der Arbeitsbedingungen in den staatlichen Minen. Auch wird vermehrt gegen illegale Minen im Süden Chinas vorgegangen, in denen unter katastrophalen Bedingungen vor allem die schweren Seltenen Erden abgebaut werden.^{22, 32, 35}

Wege aus der Krise – Neue Förderstandorte und Recycling?

Einen möglichen Ausweg aus der drohenden Knappheit bieten die Erkundung und Erschließung neuer Vorkommen oder auch die Wiederinbetriebnahme von wegen Unrentabilität geschlossener Minen. Gegenwärtige grössere Projekte sind zum Beispiel die Wiederaufnahme der Produktion in Mountain Pass in den USA und die Förderung in der Mine Mount Weld in Australien. Die Fördermengen sind und werden in den nächsten Jahren allerdings noch vergleichsweise gering sein. Die Inhaber der Förderlizenzen beider Projekte müssen strenge Umweltschutzaufgaben erfüllen. Die chemische Weiterverarbeitung der in Australien geförderten Erze findet in Malaysia statt. Allerdings gibt es in Malaysia mittlerweile Proteste aus der Bevölkerung gegen die geplante Selten-Erden-Raffinerie, eine vorläufige Betriebserlaubnis wurde im September 2012 erteilt.^{32, 25, 21}

Grönland besitzt das drittgrösste Seltene-Erden-Vorkommen der Welt, eine Förderung findet hier allerdings noch nicht statt. Die Vorkommen liegen meist unter Gletschern oder Inlandeis, sind radioaktiv oder nicht an die Infrastruktur angebunden.³⁶

Deutschland hat mit der Mongolei und mit Kasachstan mittlerweile eine Rohstoffpartnerschaft abgeschlossen, bei der es auch um Seltene Erden geht. Die Bundesrepublik verpflichtet sich dabei, im Partnerland die rohstoffverarbeitende Industrie zu fördern und ein besseres Rohstoffmanagement zu unterstützen. Im Gegenzug erhält Deutschland dafür faire Investitionsmöglichkeiten.^{37, 38, 39} Auch in Deutschland selbst gibt es Lagerstätten mit Seltenen Erden, zum Beispiel in Storkwitz in Nordsachsen. Sie wurde zufällig zu DDR-Zeiten entdeckt, aber nie genutzt. Geschätzt wird die Lagerstätte auf 38000 Tonnen. Ob sich

der Abbau lohnt, wird mittlerweile mit Probebohrungen untersucht.⁴⁰

Die genannten Vorkommen beziehen sich fast ausschliesslich auf die leichten Seltenen Erden, die schweren Seltenen Erden kommen hauptsächlich im Süden Chinas vor. Hier sind neue Förderstandorte zumindest in naher Zukunft kein Ausweg aus dem zu erwartenden Rohstoffengpass.²² Ein anderer möglicher Ausweg aus dem drohenden Engpass ist die Substitution der Seltenen Erden durch andere Materialien oder das Recycling von Seltenen Erden. Die Substitution ist allerdings schwierig. Die Seltenen Erden sind gerade wegen ihrer einzigartigen physikalischen und chemischen Eigenschaften gefragt und lassen sich oft nur durch andere, ebenfalls seltene Metalle ersetzen. Damit bessert sich die Lage aber nicht. Aktuelle Forschungen konzentrieren sich z.B. auf Elektromotoren (Ersatz der Eisen-Bor-Neodym-Magnete durch Ferrit-Magnete) oder Hybridfahrzeuge (Li-Ionen-Batterien statt NiMH-Batterien).³³ Auch das Recycling von Seltenen Erden steckt noch in den Kinderschuhen. Es gibt Anstrengungen, Neodym aus Magneten zurückzugewinnen und den Seltenen-Erden-Anteil aus den beim Energiesparlampen-Recycling anfallenden Leuchtstoffen wiederzugewinnen.^{41, 16} Die meist nur geringen Mengen an Seltenen Erden erfordern jedoch oft eine aufwendige Demontage, komplexe chemische Reaktionen oder eine teure Anlagentechnik.³³

Und in Zukunft?

Obwohl es weltweit verteilte Vorkommen an Seltenen Erden gibt, ist die heutige Konzentration der Produktion auf China wirtschaftlich sehr problematisch. Sie wurde zumindest teilweise auch selbstverschuldet geschaffen: Bedingt durch steigende Umweltschutzmassnahmen und teure Arbeitnehmer, wurde der Abbau von Seltenen Erden weltweit unrentabel, Minen wurden geschlossen und der Markt China überlassen. Die daraus resultierende Abhängigkeit, die durch hohe Explorationskosten, fehlendes Recycling, fehlende Substituierbarkeit und die Bedeutung der Seltenen Erden für Zukunftstechnologien noch verstärkt wird, wurde zu spät erkannt.

Das begrenzte Angebot an Seltenen Erden (und anderen seltenen Metallen) erfordert einen nachhaltigen Umgang mit diesen Materialien. Die vorhandenen Rohstoffmengen müssen optimal genutzt werden. Hierzu müssen auch Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten gezielt verstärkt werden, um geeignete Recycling- und Substitutionssysteme zu entwickeln. Beim Recycling sind besonders Konsumgüter wie Elektro- und Elektronikgeräte zu berücksichtigen. Substitutionsmöglichkeiten müssen für Bereiche erforscht werden, die nur wenig Potenzial für Recycling bieten. Besonderes Augenmerk muss auch auf die gesellschaftspolitischen und sozialen Aspekte des Abbaus

Seltene Erden

Vom Glühstrumpf zum weltweiten Zankapfel

und der Verteilung der Rohstoffe gelegt werden. Die Chancen und Belastungen durch den Rohstoffabbau müssen gerecht verteilt sein.



Dr. Christine Kolczewski

Seit 2013 Kuratorin für Nano- und Biowissenschaften im Deutschen Museum, München. Von 2008 bis 2012 wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Abteilung Chemie, davor wissenschaftliches Volontariat in der Abteilung Keramik im Deutschen Museum. Promotion an der Ruhr-Universität Bochum in Theoretischer Chemie. Forschungsaufenthalte an der Universität Stockholm und dem Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft, Berlin.

- ¹ A. F. Hollemann und N. Wiberg: Lehrbuch der Anorganischen Chemie. Berlin, New York 2007.
- ² F. Habashi: Researches on Rare Earths: History and Technology. Quebec 2008.
- ³ Römpp Online, Version 3.28, Seltenerdmetalle, 2012.
- ⁴ R. C. Böhm: Die Geschichte der Entdeckung der seltenen Erden. Die chemische Industrie, 29., Nr. 7/8, 1906.
- ⁵ N. E. Holden: History of the Origin of the Chemical Elements and Their Discoverers. In: 41st IUPAC General Assembly, Brisbane 2001.
- ⁶ H. H. Binder: Lexikon der chemischen Elemente. Stuttgart 1999.
- ⁷ E. Greinacher: History of Rare Earth Applications, Rare Earth Market today. In: Industrial Applications of Rare Earth Elements. Washington 1981.
- ⁸ W. Prandtl: Erfahrungen bei der Darstellung der seltenen Erden. Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie 238, pp. 321–334, 1938.
- ⁹ R. E. Oesper: Wilhelm Prandtl. Journal of Chemical Education 26 (8), pp. 389–399, 1949.
- ¹⁰ W. Prandtl und K. Schreiner: Über die Adsorptionsspektren der seltenen Erden. Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie 220, pp. 107–112, 1934.
- ¹¹ C. Priesner: Prandtl, Wilhelm Antonin Alexander. In: Neue Deutsche Biographie 20, 2001, pp. 672–673.
- ¹² K. Reinhardt: Seltene Erden. Chemie in unserer Zeit 18 (1), pp. 24–34, 1984.
- ¹³ Öko-Institut e.V.: Seltene Erden – Daten & Fakten. Berlin 2011.
- ¹⁴ W. Bernhardt: Seltene Erden – Werkstoffe mit Zukunft! Newsletter der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde e.V., 2011.
- ¹⁵ G. Angerer, L. Erdmann, F. Marscheider-Weidemann, M. Scharp, Lüllmann, A., V. Handke und M. Marwede: Rohstoffe für Zukunftstechnologien, Stuttgart 2009.
- ¹⁶ M. Kersten: Seltene Erden. In: Wissenschaftliche Dienste, Deutscher Bundestag Nr. 89/10, 2010.
- ¹⁷ P. A. Wäger und D. J. Lang: Seltene Metalle. In: SATW Schrift Nr. 41, Zürich 2010.

- ¹⁸ L. Margonelli: Clean Energy's Dirty Little Secret. The Atlantic, 2009.
- ¹⁹ K. Otzen: Seltene Erden wirbeln die Finanzwelt durcheinander. VDI Nachrichten Nr. 4, 2011.
- ²⁰ C. Siedenbiedel: Cerium – den Namen muss man sich merken. Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung, p. 55, 2012.
- ²¹ D. Lohmann und N. Podbregar: Im Fokus: Bodenschätze: Die Jagd nach Seltenen Erden und anderen Rohstoffen. Berlin Heidelberg 2012.
- ²² H. Elsner: Kritische Versorgungslage mit schweren Seltenen Erden – Entwicklung «Grüner Technologien» gefährdet? Hannover 2011.
- ²³ Preissturz bei Seltene Erden. Der Spiegel 33, p. 82, 13. August 2012.
- ²⁴ K. Dämon: Korrektur bei Seltenen Erden vor dem Ende. Wirtschaftswoche, 21. August 2012.
- ²⁵ M. Liedtke und H. Elsner: Seltene Erden. Hannover 2009.
- ²⁶ T. Folger: Die geheimen Zutaten zu allem. National-Geographics-Heft 7, 2011.
- ²⁷ S. Schäfer und M. Richter: Seltene Erden, aber überall drin. Financial Times Deutschland, 2010.
- ²⁸ S. Waltritsch: Die Seltenen Erden und ihre Anwendungen. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, 155. Jg., Heft 1, pp. 17–19, 2010.
- ²⁹ E. Baumgartner: Carl Auer von Welsbach: A Pioneer in the industrial Application of rare earths. In: Episodes from the History of the rare earth elements, Dordrecht / Boston / London 1996, pp. 113–129.
- ³⁰ P. Unfried: ...und es ward Auer-Licht. PLUS LUCIS 1–2, pp. 51–53, 2008.
- ³¹ G. Hallock Smith, E. C. Hagerott, L. M. Scherr, K. E. Herkenhoff und J. F. Bell III: Optical Designs for the Mars .03 Rover Cameras, 2001.
- ³² H. Nordwig: Hightech-Metalle aus schmutzigen Minen, 2011.
- ³³ D. Schüler, M. Buchert, R. Liu, C. Merz und S. Dittrich: Seltene Erden und ihr Recycling, 2011.
- ³⁴ H. Bork: Chinas Kokain. Süddeutsche Zeitung, p. 28, 2010.
- ³⁵ C. Seidler: Wo die Seltenen Erden wohnen, 2012.
- ³⁶ M. Ertel: Träume im Eismeer. Der Spiegel 45, p. 105, 2012.
- ³⁷ A. Dahlmann und S.-A. Mildner: Rohstoffpartnerschaften: Kein Garant für Versorgungssicherheit und Entwicklung, 2012.
- ³⁸ T. Ludwig und F. Mayer-Kuckuk: EU stützt USA im Rohstoff-Streit mit China. Handelsblatt, 2012.
- ³⁹ S. Kinkartz: Seltene Erden aus Kasachstan, 2012.
- ⁴⁰ C. Seidler: Suche nach dem Schatz von Storkwitz, 2012.
- ⁴¹ H. Tabuchi: Japan recycles minerals from used electronics. The New York Times, 2010.