

**Abteilung Geologie**

Halsbrücker Str. 31a, 09599 Freiberg  
Internet: <http://www.smul.sachsen.de/lfulg>

Bearbeiter: Dipl.-Min. Dr. Uwe Lehmann, Dipl-Geol. Henrik Kaufmann, LfULG  
B.Sc. Juliane Dietrich, TU Bergakademie Freiberg  
E-Mail: [uwe.lehmann2@smul.sachsen.de](mailto:uwe.lehmann2@smul.sachsen.de)  
Tel.: 03731 294-1400; Fax: 03731 294-1099  
Redaktionsschluss: 10.05.2011

## Seltene Erden

### Vitamine der Industrie !

#### Chemische/Physikalische Eigenschaften

Als Seltene Erden werden die chemischen Elemente der Gruppe der Lanthanoide bezeichnet (Abb. 1): Lanthan (Ordnungszahl 57), Cer (58), Praseodym (59), Neodym (60), Promethium (61), Samarium (62), Europium (63), Gadolinium (64), Terbium (65), Dysprosium (66), Holmium (67), Erbium (68), Thulium (69), Ytterbium (70) und Lutetium (71) sowie im weiteren Sinne auch Scandium (21) und Yttrium (39).

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

Abbildung 1: Seltene Erden Elemente im Periodensystem /2/

Der Name Seltene Erden (SE bzw. SEE für Seltene Erden Elemente, englisch: Rare Earth Elements REE) stammt aus der Zeit ihrer Entdeckung. Damals wurden die SEE nur in seltenen Mineralen gefunden. Die SE kommen jedoch häufiger in der Erdkruste vor als z. B. Lithium (20 ppm), Blei (14 ppm) oder Zinn (2,2 ppm); zum Vergleich: Cer 43 ppm, Yttrium 26 [ppm](#).

Seltene Erden sind in reiner Form relativ weiche Metalle von silberner Farbe. Sie sind sehr reaktionsfähig. Die SE liegen auf atomarer Ebene meist in der hexagonal dichtesten Kugelpackung vor. Das Atomgewicht wächst mit steigender Ordnungszahl von 138,91 bei Lanthan auf 174,97 g/mol bei Lutetium an. Mit Wasser und verdünnten Säuren reagieren die SE unter Wasserstoffbildung. Basizität, Schmelzpunkt (von 920 °C bei Lanthan auf 1652 °C bei Lutetium) und Dichte (von 6,17 g/cm<sup>3</sup> bei Lanthan auf 9,84 g/cm<sup>3</sup> bei Lutetium) steigen im Periodensystem von links nach rechts an. Hiervon weichen Europium und Ytterbium ab, da jene etwas geringere Dichten (Europium: 5,245 g/cm<sup>3</sup>; Ytterbium: 6,973 g/cm<sup>3</sup>) und niedrigere Schmelzpunkte (Europium: 826 °C; Ytterbium: 824 °C) aufweisen.

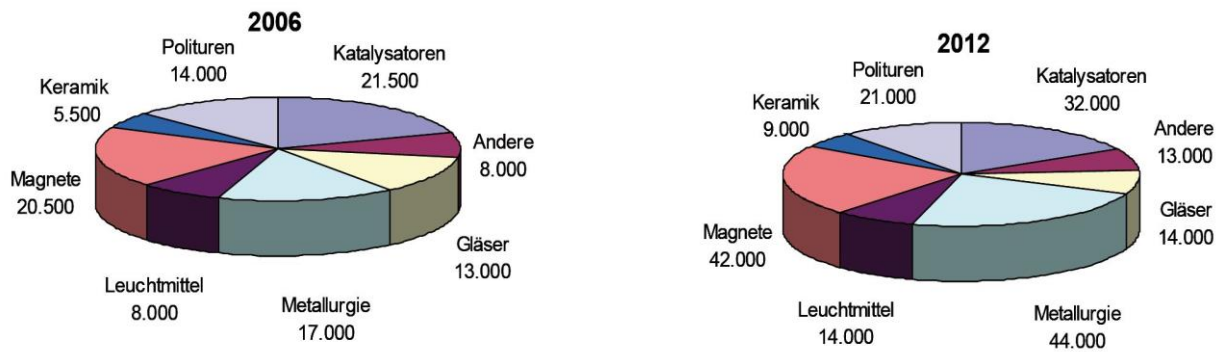
Aufgrund ihrer gleich besetzten äußeren Elektronenhüllen (5p<sup>6</sup>6s<sup>2</sup>) zeichnen sich die SE durch eine große chemische Ähnlichkeit untereinander aus. Hinsichtlich ihrer Elektronenkonfiguration unterscheiden sich die einzelnen Elemente nur durch das Auffüllen der 4f-Niveaus.

Die SE können in leichte SE (engl. LREE; Elemente La-Nd), mittlere SEE (MREE; Elemente Pm-Gd) und schwere SEE (HREE; Elemente Tb-Lu) gegliedert werden. Das Element [Yttrium](#) wird aufgrund seines chemischen Verhaltens zu den schweren SE gezählt und kommt stets vergesellschaftet mit anderen SE vor. Selten bildet Yttrium eigene Minerale wie zum Beispiel Xenotim YPO<sub>4</sub> oder Thortveitit (Sc,Y)<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, die zudem weitere SE enthalten.

## Anwendung

Nach einer aufwändigen hochreinen Aufbereitung werden Seltene Erden heute zunehmend im Hochtechnologiebereich eingesetzt. Durch den technischen Fortschritt ergeben sich ständig neue Anwendungen z. B. für

- Mobilfunkgeräte;
- Leuchtmittel: Plasmabildschirme und Farbfernsehröhren, LCDs, Energiesparlampen, Fluoreszenzlampen, Radargeräte, Kathodenstrahlröhren;
- Gläser: Spezialgläser mit hoher Brechzahl, UV-Schutz, Einfärbung; Entfärbung (Erbium!)
- Elektrotechnik: NiMH-Akkus, Hybrid-Antriebe;
- Katalysatoren: Cracken von Erdöl, als Bestandteil in Industrie- und Autoabgaskatalysatoren;
- Magnete: u. a. in Windrädern, Mikromotoren und Lautsprechern;
- Polituren: Poliermittel für Glas, Computerchips etc.;
- Keramik: Farbgebung, Stabilisator für Keramikmaterialien, Kondensatoren;
- Andere: Medizintechnik, Laser, Zündsteine von Feuerzeugen.



**Abbildung 2:** Verwendung von Seltenen Erden (in t SE-Oxiden) nach Einsatzbereichen in den Jahren 2006 (Gesamtverbrauch 107.500 t) und 2012 (Gesamtverbrauch 189.000 t, geschätzt); aus /7/

### Mineralisation

Wirtschaftlich am wichtigsten sind Bastnäsit  $(\text{Ce,La,Y})\text{CO}_3\text{F}$  und Tone mit adsorbierten Seltenen Erden (derzeit ausschließlich im südlichen China). Untergeordnete Bedeutung haben Monazit  $(\text{Ce,La,Nd,Sm})\text{PO}_4$  und Loparit  $(\text{Na,Ce,Sr})(\text{Ce,Th})(\text{Ti,Nb})_2\text{O}_6$  (problematische Aufbereitung infolge häufig erhöhter Thorium-Gehalte und damit einhergehender Radioaktivität). Dabei enthalten Bastnäsit und Monazit bevorzugt leichte SE, während in den erwähnten Tonen eher schwere SE auftreten.

Seltene Erden kommen in niedrigen Gehalten oft auch in Apatit, Zirkon und vielen weiteren Mineralen vor.

Lagerstättenbildend reichern sich SE-Mineralen vor allem in Karbonatiten, Seifen, Pegmatiten, Skarnen bzw. hydrothermal/metasomatisch in sedimentären Karbonatgesteinen sowie lateritisch-residualen Verwitterungsböden an. Trotz SE-Gehalten von teils nur  $<1\%$  lohnt sich deren Laugung aus entsprechend angereicherten Tonen, da Gewinnung und Aufbereitung vergleichsweise geringe Aufwendungen erfordern. Der überwiegende Teil der weltweit geförderten Seltenen Erden fällt derzeit jedoch als Nebenprodukt bei der Gewinnung anderer Rohstoffe an (z. B. in der Eisenerz-Mine Bayan Obo bei Baotou / China) /8/.

### Vorräte und regionale Verbreitung

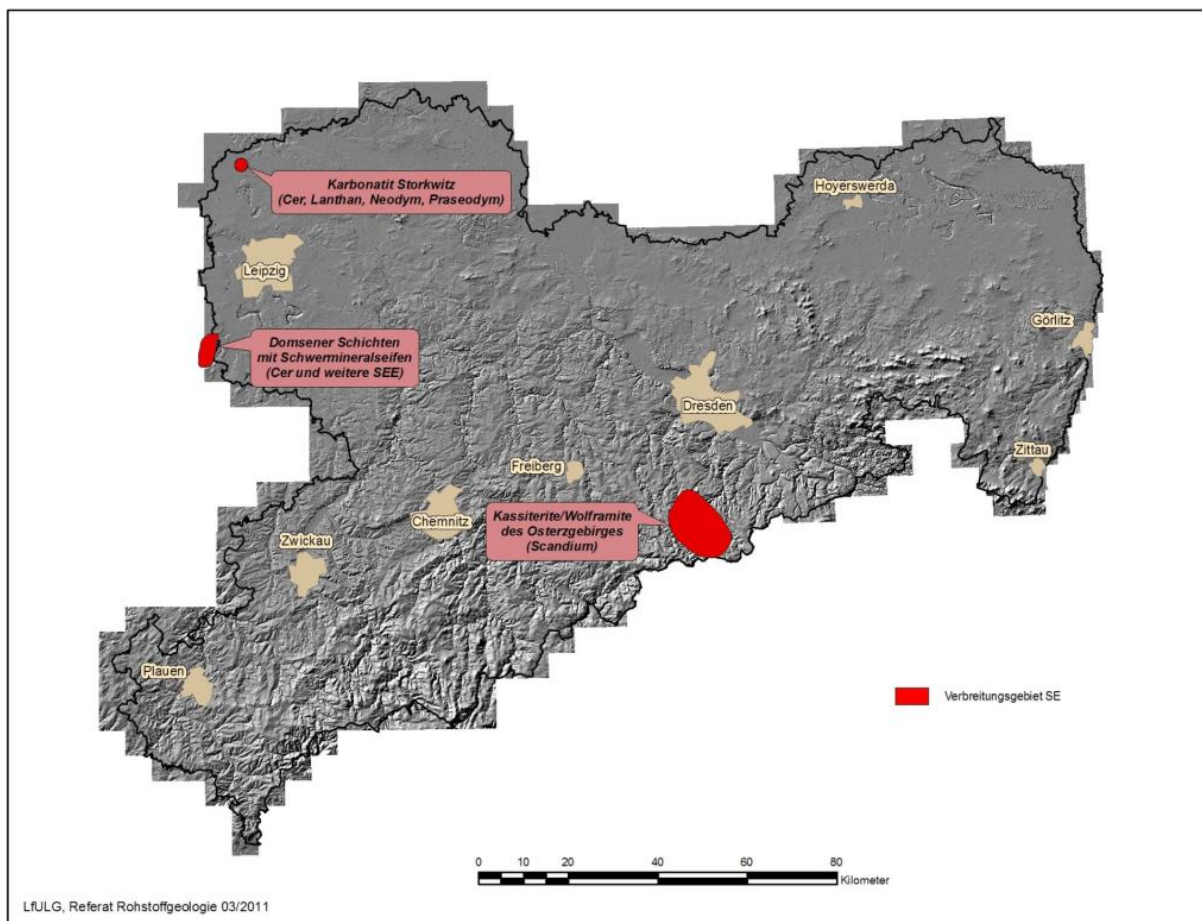
Die globalen Reserven an SE beliefen sich in 2010 auf etwa 28,5 Mio. t SE-Oxide, wobei China mit 18,4 Mio. t den Löwenanteil besitzt /3/. Am bedeutendsten ist dort das Gebiet der Inneren Mongolei nahe der Stadt Baotou. Im Zusammenhang mit dem forcierten Ausbau von Schlüsseltechnologien hat China den Export Seltener Erden zunehmend verringert. Lieferengpässe und Preissteigerungen bei SE-Metallen sind absehbare Folgen. Dagegen beliefen sich die weltweiten Ressourcen Ende 2010 auf 282,8 Mio. t SEO, von denen der russische Anteil mit 154 Mio. t SEO dominierend ist /3/.

Zu den wichtigsten demnächst in Produktion gehenden Vorkommen gehören unter anderem Mountain Pass (Kalifornien) und Mount Weld (Australien) mit 1,1 /3/ bzw. 1,4 Millionen /4/ Tonnen SE-Oxiden. In Vorbereitung befinden sich darüber hinaus auch die Projekte Ulba (Kasachstan), Orissa (Indien), Dubbo (Australien), Kringlerne (Grönland), Dong Pao (Vietnam) und Nolans Bore (Australien) /8/.

Die Weltproduktion von SE-Oxiden in 2009 betrug 133.500 t , zzgl. geschätzter ca. 20.000 t aus illegaler Produktion in China. Die offizielle Produktion in China im Jahr 2009 betrug 129.400 t (97% der Weltproduktion) /3/.

In Europa findet ein Abbau von SE-Mineralen nur im Lovozero-Komplex der Kola-Halbinsel statt. Diese enthalten zudem als Beiprodukt Tantal und Niob. Weitere wichtige europäische Vorkommen liegen in Grönland (Kringlerne, Kvanefjeld) und in Schweden (Norra Kärr) /7/.

Sachsen verfügt über einige Rohstoffvorkommen mit erhöhten Gehalten Seltener Erden (Abb. 3).



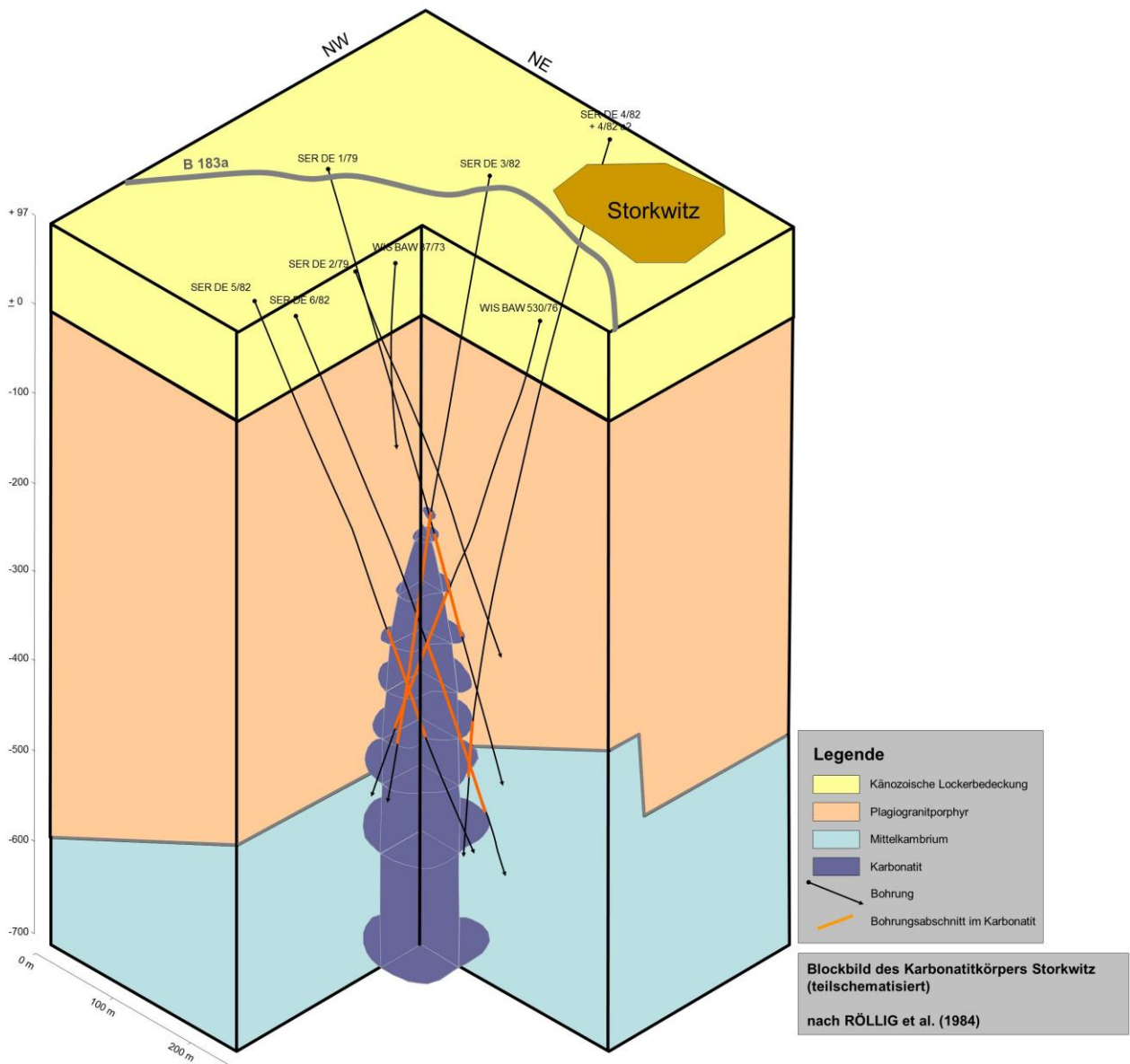
**Abbildung 3:** SE-Vorkommen in Sachsen

Dazu gehört das im bundesweiten Maßstab bedeutendste Vorkommen Storkwitz bei Delitzsch. In einem karbonatitischen Intrusivkörper tritt in dolomitischer Matrix fein verteilt Bastnäsit als SE-Träger auf (Abb. 4).

Den Hauptanteil der SE machen Ce (48 %), La (27 %), Nd (14 %) und Pr (5 %) aus; der Rest liegt bei  $\leq 1, X$  %. Als prognostische Vorräte ( $D_1$  nach DDR-Klassifikation) wurden bis -600 m NN ca. 20 kt SE-Oxide ermittelt. Im Bereich -600 bis -900 m NN folgt noch einmal etwa die gleiche Menge  $D_2$ . Die Vorratsberechnung basierte auf 5 Bohrungen für den oberen Abschnitt sowie auf Annahmen für den unteren Bereich des Karbonatitkörpers /6/. Abbildung 5 zeigt eine vereinfachte Darstellung des Rohstoffkörpers aus dem Jahr 1984.



**Abbildung 4:** Geschnittener Bohrkern aus dem Karbonatitkörper Storkwitz: eckige Trümmer verschiedener explosiv brekziierter Nebengesteine werden durch feinkörnige Karbonatmasse verkittet; Bildbreite etwa 30 cm (Foto: PETER SUHR)



Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, 2011

**Abbildung 5:** Querschnitt durch den Karbonatitkörper Storkwitz

Durch weitere Bohrarbeiten im Jahr 1986 wurde eine Aufspaltung der Intrusion in mindestens zwei Teilkörper wahrscheinlich gemacht, die zudem eher plattig ausgebildet sind.

Im Zusammenhang mit der Entwicklung an den Rohstoffmärkten erhielt ein Antragsteller 2007 eine bergrechtliche Erlaubnis zur Aufsuchung (Erkundung) von SE und weiteren Erzen in dieser Region.

Auch tertiärzeitliche Strandseifen im Nordwesten und Osten Sachsens enthalten lokal Anreicherungen von SE. Für die Domsen-Schichten (Obereozän) südwestlich von Leipzig wurden in schwermineralhaltigen Sedimenten ca. 50.000 t SE-Oxid-Inhalt abgeschätzt. Die damals untersuchten Bereiche sind inzwischen jedoch vom Braunkohlenabbau überfahren worden, ohne dass eine Extraktion der SE erfolgte /5/.

Zinn- und Wolfram-Erze im Osterzgebirge weisen vergleichsweise hohe Scandium-Gehalte auf (ca. 0,2 % Sc in Kassiterit, ca. 0,3 % in Wolframit). Demgemäß enthalten die dort bisher nachgewiesenen Erzvorräte etwa 150 t Scandium.

Auch der Kupferschiefer des Zechsteins führt bereichsweise erhöhte Gehalte an SE. Hier gilt jedoch ebenso wie für die erwähnten Scandium-Anreicherungen, dass

- eine eventuelle zukünftige Gewinnung dieser Seltenen Erden nur als Nebenprodukt in Frage kommt und

- erst geeignete Technologien entwickelt werden müssen, mit denen sich die Metalle aus den Erzen wirtschaftlich sinnvoll abtrennen lassen.

Nur mineralogische Bedeutung besitzen weiterhin die Vorkommen am Kaiserstuhl in Baden-Württemberg (Koppit-Marmor), in niedersächsischen Gangkarbonaten sowie im Rhyolith des Petersberges bei Halle /1/.

## **Ausblick**

Neben der Gewinnung in China ist eine bedeutende zusätzliche Produktion von Seltenen Erden in absehbarer Zeit unter anderem durch die Inbetriebnahme von Lagerstätten in den USA (40.000 t/a SE-Oxide) sowie Australien (22.000 t/a SE-Oxide) zu erwarten /3/. Aufgrund der sich abzeichnenden weiter steigenden Nachfrage sowie der chinesischen Exportbeschränkungen ist anzunehmen, dass auch derzeit noch als unbauwürdig erachtete SE-Vorkommen zunehmend als Explorationsobjekte in Betracht gezogen werden. Parallel dazu steigen die Anstrengungen, durch Recycling sowie Entwicklung billigerer Substitute den Engpässen zu begegnen.

Seltene Erden gehören derzeit aufgrund ihrer hohen wirtschaftlichen Bedeutung im Zusammenhang mit begrenzter Verfügbarkeit zu den strategischen Rohstoffen. Aus Japan soll der Spruch stammen „Öl ist das Blut der Industrie, Stahl das Brot und Seltene Erden sind die Vitamine“.

## **Wichtige Quellen**

- /1/ Ad-hoc-AG Rohstoffe (2010): Seltene-Erden-Rohstoffe in Deutschland. – in: [http://www.infogeo.de/ueberuns/aktuelles/pdf\\_pool/Seltene\\_Erden\\_Rohstoffe\\_Deutschland\\_November\\_2010.pdf](http://www.infogeo.de/ueberuns/aktuelles/pdf_pool/Seltene_Erden_Rohstoffe_Deutschland_November_2010.pdf) (abgerufen 21.01.2011)
- /2/ [http://de.wikipedia.org/wiki/Metalle\\_der\\_Seltenen\\_Erden](http://de.wikipedia.org/wiki/Metalle_der_Seltenen_Erden) (abgerufen 21.01.2011)
- /3/ Mitteilung H. ELSNER, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (05.05.2011)
- /4/ <http://www.infomine.com/index/pr/Pa925667.PDF> (abgerufen 21.01.2011)

- /5/ LEHMANN, U. (2009): Sonderrohstoffe. – In: PÄLCHEN, W. (Hrsg): Geologie von Sachsen II, Georesourcen, Geopotenziale, Georisiken; E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart
- /6/ LEHMANN, U. (2010): Reserves and resources of ores and fluorite/barite in Saxony. – World of mining, 62, 38-47
- /7/ LIEDTKE, M. & ELSNER, H. (2009): Seltene Erden. – Commodity Top News, 31, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
- /8/ Roskill-Report (2007): The economics of rare earths & yttrium. – Thirteenth edition; Roskill informations services
- /9/ RÖLLIG, G., REUTER, N., KARBARDIN, B., PETERSON, M., MERKER, G. & SCHRAMM, Udo (1984): Bewertung Karbonatite Delitzsch.- unveröffentlicher Ergebnisbericht, 188 S., 532 Bl., 41 Anl., 71 Lit.