

# Seltene Erden – Vorkommen und Anwendungen

## Vorkommen



### Bayan Obo Mine in der Inneren Mongolei, China

Die Bayan Obo Mine beherbergt eines der weltweit größten Vorkommen an seltenen Erden. Allerdings ist die Bezeichnung irreführend: Erstens handelt es sich um Metalle und zweitens sind diese Metalle nicht selten und recht gleichmäßig in der Erdkruste verteilt. Selten sind jedoch wirtschaftlich auszubeutende Vorkommen, bei denen die Konzentration über einem Prozent liegt. Es gibt 14 seltene Erden oder Lanthanoide, die im PSE die Ordnungszahlen 58 bis 71 tragen. Häufig werden auch noch die Elemente der Nebengruppe IIIb, nämlich Lanthan, Scandium und Yttrium, aufgrund ihres ähnlichen chemischen Charakters, zu den seltenen Erden gezählt. Der Markt für seltene Erden ist allein in den Jahren von 1997 bis 2007 um das 20fache gewachsen. Bislang kommt der Nachschub fast ausschließlich aus China, das heute mehr als 95% des Weltmarkts an seltenen Erden bedient und dieses Quasi-Monopol weiter ausbaut. Das könnte in der Zukunft zu Problemen führen, denn ohne diese Metalle funktioniert in der High-Tech-Industrie der Weltwirtschaft fast nichts mehr (Foto: Google).

Es gibt etwa 200 Mineralien, die seltene Erden enthalten. Die wirtschaftlich interessantesten Mineralien sind u.a.

Bastnäsit	$\text{LnFCO}_3$	mit Ln = La – Lu
Euxenit	$(\text{Y,Ca,Ce,U,Th})(\text{Nb,Ta,Ti})_2\text{O}_6$	
Kolbeckit	$\text{ScPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	
Loparit	$(\text{Ln,Na,Ca})_2(\text{Ti,Nb})_2\text{O}_6$	mit Ln = La – Nd
Monazit	$(\text{Ln,Th})\text{PO}_4$	mit Ln = La – Sm
Xenotim	$\text{LnPO}_4$	mit Ln = Y, Yb

wobei nicht nur China, sondern auch Russland, Brasilien, Australien, USA, Kanada und die skandinavischen Länder (Grönland) über Vorkommen dieser Mineralien verfügen.

## Anwendungen der seltenen Erden

Der weltweite Bedarf an seltenen Erden betrug 2010 etwa 136.000 t. Davon werden etwa 25% als Katalysatoren (Mischoxide) eingesetzt, hauptsächlich in der Raffination von Rohöl. Seltene Erden sind auch in Katalysatoren von Autos enthalten, wo sie unter anderem die Oxidation von Schadstoffen verbessern.

Etwa 20% der seltenen Erden werden in der Glas- und Keramikindustrie als Glaspolitur, Entfärber, UV-Absorber und in optischen Linsen und Gläsern verwendet.

Weitere 10% werden in der Metallurgie eingesetzt, etwa als Legierungsbestandteil von Stählen. Eine schnell wachsende Anwendung (zur Zeit ca. 13%) kommt den seltenen Erden in Batterien zu. Mischmetall (eine Mischung aus seltenen Erden) ist ein Bestandteil von Nickel-Hydridbatterien, welche Nickel-Cadmium-Batterien bei der Stromversorgung von tragbaren elektronischen Geräten wie beispielsweise Laptops und Handys nach und nach ersetzen.

Eine weiter zunehmende Verwendung (zur Zeit etwa 25%) von seltenen Erden liegt in der Produktion von Permanentmagneten. Permanentmagnete aus Samarium-Kobalt werden in der Industrie, beim Militär und in der Raumfahrt eingesetzt. Weniger teure Neodym-Eisen-Bor-Magnete werden in Anlassern von Autos und Zusatzmotoren, bei medizinischen Magnetresonanz-Geräten, industriellen Motoren, Windkraftanlagen, CD-Playern und Stereoanlagen verwendet.

Außerdem benötigt man etwa 6% der seltenen Erden zur Dotierung von Leuchtstoffen in der Beleuchtungs- und Bildschirmindustrie sowie in Sauerstoffsensoren.

Schließlich wird ein kleiner Teil der seltenen Erden in der Atomindustrie, zum Beispiel als Moderator des Neutronenflusses, verwendet.

## Scandium (OZ 21)

- Intermetallische Verbindungen als Sc-Lieferant ( $\text{Ni}_2\text{Sc}$ ,  $\text{Re}_{24}\text{Sc}_5$ ,  $\text{Re}_2\text{Sc}$ )
- Scandat-Kathoden mit einer Deckschicht aus  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  oder  $\text{Sc}_2\text{W}_3\text{O}_{12}$
- Polymerisationskatalysatoren
- Röntgenröhren
- In Laserkristallen ( $\text{Gd}_3\text{Sc}_2\text{Al}_3\text{O}_{12}:\text{Ce}$  „GSAG“,  $\text{Y}_3\text{Sc}_2\text{Al}_3\text{O}_{12}:\text{Ce}$  „YSAG“)
- Dentalkeramik
- Additiv in Ni-Cr-Legierungen
- Al-Sc-Legierungen für Rennräder
- $^{46}\text{Sc}$  als Tracer zur Studie von Ölfeldern und -pipelines
- Als  $\text{ScI}_3$  in Hochdruckmetалldampflampen

## Yttrium (OZ 39)

- Leuchtstoffe für Kathodenstrahlröhren ( $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Eu}$ ), Plasmabildschirme ( $(\text{Y},\text{Gd})\text{BO}_3:\text{Eu}$ ), LCD-Bildschirme, Energiesparlampen ( $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ ), Leuchtstoffröhren ( $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ ), Sonnenbanklampen ( $\text{YPO}_4:\text{Ce}$ ), Desinfektionslampen ( $\text{YPO}_4:\text{Bi}$ ), Up-Konverterkristallen ( $\text{NaYF}_4:\text{Yb},\text{Er}$ ) und LEDs ( $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$  „YAG:Ce“).
- Als Bestandteil von Supraleitern ( $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  etc.)
- Additiv in Magnesium- und Aluminiumlegierungen

- Resonatoren, Frequenzstabilisatoren, Mikrowellengeneratoren, -filter und -empfänger, Blasenspeicher, Magnetooptische Speicher ( $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  „YIG“)
- Als Ionenleiter ( $\text{ZrO}_2\text{:Y}$ ) in Lambdasonden und Brennstoffzellen
- $^{89}\text{Y}$  als gezogene Rohre zur Aufnahme von Uranstäben
- Als Bestandteil von Szintillatoren ( $\text{YTaO}_4\text{:Nb}$ ,  $(\text{Y,Gd})_2\text{O}_3\text{:Eu,Pr}$ )
- Y/Co-Legierungen als Permanentmagnete
- $\text{Y}_3\text{M}_5\text{O}_{12}$  (M = Al, Cr, Fe) als Schmucksteine (Diamantersatz)
- Als Bestandteil von Festkörperlaserkristallen ( $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}\text{:Nd}$ ,  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}\text{:Ho}$ ,  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}\text{:Er}$ ,  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}\text{:Tm}$ ,  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}\text{:Yb}$ )
- $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  als Mikrowellenfilter
- Zur Beschichtung von Glasoberflächen:  $4 \text{Y}(\text{NO}_3)_3 \rightarrow 2 \text{Y}_2\text{O}_3 + 12 \text{NO}_2 + 3 \text{O}_2$

### Lanthan (OZ 57)

- Leuchtstoffe in Energiesparlampen und Leuchtstoffröhren ( $\text{LaPO}_4\text{:Ce,Tb}$ ) sowie Sonnenbanklampen ( $\text{LaPO}_4\text{:Ce}$ ,  $\text{CeMgAl}_{11}\text{O}_{19}$ )
- Batterien von Hybrid- oder Elektrofahrzeugen. In deren Akkus stecken bis zu 15 Kilogramm Lanthan und etwa 1 Kilogramm Neodym.
- $\text{La}_2(\text{CO}_3)_3$  als Medikament zur Bindung überschüssigen Phosphats
- $\text{LaNi}_5$  als Wasserstoffspeicher
- $\text{LaCo}_5$  als Permanentmagnet
- $\text{La}_2\text{O}_3$  als Additiv in hochbrechenden Gläsern und als Bestandteil in Glühstrümpfen
- $\text{LaB}_6$  als Elektronenemitter
- $\text{BaTiO}_3\text{:La}$  in Kondensatoren mit hoher Kapazität

### Cer (OZ 58)

- $\text{CeO}_2$  als Katalysator in selbstreinigenden Öfen und Dieselmotoren
- $\text{CeO}_2$  im Gemisch mit  $\text{ThO}_2$  in Glühstrümpfen (Auerstrümpfe) in Gasglühlampen
- $\text{CeO}_2$  als Zündstein
- $\text{CeO}_2$  als Politur für Glas
- $\text{CeO}_2$  als UV-Cut in Halogenlampen, Hochdrucklampen und UV-Schutzgläsern
- $\text{CeO}_2\text{-Ce}_2\text{O}_3$  als Sauerstoffregulator in Automobilkatalysatoren
- $\text{Ce}^{3+}$  als Sensibilisator in Leuchtstoffen ( $\text{CeMgAl}_{11}\text{O}_{19}\text{:Tb}$ ,  $\text{GdMgB}_5\text{O}_{10}\text{:Ce,Tb}$ ,  $\text{GdMgB}_5\text{O}_{10}\text{:Ce,Tb,Mn}$ ,  $\text{LaPO}_4\text{:Ce,Tb}$ )
- $\text{Ce}^{3+}$  als Aktivator in Leuchtstoffen für Fluoreszenzlampen und LED ( $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}\text{:Ce}$  „YAG:Ce“,  $\text{Tb}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}\text{:Ce}$  „TAG:Ce“,  $\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}\text{:Ce}$  „LuAG:Ce“,  $\text{YPO}_4\text{:Ce}$ ,  $\text{LaPO}_4\text{:Ce}$ ,  $\text{YBO}_3\text{:Ce}$ ,  $\text{SrAl}_{12}\text{O}_{19}\text{:Ce,Na}$ )
- $\text{Ce}^{3+/4+}$  in der Cerimetrie (Redox titrationen)

### Praseodym (OZ 59)

- Katalysatoren
- $\text{PrO}_2$  als Farbfilter in Schweißerschutzbrillen und zusammen mit  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  in Glasmacherschutzbrillen (Didymium-Schutzbrille) durch Absorption der gelben Na-Linien)
- Als Korrosionsschutz in Legierungen
- $\text{Pr}^{3+}$  als Aktivator in Szintillatorkristallen/keramiken ( $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S:Pr,Ce,F}$ )
- Als Aktivator in Zweiphotonenleuchtstoffen ( $\text{YF}_3\text{:Pr}$ ,  $\text{NaYF}_4\text{:Pr}$ )
- In Laserkristallen ( $\text{KY}_3\text{F}_{10}\text{:Pr}$  „Pr-KYF“,  $\text{LiYF}_4\text{:Pr}$  „Pr-YLF“)

- In keramischen Kondensatoren (MLCCs)
- $\text{Pr}^{3+}$  als Speichermedium in Quantencomputern

### Neodym (OZ 60)

- Katalysatoren
- $\text{Nd}_2\text{O}_3$  als Farbfilter in Gläsern
- Nd-dotierte Gläser als Strahlungsfiler (Mondfilter) in der Astronomie
- Neodym-Eisen-Bor-Magnete ( $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ ) in Elektromotoren, Festplatten, Kopfhörern, Lautsprechern, Metallpartikelfilter, Mikrofonen, Tonabnehmern und in Generatoren für Windkraft- und Wasserkraftanlagen
- Farbfilter zur Kontrasterhöhung in der Bildschirmtechnologie
- In Laserkristallen ( $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Nd}$  „Nd:YAG“,  $\text{Y}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}:\text{Nd}$  „Nd:YGG“,  $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}:\text{Nd}$  „Nd:GGG“  $\text{LiYF}_4:\text{Nd}$  „Nd:YLF“,  $\text{YVO}_4:\text{Nd}$ )
- In Neodym-Glass-Festkörperlasern
- Nd-Metall in Kryokühlern
- $\text{Nd}^{3+}$  als Additiv in Pflanzendüngern zur Wachstumsförderung

### Promethium (OZ 61)

- $^{147}\text{Pm}$  als Wärmequelle in Raumsonden und Satelliten
- Als Anregungsquelle in Leuchtziffern
- Pm-Glimmstarter

### Samarium (OZ 62)

- Permanentmagnete aus Samarium-Kobalt ( $\text{SmCo}_5$ - $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ ), z.B. in Stereo-Kopfhörern oder Tonabnehmern in E-Gitarren
- In Laserkristallen ( $\text{Gd}_3\text{Sc}_2\text{Al}_3\text{O}_{12}:\text{Sm}$ )
- Als Neutronenabsorber
- Als Bestandteil von SCR-Katalysatoren ( $(\text{Fe},\text{Sm})\text{VO}_4$ )

### Europium (OZ 63)

- $\text{Eu}^{2+}$  als Aktivator in Leuchtstoffen für Schwarzlichtlampen ( $\text{SrB}_4\text{O}_7:\text{Eu}$ ) und pcLEDs ( $(\text{Ca},\text{Sr},\text{Ba})_2\text{SiO}_4:\text{Eu}$ ,  $(\text{Ca},\text{Sr},\text{Ba})_2\text{Si}_5\text{N}_8:\text{Eu}$ ,  $(\text{Ca},\text{Sr})\text{AlSiN}_3:\text{Eu}$ ,  $(\text{Ca},\text{Sr},\text{Ba})\text{Si}_2\text{N}_2\text{O}_2:\text{Eu}$  und  $\text{SrLiAl}_3\text{N}_4:\text{Eu}$ )
- $\text{Eu}^{2+}$  als Aktivator in Leuchtstoffen für Plasmafernseher, Energiesparlampen und Leuchtstoffröhren ( $\text{Sr}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{Cl}):\text{Eu}$ ,  $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}$  und  $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu},\text{Mn}$ )
- $\text{Eu}^{3+}$  als Aktivator in Leuchtstoffen für Farbe 80 Lampen ( $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ ), Hochdruckgasentladungslampen ( $\text{YVO}_4:\text{Eu}$ ) Kathodenstrahlröhren ( $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Eu}$ ) und Plasmafernsehern ( $(\text{Y},\text{Gd})\text{BO}_3:\text{Eu}$ ,  $\text{Y}(\text{V},\text{P})\text{O}_4:\text{Eu}$ )
- $\text{Eu}^{2+}$  als Aktivator in Nachleuchtpigmenten ( $\text{CaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu},\text{Nd}$ ,  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu},\text{Dy}$  und  $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Eu},\text{Dy}$ )
- $\text{Eu}^{2+}$  als Aktivator in Speicherleuchtstoffen ( $\text{Ba}(\text{F},\text{Br}):\text{Eu}$ )
- $^{151}\text{Eu}$  für die Mößbauerspektroskopie
- Als Neutronenabsorber

### Gadolinium (OZ 64)

- $Gd^{3+}$  als Aktivator in Leuchtstoffen für Psoriasislampen ( $LaB_3O_6:Gd$ )
- $Gd^{3+}$  als Additiv in Leuchtstoffen für Plasmabildschirme zur Erhöhung der Quantenausbeute ( $(Y,Gd)BO_3:Eu$  und  $(Y,Gd)BO_3:Tb$ )
- Gd-DOTA (DOTA = Tetraazacyclododecantetraessigsäure) bzw. Gd-DTPA (DTPA = Diethylentriaminpentaessigsäure) als Reagenzien zur Erhöhung des Kontrastes bei medizinischen (N)MR-Untersuchungen
- $Gd^{3+}$ -Chelatkomplexe als Verschiebungs-Reagenzien in der NMR-Spektroskopie
- Als Bestandteil von Kristallen zur Frequenzverdopplung ( $KGdW_2O_8$ )
- $Gd_3Ga_5O_{12}$  in Magnetblasenspeicher
- Additiv in Fe- und Cr-Legierungen
- $^{155}Gd$  und  $^{157}Gd$  als Neutronenabsorber
- Als Bestandteil von Supraleitern ( $Ba_2GdCu_3O_{7-x}$ )
- Als Bestandteil von SCR-Katalysatoren ( $(Fe,Gd)VO_4$ )

### **Terbium (OZ 65)**

- $Tb^{3+}$  als Aktivator in Leuchtstoffen für Fluoreszenzlampen ( $LaPO_4:Ce,Tb$ ,  $CeMgAl_{11}O_{19}:Tb$ , und  $GdMgB_5O_{10}:Ce,Tb$ ) sowie Plasmafernsehern ( $(Y,Gd)BO_3:Tb$ )
- $Tb^{3+}$  in LED-Leuchtstoffen zur Rotverschiebung der  $Ce^{3+}$  Lumineszenz ( $Tb_3Al_5O_{12}:Ce$ )
- $Tb^{3+}$  als Aktivator in Leuchtstoffen für hochbelastete Kathodenstrahlröhren in Projektionsfernsehern ( $Y_3Al_5O_{12}:Tb$  „YAG:Tb“,  $LaOBr:Tb$ ,  $Y_2SiO_5:Tb$ ,  $Y_2O_2S:Tb$ )
- Magneto-optische Speicher
- Als Szintillator in der Computertomographie ( $Gd_2O_2S:Tb$ )
- Faraday-Rotatoren ( $KTb_3F_{10}$ ,  $LiTbF_4$ ,  $Tb_3Ga_5O_{12}$ ) für Hochleistungslaser
- Magnetostruktive Materialien wie Terfenol-D ( $Tb_xDy_{1-x}Fe_2$  mit  $x \sim 0.3$ ) für Sonare, Sensoren, Aktuatoren und Transducer

### **Dysprosium (OZ 66)**

- $^{164}Dy$  als Neutronenabsorber
- Als Dotierung in Supermagneten
- Katalysatoren
- Dosimeter ( $CaF_2:Dy$ ,  $CaSO_4:Dy$ )
- Hochdruckmetall dampflampen ( $DyI_3$ )

### **Holmium (OZ 67)**

- In Fe-Legierungen
- Als Moderator
- In Katalysatoren
- In Lasereinkristallen ( $Y_3Al_5O_{12}:Ho$  „YAG:Ho“) für 2.08  $\mu m$  Laser in der Medizin
- Hochdruckmetall dampflampen ( $HoI_3$ )
- $^{166}Ho$  als radioaktiver Indikator in der analytischen Chemie

### **Erbium (OZ 68)**

- In fotografischen Filtern
- Als Glasfaser-Verstärker

- In Lasereinkristallen ( $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Er}$  „YAG:Er“) für 1.56  $\mu\text{m}$  Laser in Telekommunikationsnetzen
- Als Farbpigment in Keramiken
- IR-Filter in der Wärmeschutzverglasung
- $\text{Er}^{3+}$  als grüner Emitter in Up-Konverterkristallen ( $\text{NaYF}_4:\text{Yb},\text{Tm}$ ;  $\text{NaYF}_4:\text{Yb},\text{Er}$ )
- Als Bestandteil von SCR-Katalysatoren ( $(\text{Fe},\text{Er})\text{VO}_4$ )
- Hochdruckmetall dampflampen ( $\text{TmBr}_3$ )
- 

### **Thulium (OZ 69)**

- $^{170}\text{Tm}$  als Röntgenstrahlungsquelle
- $\text{Tm}^{3+}$  als blau emittierender Aktivator in Szintillatorkristallen ( $\text{LaOBr}:\text{Tm}$ ,  $\text{YTaO}_4:\text{Tm}$ ) und in Up-Konverterkristallen ( $\text{NaYF}_4:\text{Yb},\text{Tm}$ )
- Als blauer Emitter in VUV-Leuchtstoffen ( $\text{LaPO}_4:\text{Tm}$ )

### **Ytterbium (OZ 70)**

- In Laserkristallen ( $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Yb}$  „Yb-YAG“)
- In Speziallegierungen
- $^{169}\text{Yb}$  als Quelle in portablen Röntgenquellen
- Als Additiv in Edelstählen zur Erhöhung der Festigkeit
- $\text{Yb}^{3+}$  als Sensibilisator in Up-Konverterkristallen ( $\text{NaYF}_4:\text{Yb},\text{Tm}$ ;  $\text{NaYF}_4:\text{Yb},\text{Er}$ )
- Als NIR-Emitter in Spezialleuchtstoffen
- $^{171}\text{Yb}$  als optischer spin-1/2 Taktgeber für Atomuhren

### **Lutetium (OZ 71)**

- Bestandteil von Szintillatorkristallen für die Positronenemissionstomographie ( $\text{Lu}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}$ ,  $\text{Lu}_2\text{Si}_2\text{O}_7:\text{Ce}$ ,  $\text{LuAlO}_3:\text{Ce}$ ,  $\text{LuBr}_3:\text{Ce}$  und  $\text{LuPO}_4:\text{Ce}$ )
- Bestandteil von Laserkristallen („LuAGs“)
- Bestandteil von LED-Leuchtstoffen ( $\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$  „LuAG:Ce“)
- Als Additiv in Supraleitern
- Als Dotierung in dem Magnetblasenspeichermaterial  $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$  "GGG"