

# Seltene Erdmetalle

Gewinnung, Verwendung  
und Recycling

Bernhard Adler, Ralf Müller



Universitätsverlag Ilmenau  
2014

## Impressum

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Angaben sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Technische Universität Ilmenau/Universitätsbibliothek

### **Universitätsverlag Ilmenau**

Postfach 10 05 65

98684 Ilmenau

[www.tu-ilmenau.de/universitaetsverlag](http://www.tu-ilmenau.de/universitaetsverlag)

### **Herstellung und Auslieferung**

Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat OHG

Am Hawerkamp 31

48155 Münster

[www.mv-verlag.de](http://www.mv-verlag.de)

ISSN 1865-9136 (Druckausgabe)

ISBN 978-3-86360-093-8 (Druckausgabe)

URN urn:nbn:de:gbv:ilm1-2014100070

---

Titelfoto: Dipl.-Biol. Helga Schulze | Bochum

# Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einführung</b>	<b>17</b>
<b>2.</b>	<b>Geschichte der Seltenen Erden</b>	<b>21</b>
<b>3.</b>	<b>Eigenschaften der Elemente</b>	<b>27</b>
3.1	Allgemeine physiko-chemische Eigenschaften	27
3.2	Chemische Eigenschaften	30
3.3	Magnetische und optische Eigenschaften	33
3.4	Toxizität der Seltenen Erden	37
<b>4.</b>	<b>Mineralien, Lagerstätten und Fördermengen</b>	<b>43</b>
4.1	Elementhäufigkeit der Seltenen Erden	43
4.2	Genese und Zusammensetzung der Mineralien	44
4.3	Lagerstätten, Reserven und Verfügbarkeit	47
<b>5.</b>	<b>Vom Mineral zum Metall</b>	<b>55</b>
5.1	Erzgewinnung und -aufbereitung	55
5.2	Aufschlussverfahren	57
5.3	Trennung der Seltenen Erden	62
5.4	Metallherstellung	67
5.5	Herstellung von Legierungen	70
5.6	Raffination der Metalle	70
5.7	Herstellung von Halogeniden der Seltenen Erden	71
<b>6.</b>	<b>Anwendungen für Seltene Erden</b>	<b>73</b>
6.1	Anwendungsprofile	73
6.2	Optische Applikationen	75
6.3	Seltene Erden als Legierungsbestandteile	94
6.4	Keramische Werkstoffe aus Seltenen Erden	103

6.5	Seltene Erden als Katalysatoren	111
6.6	Energiespeicher aus Seltenen Erden	113
6.7	Spezialchemikalien und Pharmaka aus Seltenen Erden	115
6.8	Applikationen von SE-Radionukliden	120
6.9	Sonstige Applikationen aus Seltenen Erden	123
6.10	Verbrauchsprognosen für Seltene Erden bei High-Tech-Produkten bis 2015	124
<b>7.</b>	<b>Recycling und Alternativen</b>	<b>129</b>
7.1	Charakterisierung der Ausgangssituation	129
7.2	Verdünnungsproblematik	131
7.3	Erfassungs- und Recyclingstrategien	133
7.4	Elektroschrott	136
7.5	Recyclingverfahren	138
7.6	Alternativen zum Verbrauch von Seltenen Erden	147
7.7	Vergleich von Bergbau und Urban-mining	151
7.8	Vorschlag für einen Standort zum SE-Recycling	155
<b>8.</b>	<b>Spektroskopische Messverfahren zur Analytik der Seltenen Erden</b>	<b>157</b>
8.1	Analytische Fragestellungen	157
8.2	Messanordnungen	158
8.3	Anregungsarten	162
8.4	Probenpräparationen	163
8.5	Identifizierung der Seltenen Erden	164
8.6	Konzentrationsanalytik	169
8.7	Messwert- und Probennahmestatistik	172

<b>Tabellenanhang</b>	<b>179</b>
<b>Forscherverzeichnis</b>	<b>193</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>197</b>
<b>Erläuterungen/Glossar</b>	<b>207</b>