

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
1.1	Was ist ein Erz?	3
1.2	Ausgewählte Erzminerale	4
1.2.1	Sulfide	4
1.2.2	Oxide und Hydroxide	6
1.2.3	Karbonate	8
1.3	Ressourcen, Reserven und Verbrauch	9
1.4	Rohstoffmarkt	12
1.5	Wo suchen und wie?	13
1.6	Fernerkundung	15
1.7	Geophysikalische Exploration	17
1.8	Geochemische Exploration	22
1.9	Bohrungen	22
1.10	Tagebau	25
1.11	Bergbau unter Tage	26
1.12	<i>In-situ</i> -Laugung	29
1.13	Zukunftsmusik? Bergbau in der Tiefsee	30
1.14	Umweltzerstörung, Flächenverbrauch und soziale Verantwortung	30
1.15	Aufbereitung	32
1.16	Verhüttung	36
1.17	Recycling	39
1.18	Gegossen, geschmiedet und ziseliert	39
1.19	Die Zusammensetzung der Erde	41
1.20	Geochemische Einteilung der Elemente	44
	Literatur	48
<b>2</b>	<b>Die Welt der Metalle</b>	<b>49</b>
2.1	Eisen und Stahlveredler	49
2.1.1	Eisen (Fe)	49
2.1.2	Mangan (Mn)	50
2.1.3	Chrom (Cr)	52
2.1.4	Nickel (Ni)	53
2.1.5	Kobalt (Co)	53
2.1.6	Molybdän (Mo)	53
2.1.7	Vanadium (V)	54
2.1.8	Wolfram (W)	55
2.1.9	Tantal (Ta) und Niob (Nb)	55
2.2	Buntmetalle	56
2.2.1	Kupfer (Cu)	56
2.2.2	Blei (Pb)	57
2.2.3	Zink (Zn)	58
2.2.4	Kadmium (Cd)	59
2.2.5	Zinn (Sn)	59
2.3	Edelmetalle	60
2.3.1	Gold (Au)	60
2.3.2	Silber (Ag)	61
2.3.3	Platingruppenelemente (PGE)	61
2.4	Leichtmetalle	62
2.4.1	Aluminium (Al)	62
2.4.2	Titan (Ti)	63
2.4.3	Magnesium (Mg)	63
2.5	Seltenerdelemente (SEE)	63
2.6	Weitere Metalle und Halbmetalle	70
2.6.1	Lithium (Li)	70
2.6.2	Bor (B)	70

2.6.3	Beryllium (Be) . . . . .	70
2.6.4	Germanium (Ge) . . . . .	71
2.6.5	Indium (In) . . . . .	71
2.6.6	Gallium (Ga) . . . . .	71
2.6.7	Selen (Se) und Tellur (Te) . . . . .	71
2.6.8	Thallium (Tl) . . . . .	72
2.6.9	Quecksilber (Hg) . . . . .	72
2.6.10	Antimon (Sb) . . . . .	72
2.6.11	Arsen (As) . . . . .	73
2.6.12	Bismut (Bi) . . . . .	73
2.6.13	Uran (U) und Thorium (Th) . . . . .	73
2.6.14	Zirkonium (Zr) und Hafnium (Hf) . . . . .	74
2.6.15	Silizium (Si) . . . . .	75
	<b>Literatur</b> . . . . .	76
<b>3</b>	<b>Magmatische Lagerstätten</b> . . . . .	<b>79</b>
<b>3.1</b>	<b>Fraktionierung in Magmen (Einführung)</b> . . . . .	<b>81</b>
3.1.1	Schmelzbildung und Fraktionierung . . . . .	81
3.1.2	Entmischung von Magmen . . . . .	89
<b>3.2</b>	<b>Podiforme Chromitlagerstätten in Ophiolithen</b> . . . . .	<b>94</b>
<b>3.3</b>	<b>Layered Mafic Intrusions (LMI)</b> . . . . .	<b>95</b>
3.3.1	Magmatisches Layering und seine Ursachen . . . . .	99
3.3.2	Chrom, Nickel und Platin in basischen Magmen . . . . .	102
3.3.3	Bushveld . . . . .	105
3.3.4	Great Dyke . . . . .	108
3.3.5	Sudbury . . . . .	109
<b>3.4</b>	<b>Komatiit</b> . . . . .	<b>113</b>
<b>3.5</b>	<b>Anorthosit</b> . . . . .	<b>114</b>
<b>3.6</b>	<b>Kiruna-Typ Magnetit-Apatit-Eisenerz</b> . . . . .	<b>115</b>
<b>3.7</b>	<b>Granit (Einführung)</b> . . . . .	<b>116</b>
3.7.1	Zinngranit . . . . .	118
<b>3.8</b>	<b>Pegmatit</b> . . . . .	<b>118</b>
<b>3.9</b>	<b>Alkaligesteinskomplexe (Einführung)</b> . . . . .	<b>123</b>
<b>3.10</b>	<b>Karbonatit</b> . . . . .	<b>124</b>
3.10.1	Phoscorit . . . . .	128
<b>3.11</b>	<b>Agpait</b> . . . . .	<b>130</b>
3.11.1	Ilimaussaq . . . . .	132
3.11.2	Khibina und Lovozero . . . . .	135
<b>3.12</b>	<b>Ivigut</b> . . . . .	<b>136</b>
	<b>Literatur</b> . . . . .	<b>137</b>
<b>4</b>	<b>Hydrothermale Lagerstätten</b> . . . . .	<b>143</b>
<b>4.1</b>	<b>Adern und Gänge</b> . . . . .	<b>148</b>
4.1.1	Hydrothermale Gänge im Schwarzwald . . . . .	151
4.1.2	Polymetallische Gänge im Erzgebirge . . . . .	154
<b>4.2</b>	<b>Orogene Goldadern</b> . . . . .	<b>157</b>
<b>4.3</b>	<b>Epithermale Gold- und Gold-Silber-Lagerstätten</b> . . . . .	<b>161</b>
<b>4.4</b>	<b>Kupferporphyr</b> . . . . .	<b>165</b>
4.4.1	Molybdän-Porphyr (Climax-Typ) . . . . .	181
4.4.2	Goldporphyr ( <i>intrusion-related gold</i> ) . . . . .	181
<b>4.5</b>	<b>Zinn-Wolfram-Lagerstätten</b> . . . . .	<b>181</b>
<b>4.6</b>	<b>Greisen</b> . . . . .	<b>185</b>
<b>4.7</b>	<b>Eisenoxid-Kupfer-Gold-Lagerstätten (IOCG)</b> . . . . .	<b>188</b>
<b>4.8</b>	<b>Chimney und Manto</b> . . . . .	<b>190</b>
<b>4.9</b>	<b>Skarn</b> . . . . .	<b>190</b>
<b>4.10</b>	<b>Metasomatische Sideritlagerstätten</b> . . . . .	<b>193</b>
<b>4.11</b>	<b>Carlin-Typ-Gold</b> . . . . .	<b>193</b>
<b>4.12</b>	<b>Mississippi-Valley-Typ (MVT)</b> . . . . .	<b>195</b>
<b>4.13</b>	<b>Sandsteingebundene Kupfer- und Blei-Zink-Lagerstätten</b> . . . . .	<b>199</b>

<b>4.14</b>	<b>Sandsteingebundene Uranlagerstätten und Diskordanzlagerstätten</b>	199
<b>4.15</b>	<b>Hydrothermale Systeme am Meeresboden (Einführung)</b>	201
4.15.1	Schwarze Raucher	202
4.15.2	Marine Sole-Pools und Atlantis II	205
<b>4.16</b>	<b>Vulkanogene massive Sulfidlagerstätten (VMS)</b>	206
4.16.1	Zyprien-Typ VMS im Troodos-Ophiolith	209
4.16.2	Besshi (Japan)	211
4.16.3	Kuroko (Japan)	211
4.16.4	Iberischer Pyritgürtel	215
<b>4.17</b>	<b>Sedimentär-exhalative Lagerstätten (SEDEX)</b>	217
<b>4.18</b>	<b>Lahn-Dill-Typ-Eisenlagerstätten</b>	221
	Literatur	222
<b>5</b>	<b>Lagerstätten durch Sedimentation und Verwitterung</b>	229
<b>5.1</b>	<b>Kupferschiefer und Zentralafrikanischer Kupfergürtel</b>	230
5.1.1	Zentralafrikanischer Kupfergürtel	233
<b>5.2</b>	<b>Bändereisenerz (BIF)</b>	234
<b>5.3</b>	<b>Eisenooolithe</b>	241
<b>5.4</b>	<b>Bohnerz</b>	243
<b>5.5</b>	<b>Sedimentäre Manganlagerstätten</b>	243
<b>5.6</b>	<b>Manganknollen</b>	244
<b>5.7</b>	<b>Evaporite</b>	246
5.7.1	Marine Evaporite	250
5.7.2	Salzseen und Salzpflanzen	254
<b>5.8</b>	<b>Phosphorit</b>	258
<b>5.9</b>	<b>Seifenlagerstätten</b>	259
<b>5.10</b>	<b>Verwitterung (Einführung)</b>	263
<b>5.11</b>	<b>Laterit und Bauxit</b>	266
5.11.1	Bauxit	267
5.11.2	Lateritische Nickellagerstätten	269
5.11.3	Lateritische Goldlagerstätten	271
5.11.4	Lateritische SEE-Lagerstätten (Ionenabsorbentien)	271
<b>5.12</b>	<b>Duricrusts</b>	272
	Literatur	273
<b>6</b>	<b>Fossile Energie</b>	277
<b>6.1</b>	<b>Vom Moor zur Kohle</b>	279
<b>6.2</b>	<b>Von der Alge zum Erdöl</b>	285
<b>6.3</b>	<b>Erdöl und Erdgas: Migration in die Falle</b>	289
<b>6.4</b>	<b>Das Öl vom Persischen Golf</b>	295
<b>6.5</b>	<b>Förderung von Erdöl und Erdgas</b>	297
<b>6.6</b>	<b>Peak Oil</b>	301
<b>6.7</b>	<b>Fracking: Schiefergas und <i>tight oil</i></b>	303
<b>6.8</b>	<b>Ölschiefer</b>	309
<b>6.9</b>	<b>Teersand, Schweröl</b>	310
<b>6.10</b>	<b>Methanhydrate</b>	312
	Literatur	313
<b>7</b>	<b>Industriemineralien, Steine und Erden</b>	317
<b>7.1</b>	<b>Sand, Kies und Natursteine</b>	317
<b>7.2</b>	<b>Kalk, Mergel, Dolomit</b>	318
<b>7.3</b>	<b>Tuff, Bims, Perlit, Pozzulan und Trass</b>	319
<b>7.4</b>	<b>Feldspat, Quarz und Glimmer</b>	320
<b>7.5</b>	<b>Ton und Kaolin</b>	320
<b>7.6</b>	<b>Alumosilikate</b>	324
<b>7.7</b>	<b>Wollastonit</b>	325
<b>7.8</b>	<b>Granat</b>	325
<b>7.9</b>	<b>Olivin (Forsterit)</b>	325
<b>7.10</b>	<b>Magnesit, Talk und Speckstein</b>	326

<b>7.11 Korund</b> .....	326
<b>7.12 Diamant</b> .....	327
<b>7.13 Diatomit (Kieselgur)</b> .....	328
<b>7.14 Fluorit und Baryt</b> .....	328
<b>7.15 Zeolithe</b> .....	328
<b>7.16 Grafit</b> .....	330
<b>7.17 Schwefel</b> .....	331
<b>Literatur</b> .....	332
<b>Glossar</b> .....	333
<b>Weiterführende Literatur</b> .....	342
<b>Bildnachweis</b> .....	343
<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	345

## Inhaltsverzeichnis der Kästen

Kasten 1.1 Das Problem der Klassifizierung von Lagerstätten .....	2
Kasten 1.2 Stratiform, syngenetisch, epigenetisch, schichtgebunden ... ..	4
Kasten 1.3 Pyrit .....	10
Kasten 1.4 Kritische Rohstoffe .....	12
Kasten 1.5 Seltene Erden – der Weg zu Chinas Monopol .....	14
Kasten 1.6 Erzmikroskopie .....	15
Kasten 1.7 Bergrecht .....	15
Kasten 1.8 Renaissance des Bergbaus in Deutschland? .....	29
Kasten 1.9 Das Massaker von Marikana .....	31
Kasten 1.10 Cyanidkatastrophe in Rumänien .....	32
Kasten 1.11 Aufbereitung alter Halden und Spülteiche .....	35
Kasten 1.12 Wie die Elemente entstanden sind .....	41
Kasten 1.13 Chondrite, die Geburt der Erde und ein Kern aus Eisen .....	43
Kasten 1.14 Die Late-Veneer-Theorie .....	46
Kasten 1.15 Eisenmeteorite: Metall aus dem All .....	47
Kasten 2.1 Stahl .....	51
Kasten 2.2 Superlegierungen .....	53
Kasten 2.3 Katalysatoren .....	62
Kasten 2.4 Entdeckung der Seltenerdelemente .....	64
Kasten 2.5 Seltene Erden – auch in der Kiesgrube nebenan! .....	69
Kasten 2.6 Halbleiter .....	75
Kasten 3.1 SiO <sub>2</sub> -Sättigung .....	81
Kasten 3.2 Klassifizierung magmatischer Gesteine .....	82
Kasten 3.3 Schmelzdiagramme .....	85
Kasten 3.4 Kompatible und inkompatible Spurenelemente .....	88
Kasten 3.5 Redoxzustand, Redoxpotenzial und die Sauerstoff fugazität .....	89
Kasten 3.6 Gediegen Eisen in Basalten .....	90
Kasten 3.7 Ophiolithe .....	91
Kasten 3.8 Chromit .....	95
Kasten 3.9 Ural-Platingürtel .....	102
Kasten 3.10 Norilsk .....	104
Kasten 3.11 Meteoritenkrater .....	112
Kasten 3.12 Die Welt im Archaikum .....	113
Kasten 3.13 Peralumisch, metalumisch, peralkalisch .....	117

Kasten 3.14	Coltan	122
Kasten 3.15	Phalaborwa	125
Kasten 3.16	Bayan Obo	129
Kasten 4.1	Was ist ein Fluid?	144
Kasten 4.2	Katathermal, mesothermal, epithermal, pneumatolytisch	145
Kasten 4.3	Lösung als Komplexe	148
Kasten 4.4	Flüssigkeitseinschlüsse	148
Kasten 4.5	Mineral- und Thermalwasser im Schwarzwald	151
Kasten 4.6	Kobalt-Nickel-Arsen-Silber-Bismut-Uran-Gänge in Wittichen	153
Kasten 4.7	Wassergefüllte »mobile Brüche«	160
Kasten 4.8	Minas Gerais	162
Kasten 4.9	Kordilleren-Typ polymetallische Adern	165
Kasten 4.10	Quecksilber und Zinnober von Almadén	166
Kasten 4.11	Gediegen Kupfer vom Oberen See	167
Kasten 4.12	Porphyry und Kupferporphyry	168
Kasten 4.13	Stockwerk, massive und versprengte Erze	171
Kasten 4.14	Alteration	173
Kasten 4.15	El Teniente	176
Kasten 4.16	Die Oxidationszone in Kupferlagerstätten und der Eiserne Hut	179
Kasten 4.17	Der Cerro Rico von Potosí	182
Kasten 4.18	San Rafael	185
Kasten 4.19	Cornwall	186
Kasten 4.20	Olympic Dam	189
Kasten 4.21	Glasköpfe, Holzzinn und Schalenblende	197
Kasten 4.22	Tsumeb (Namibia), Kipushi (Kongo), Kabwe (Sambia)	199
Kasten 4.23	Oklo: ein natürlicher Atomreaktor	200
Kasten 4.24	»Chalcopyrite Disease«	204
Kasten 4.25	Leben in den Sole-Pools	205
Kasten 4.26	Dehnung im Backarc	209
Kasten 4.27	Abitibi-Grünsteingürtel	212
Kasten 4.28	Rammelsberg	218
Kasten 4.29	Salton Sea	222
Kasten 5.1	Mansfelder Kupferschiefer	233
Kasten 5.2	Stromatolithen: Frühes Leben sorgte für Sauerstoff in der Atmosphäre	238
Kasten 5.3	Kursker Magnetanomalie	240
Kasten 5.4	Beendete ein Meteoriteneinschlag die Bildung der BIF?	240
Kasten 5.5	Snowball Earth	241
Kasten 5.6	Bergbau auf Eisenerz und Rohstoff für den Straßenbau	243
Kasten 5.7	Glomar Explorer	245
Kasten 5.8	Bergwerk Merkers	248
Kasten 5.9	Zigong	248
Kasten 5.10	Kara-Bogas-Gol	251
Kasten 5.11	Sabkha	252
Kasten 5.12	Salzseen als Lebensraum	257
Kasten 5.13	Salz in der Antarktis	258
Kasten 5.14	Minjingu	259
Kasten 5.15	Sukulu und Bukusu (Uganda)	260
Kasten 5.16	Fluviatiler Transport und Sedimentation	262
Kasten 5.17	Nuggets	263
Kasten 5.18	Witwatersrand	264
Kasten 5.19	Schwerter aus dem Moor	272
Kasten 6.1	Das frühe Ölzeitalter	278
Kasten 6.2	Koks	280
Kasten 6.3	Kohleverflüssigung	280
Kasten 6.4	Die Zusammensetzung lebender Organismen	286
Kasten 6.5	Abiotische Kohlenwasserstoffe	288
Kasten 6.6	Zusammensetzung von Erdöl	291

---

Kasten 6.7	Permeabilität mit Wasser und Öl in den Poren . . . . .	293
Kasten 6.8	Flüssiggas . . . . .	301
Kasten 6.9	Erdölraffinerie . . . . .	302
Kasten 6.10	Deepwater Horizon . . . . .	304
Kasten 7.1	Zement, Beton und Mörtel . . . . .	318
Kasten 7.2	Glas . . . . .	321
Kasten 7.3	Keramik . . . . .	323
Kasten 7.4	Asbest: Vom gefragten Rohstoff zur Altlast . . . . .	327
Kasten 7.5	Füllstoffe . . . . .	328