

10.5 Metalle der seltenen Erden – das Öl der Zukunft

Metalle der seltenen Erden¹ in der Weltwirtschaft

Die Firma Tradium GmbH (Frankfurt am Main) weist in ihrem Bericht für das Jahr 2016 mit der Überschrift «seltene Erden – das Öl der Zukunft» auf Metalle hin, die eine enorme Bedeutung für die Schlüsselindustrien heute und in der Zukunft haben. Aufsehen erregten diese Elemente in der Weltpresse schon im Jahr 2010, als bekannt wurde, dass China seine Exporte dieser Metalle massiv zurückfahren wollte. Für 2011 legte das Land die Exportquote für die leichten seltenen Erden Neodym, Lanthan, Cer und Europium auf 35 000 Tonnen fest, und für die schweren seltenen Erden Yttrium, Thulium und Terbium galt ein vollständiges Exportverbot (Chinas Exporte 2010: 130 000 Tonnen).

«Spiegel online» berichtete in diesem Zusammenhang (21.10.2010), dass verschiedenen Firmen die Vorräte an seltenen Erden ausgingen; von einer Versorgungskrise war die Rede. Die Preise für einige Elemente stiegen um das Siebenfache.

Parallel dazu beabsichtigte China, die Ausfuhrzölle stark zu erhöhen. Da das Land praktisch ein Monopol auf die seltenen Erden besitzt, erhoben die USA mit der EU und Japan Klage bei der WTO (World Trade Organization), die die Exportbeschränkungen als unzulässig erklärte. China hob sie schliesslich auf. Heute (2015) beliefert das Land den Weltmarkt mit rund 95 Prozent der gehandelten seltenen Erden und besitzt rund 30 Prozent der Weltreserven.

Die Versorgungsengpässe führten dazu, dass Bergbaukonzerne begannen, die Förderung von seltenen Erden in verschiedenen Erdteilen zu verstärken. Neue Minen wurden und werden erschlossen, alte reaktiviert (bis 1990 waren die USA das Hauptförderland). Ausserdem werden die Anstrengungen zur Rezyklierung der kostbaren Rohstoffe intensiviert. Auf dem Kvanefeld (Grönland) z. B. hofft man, bis zu 23 000 Tonnen pro Jahr an seltenen Erden fördern zu können. Als «Nebenprodukte» sind aus diesem Feld Zink und Uran in bedeutenden Mengen zu erwarten.

Wie sieht die Weltproduktion heute aus? Im Jahr 2014 wurden 90 500 Tonnen an seltenen Erden gefördert, ein Drittel weniger als im Rekordjahr 2009 (knapp 133 500 Tonnen). Die Industrie findet laufend Ersatzstoffe, und damit sinken auch die Preise. Neue Förderstandorte haben es deshalb schwer, ihre Produktion massiv zu erhöhen.² Trotzdem geht man davon aus, dass die Nachfrage nach den seltenen Erden weiter steigen und China seine Monopolstellung auf längere Zeit behalten wird. Diese Situation nahm der chinesische Staatsmann Deng Xiaoping schon 1972 vorweg: «Der Nahe Osten hat sein Öl, wir haben die seltenen Erden.»

Wie wird die Zukunft der seltenen Erden beurteilt? Stimmen aus der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR; Hannover, Berlin) sprechen von derzeit bekannten Reserven, die bei der gegenwärtigen Produktion noch etwa

1 Die Metalle der seltenen Erden werden oft als «Seltenerdmetalle» oder auch einfach als «seltene Erden» bezeichnet. In diesem Abschnitt werden alle drei Bezeichnungen verwendet.

2 Spiegel online, 12.3.2014.

285 Jahre reichen werden. Die identifizierten, aber noch nicht ausreichend erforschten Mengen würden die Versorgung sogar für fast 3400 Jahre sicherstellen.³

Was aber sind die seltenen Erden genau, und welche Metalle zählen dazu?

Aus chemischer Sicht gehören zu den seltenen Erden die Lanthaniden und die Actiniden, also insgesamt 30 Metalle mit den Protonenzahlen 57 bis 71 bzw. 89 bis 103. In der internationalen Industrie beschränkt man sich jedoch auf 17 Elemente, die seltenen Erden im engeren Sinn: Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu; Scandium ($A = 21$) und Yttrium ($A = 39$), die weder zu den Lanthaniden noch zu den Actiniden gehören, haben ähnliche Eigenschaften wie die seltenen Erden. Aus diesem Grund zählt man sie zu dieser Elementgruppe.

Periode	Hauptgruppen																Hauptgruppen															
	I A		II A														III A		IV A	V A	VI A	VII A	VIII A									
1	1H																							2He								
2	3Li	4Be															5B	6C	7N	8O	9F	10Ne										
3	11Na	12Mg															13Al	14Si	15P	16S	17Cl	18Ar										
4	19K	20Ca	21Sc														Nebengruppen															
																	IV B	V B	VI B	VII B	VIII	VIII	I B	II B								
																	22Ti	23V	24Cr	25Mn	26Fe	27Co	28Ni	29Cu	30Zn	31Ga	32Ge	33As	34Se	35Br	36Kr	
5	37Rb	38Sr	39Y														40Zr	41Nb	42Mo	43Tc	44Ru	45Rh	46Pd	47Ag	48Cd	49In	50Sn	51Sb	52Te	53I	54Xe	
	Lanthaniden und Actiniden																															
6	55Cs	56Ba	57La	58Ce	59Pr	60Nd	61Pm	62Sm	63Eu	64Gd	65Tb	66Dy	67Ho	68Er	69Tm	70Yb	71Lu	72Hf	73Ta	74W	75Re	76Os	77Ir	78Pt	79Au	80Hg	81Tl	82Pb	83Bi	84Po	85At	86Rn
7	87Fr	88Ra	89Ac	90Th	91Pa	92U	93Np	94Pu	95Am	96Cm	97Bk	98Cf	99Es	100Fm	101Md	102No	103Lr	104Rf	105Db	106Sg	107Bh	108Hs	109Mt	110Ds	111Rg	112Cn	113Uut	114Fl	115Uup	116Lv	117Uus	118Uuo

Abb. 10.13 Stellung der Metalle der seltenen Erden (im engeren Sinn) im Periodensystem

Name und Eigenschaften der Metalle der seltenen Erden

Zur Zeit ihrer Entdeckung fand man die Metalle in seltenen Mineralien und gewann sie aus ihren Oxiden, die früher als Erden bezeichnet wurden. Daraus ergab sich dann der Name «Metalle der seltenen Erden». In Tat und Wahrheit sind diese Elemente gar nicht so selten, wie es der Name suggeriert. Zum Teil sind sie sogar häufiger in der Erdkruste vorhanden als z. B. Blei. Thulium, das seltenste Metall der Gruppe, findet man häufiger als Gold oder Platin.

3 Spiegel online, 12.3.2014.

Oft werden die Metalle der seltenen Erden in leichte und schwere Elemente eingeteilt, da die Nachfrage nach ihnen entsprechend dieser Einteilung unterschiedlich gross ist. So hat China, wie bereits weiter oben angeführt, für 2011 ein totales Exportverbot für die schweren Elemente Yttrium, Thulium und Terbium erlassen.

Leichte Seltenerdmetalle:

Sc, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu

Schwere Seltenerdmetalle:

Y, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu

Gewinnung der Metalle der seltenen Erden

Die Metalle der seltenen Erden gewinnt man vor allem durch Schmelzelektrolyse (Abschnitt 9.5) der Chloride bzw. der Fluoride, die bei der Erzaufbereitung entstehen. Die Trennung in die einzelnen Metalle ist aufwendig, da ihre chemischen Eigenschaften sehr ähnlich sind. Dies hängt damit zusammen, dass sich die Atome dieser Elemente hinsichtlich der Anzahl Elektronen erst auf den inneren Schalen unterscheiden. Valenzschale und vorletzte Schale besitzen je 2 bzw. 9 Elektronen (Abschnitt 4.3). Die chemischen Eigenschaften sind sogar so ähnlich, dass man jahrelang Mischungen von Seltenerdmetallen als reine Elemente betrachtete. Bei den Nebengruppenelementen sowie den Lanthaniden und Actiniden können auch Elektronen innerer Schalen an chemischen Reaktionen teilnehmen.

Die Salze der Seltenerdmetalle sind unterschiedlich löslich in Wasser und Öl, die selber ja nicht miteinander mischbar sind. Dies macht man sich zunutze, um die Metalle einzeln aus einer Mischung zu extrahieren. In einer Gegenstrom-Lösemittelextraktion (Wasser/Öl) lassen sich die Seltenerdmetalle heute auf recht einfache Weise rein gewinnen.

Tabelle 10.5 Elektronenkonfiguration der Atome Sc, Y, Eu, Tm

Schale	1	2	3	4	5	6
Sc(21)	2	8	9	2		
Y(39)	2	8	18	9	2	
Eu(63)	2	8	18	24	9	2
Tm(69)	2	8	18	30	9	2

Seltenerdmetalle zeigen eine silbrige Farbe und reagieren sehr rasch an der Luft mit Sauerstoff zu gelben bis grauen Oxidschichten.

Beispiele⁴

Erbium (Er, 68)

An der Luft überzieht sich das Metall sehr rasch mit einer grauen Oxidschicht und ist dann geschützt. Bei höheren Temperaturen verbrennt es zu Erbiumtrioxid, Er_2O_3 , und die Reaktion mit Wasser führt zu Wasserstoff und Erbium(III)-hydroxid, $\text{Er}(\text{OH})_3$.

⁴ Vorlage für die aufgeführten Beispiele: Gray, Th.: Die Elemente, Bausteine unserer Welt. KOMET Verlag. Köln. 2010.

Zur Informationsübertragung verwendet man heute immer häufiger Glasfaserkabel. Damit bei der Datenübertragung die Intensität der Lichtimpulse bestehen bleibt, müssen sie in bestimmten Abschnitten immer wieder verstärkt werden. Dazu dienen jeweils kleine Mengen an Erbium. Erreicht ein Lichtimpuls den Erbiumbereich, kommt es durch die Erbium-Atome zu einer Erhöhung der Lichtintensität (Erbium-dotierte Faserverstärker). Für weiträumige Glasfaserverbindungen wie Transatlantikstrecken sind solche optischen Verstärker von grösster Wichtigkeit.

Wie funktioniert die Intensivverstärkung? Ein Laser «pumpt» Elektronen der Erbium-Atome auf ein höheres Energieniveau, auf dem sie eine relativ lange Überlebensdauer haben. Kommt nun ein sich abschwächender Lichtimpuls, so fallen die Elektronen in ihren ursprünglichen Ausgangszustand zurück. Die dabei abgegebene Energie erhöht die Lichtintensität des Impulses.

Holmium (Ho, 76)

Das Metall ist an trockener Luft beständig, weich und lässt sich schmieden. Mit dem Wasserdampf in der Luft bildet es eine gelbliche Oxidschicht. Bei höheren Temperaturen verbrennt es zu Diholmiumtrioxid (Ho_2O_3), und die Reaktion mit Wasser ergibt Holmium(III)-hydroxid, $\text{Ho}(\text{OH})_3$, und Wasserstoff.

Die magnetische Eigenschaft eines Magneten kann durch Holmium verstärkt werden. (Ein Magnet bildet ein Magnetfeld, das mit Kraftlinien beschrieben wird. Je näher diese beisammen sind, desto stärker ist die magnetische Kraft. Holmium-Atome verstärken diese Kraft.) Diese Eigenschaft des Elements wird u. a. bei der Magnetresonanztomografie verwendet, einem Verfahren, um Gewebe und Organe im menschlichen Körper darzustellen. Starke Magnetfelder sind dazu nötig, um v. a. Wasserstoff-Kerne im Körper anzuregen. Dabei werden elektrische Signale ausgesendet, die sich zu Bildern umsetzen lassen (bildgebendes Verfahren).

Neodym (Nd, 60)

Das Metall bildet an der Luft eine schwach rosaviolette, leicht abblätternde Oxidschicht. Bei hohen Temperaturen verbrennt es zu Dineodymtrioxid, Nd_2O_3 , und mit Wasser bilden sich Neodym(III)-hydroxid, $\text{Nd}(\text{OH})_3$, und Wasserstoff.

Neodymmagneten, eine Neodym-Bor-Eisen-Legierung ($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$), sind als die stärksten Dauermagneten bekannt. Sie finden deshalb dort Verwendung, wo starke Dauermagneten benötigt werden: in Lautsprechern, Kopfhörern, Windkraftanlagen, Motoren zur Steuerung von Festplatten, aber auch als Haftmagnete im Alltag.

Weitere Verwendungen der Seltenerdmetalle, eine nicht abschliessende Aufzählung

Leuchtstoffe, Polituren, Leuchtmittel der Plasma- und LCD-Bildschirme (engl. *liquid crystal display* = Flüssigkristall-Bildschirm), Energiesparlampen, Radargeräte, Brennstoffzellen, Superlegierungen, Hybridautos (bis zu 20 kg pro Auto), Russfilter, Rennräder, Leuchtziffern, Laser, AKW-Brennelemente, Mobiltelefone, Spezialgläser, Elektromotoren, Supraleiter (Lanthan), DVD-Spieler, Rüstungsgüter, Computer, Halbleiter.

**Abb. 10.14**

Die Seltenerdmetalle Erbium, Holmium und Neodym als Münzen

Zentrale Begriffe zum Exkurs 10.5

- › seltene Erden, Seltenerdmetalle
- › Lanthaniden
- › Actiniden
- › Schmelzelektrolyse
- › magnetische Kraft
- › Dauermagnet

Aufgabe zum Exkurs 10.5

10.14 Das Seltenerdmetall Erbium reagiert mit Sauerstoff zu Erbiumtrioxid und mit Wasser zu Erbium(III)-hydroxid. Formulieren Sie die beiden Reaktionsgleichungen.

Lösung zum Exkurs 10.5:

