

Anthony M. Evans

# Erzlagerstättenkunde

Übersetzt von Udo Neumann und Gerburg Larsen

162 Abbildungen · 27 Tabellen



Ferdinand Enke Verlag Stuttgart 1992

# Inhalt

## Teil I: Grundlagen

X	<b>1</b>	<b>Einführung (Definitionen und Erläuterungen)</b> .....	2
	1.1	Erz, Gangart und Protore .....	2
	1.2	Wirtschaftliche Betrachtungen .....	3
	1.2.1	Die wichtigsten Schritte bei der Erschließung einer Lagerstätte und beim Betreiben eines Bergwerkes .....	3
	1.2.2	Einige wichtige Faktoren zur Bewertung einer potentiellen Vererzung .....	3
	1.2.3	Klassifikation von Erzreserven .....	8
	1.2.4	Mineralressourcen .....	9
	1.3	Geochemische Betrachtungen .....	9
X	<b>2</b>	<b>Hauptmerkmale der wichtigsten Erzlagerstättentypen</b> .....	11
	2.1	Diskordante Vererzungen .....	11
	2.1.1	Regelmäßig begrenzte Erzkörper .....	11
	2.1.2	Unregelmäßig begrenzte Erzkörper .....	16
	2.2	Konkordante Vererzungen .....	20
	2.2.1	In sedimentären Nebengesteinen .....	20
	2.2.2	In magmatischen Nebengesteinen .....	27
	2.2.3	Vererzungen in metamorphen Nebengesteinen .....	29
	2.2.4	Residuallagerstätten .....	29
	2.2.5	Supergene Anreicherungen .....	29
	<b>3</b>	<b>Das Gefüge von Erz- und Gangmineralen – Fluideinschlüsse – Nebengesteinsalterationen</b> .....	30
	3.1	Hohlraumbildungen .....	30
	3.1.1	Abscheidung aus Silikatschmelzen .....	30
	3.1.2	Mineralbildungen aus wäßrigen Lösungen .....	30
	3.2	Verdrängungen .....	32
	3.3	Fluideinschlüsse .....	33
	3.4	Nebengesteinsalterationen .....	35
	3.4.1	Verschiedene Arten von Nebengesteinsalterationen .....	37
	3.4.2	Einfluß des Primärgesteins auf den Alterationstyp .....	41
	3.4.3	Korrelation von Alteration und Mineralisationstyp .....	42
	3.4.4	Zeitpunkt der Nebengesteinsalteration .....	42
	3.4.5	Alterationstyp und Art der erzbildenden Lösungen .....	42
X	<b>4</b>	<b>Einige wichtige Theorien zur Erzbildung</b> .....	43
	4.1	Erzbildung infolge endogener Prozesse .....	43
	4.1.1	Orthomagmatische Erzbildung .....	43
	4.1.2	Hydrothermale Prozesse .....	46
	4.1.3	Lateralsekretion .....	58

4.1.4	Metamorphe Prozesse .....	60
4.2	Erzbildung durch Oberflächenprozesse .....	64
4.2.1	Vulkano-exhalative (sedimentär-exhalative) Prozesse .....	64
<b>5</b>	<b>Geothermobarometrie, paragenetische Abfolgen, Zonierungen sowie Datierung von Erzlagerstätten .....</b>	<b>71</b>
5.1	Geothermobarometrie .....	71
5.1.1	Fluideinschlüsse .....	71
5.1.2	Inversionspunkte (Umwandlungspunkte) .....	72
5.1.3	Entmischungsstrukturen .....	72
5.1.4	Austauschgleichgewichte und Phasenbeziehungen in Sulfidsystemen .....	74
5.1.5	Untersuchungen von Stablen Isotopen .....	76
5.2	Paragenetische Abfolge und Zonierung .....	77
5.2.1	Paragenetische Abfolge .....	78
5.2.2	Zonierungen .....	78
5.2.3	Sulfidfällung, paragenetische Abfolge und Zonierung .....	81
5.3	Datierung von Erzlagerstätten .....	84
5.3.1	Radiometrische Altersdatierung .....	84
5.3.2	Paläomagnetische Altersbestimmung .....	86
<b>6</b>	<b>Metallogenetische Provinzen und Epochen .....</b>	<b>87</b>
6.1	Zinnmineralisationen .....	87
6.2	Gebänderte Eisenformationen (BIF) .....	90
6.3	Nickelsulfidlagerstätten .....	91
6.4	Titanoxiderze in anorthositischen Gesteinsassoziationen .....	91
6.5	Durch Spurenelemente gekennzeichnete Provinzen .....	92

## **Teil II: Beispiele für wichtige Erzlagerstättentypen**

<b>7</b>	<b>Klassifikation von Erzlagerstätten .....</b>	<b>94</b>
<b>8</b>	<b>Diamantlagerstätten in Kimberliten und Lamproiten .....</b>	<b>98</b>
8.1	Ausbildung und Zusammensetzung von diamantführenden Pipes .....	100
8.2	Kimberlite und Lamproite und deren Platznahme .....	102
8.3	Diamantbildung und einige Hinweise zur Exploration .....	106
<b>9</b>	<b>Vererzungen der Karbonatit-Alkaligesteins-Assoziation .....</b>	<b>110</b>
9.1	Karbonatite .....	110
9.2	Wirtschaftliche Aspekte .....	112
9.2.1	Mountain Pass, Kalifornien/U.S.A. ....	112
9.2.2	Palabora/Südafrika .....	112
9.2.3	Kola-Halbinsel (Nordkarelische Alkaliprovinz) .....	114
<b>10</b>	<b>Pegmatitische Lagerstättenbildung .....</b>	<b>117</b>
10.1	Entstehung, Aufbau und Zusammensetzung der Pegmatite .....	117
10.2	Einige wirtschaftliche Aspekte .....	120
10.2.1	Li-, Be- und Nb/Ta-führende Pegmatite .....	120
10.2.2	Uranführende Pegmatite .....	121

<b>11</b>	<b>Orthomagmatische, an basische und ultrabasische Gesteine gebundene Chrom-, Platin-, Titan- und Eisenlagerstätten</b> .....	125
11.1	Chromlagerstätten .....	125
11.1.1	Stratiforme Chromitlagerstätten .....	126
11.1.2	Podiforme Chromitlagerstätten .....	128
11.1.3	Gestörte stratiforme Chromitlagerstätten .....	130
11.1.4	Genese primärer Chromitlagerstätten .....	131
11.1.5	Zusammensetzung der Chromitanreicherungen .....	131
11.2	Platingruppenelement(PGE)-Lagerstätten .....	132
11.2.1	Primäre PGE-Lagerstätten .....	132
11.2.2	Genese primärer PGE-Lagerstätten .....	134
11.3	Titanlagerstätten .....	134
11.4	Eisenlagerstätten .....	135
<b>12</b>	<b>Orthomagmatische, an basische und ultrabasische Gesteine gebundene Kupfer-Nickel-Eisen-(PGE-)Lagerstätten</b> .....	137
12.1	Einleitung .....	137
12.2	Klassifikation ultrabasischer und basischer Magmatite unter besonderer Berücksichtigung ihrer Nickelsulfidmineralisationen .....	140
12.2.1	An Orogene gebundene Vererzungen .....	140
12.2.2	Vererzungen in kratonalen Bereichen .....	141
12.3	Beziehung von Nickelsulfidmineralisationen zu den einzelnen Gruppen basischer und ultrabasischer Gesteine .....	142
12.4	Genese schwefelreicher Magmen .....	143
12.5	Alter von Nickelmineralisationen .....	145
12.6	Herkunft der Metalle .....	145
12.7	Beispiele für Nickelsulfidvererzungen .....	146
12.7.1	An Vulkanite gebundene Vererzungen .....	146
12.7.2	An Plutonite gebundene Vererzungen .....	147
<b>13</b>	<b>Greisenlagerstätten</b> .....	157
13.1	Einleitung .....	157
13.2	Zinngreisenlagerstätten .....	158
<b>14</b>	<b>Skarnlagerstätten (Pyrometasomatische Lagerstätten)</b> .....	160
14.1	Einleitung .....	160
14.2	Beispiele für Skarnlagerstätten .....	163
14.2.1	Eisenskarnlagerstätten .....	163
14.2.2	Kupferskarnlagerstätten .....	164
14.2.3	Wolframskarnlagerstätten .....	165
14.2.4	Weitere Skarnlagerstätten .....	170
<b>15</b>	<b>An Magmatite gebundene Imprägnations- und Stockwerklagerstätten</b> .....	171
15.1	Einleitung .....	171
15.2	Porphyrische Kupferlagerstätten (Kupferporphyries) .....	173
15.2.1	Allgemeine Kennzeichen .....	173
15.2.2	Petrographie und Ausbildung der Wirtsintrusion .....	174
15.2.3	Morphologie von Intrusionen .....	175
15.2.4	Hydrothermale Alterationen .....	176

15.2.5	Hypogene Mineralisation .....	177
15.2.6	Breccienzonen und Durchschlagsröhren .....	178
15.2.7	Vertikale Erstreckung von Porphyries .....	179
15.2.8	Lagerstätten des Diorit-Typs .....	180
15.2.9	Metallführung porphyrischer Kupferlagerstätten .....	180
15.2.10	Regionale Verbreitung porphyrischer Lagerstätten .....	181
15.2.11	Genese porphyrischer Kupferlagerstätten .....	186
15.3	Porphyrische Molybdänlagerstätten .....	191
15.3.1	Allgemeine Kennzeichen .....	191
15.3.2	Hydrothermale Alterationen .....	193
15.3.3	Genese porphyrischer Molybdänlagerstätten .....	195
15.4	Porphyrische Zinn- und Wolframlagerstätten .....	195
<b>16</b>	<b>Stratiforme Sulfid- und Oxidlagerstätten in sedimentärer und vulkanischer Umgebung</b> .....	<b>196</b>
16.1	Stratiforme Sulfidlagerstätten sedimentärer Zugehörigkeit .....	196
16.1.1	Allgemeine Kennzeichen .....	196
16.1.2	Beispiele für Kupferlagerstätten .....	197
16.1.3	Genese stratiformer, sedimentärer Sulfidlagerstätten .....	203
16.1.4	Beispiele für Blei-Zink-Lagerstätten .....	204
16.2	Vulkanogene Massivsulfidlagerstätten .....	206
16.2.1	Allgemeine Kennzeichen .....	206
16.2.2	Genese vulkanogener Massivlagerstätten .....	209
16.3	Vulkanogene Oxidlagerstätten .....	211
16.3.1	Eisenlagerstätten .....	211
16.3.2	Andere vulkanogene Oxidlagerstätten .....	213
<b>17</b>	<b>Ganglagerstätten und andere hydrothermale Vererzungen</b> .....	<b>215</b>
17.1	Einleitung .....	215
17.2	Gangtypen .....	216
17.3	Zonierungen .....	216
17.4	Einige wichtige Ganglagerstättentypen .....	217
17.5	Beispiele für Ganglagerstätten .....	218
17.5.1	Die Zinnlagerstätten von Llallagua in Bolivien .....	218
17.5.2	Butte, Montana/U.S.A. .....	221
17.6	An Diskordanzen gebundene Uranlagerstätten (Diskordanz-Typ) .....	224
17.7	Goldimprägnationslagerstätten .....	227
17.7.1	Gold-Silber-Imprägnationslagerstätten und -Stockwerk- lagerstätten in Intrusionen .....	227
17.7.2	Gold-Silber-Imprägnationslagerstätten in vulkanischen Laven und assoziierten Pyroklastika .....	227
17.7.3	Goldimprägnationslagerstätten in tuffhaltigen Gesteinen und in Eisenformationen .....	228
17.7.4	Goldlagerstätten des Carlin-Typs .....	231
<b>18</b>	<b>Schichtgebundene (strata-bound) Lagerstätten</b> .....	<b>234</b>
18.1	Einleitung .....	234
18.2	Buntmetallagerstätten in Karbonatgesteinen .....	234
18.2.1	Räumliche Verbreitung und Alter .....	234

18.2.2	Lagerstättenmilieu (-environment).....	235
18.2.3	Form und Lage der Erzkörper .....	236
18.2.4	Erzgehalte, Mineralführung und Isotopenverhältnisse .....	238
18.2.5	Genese .....	240
18.3	Uran-Vanadium-Buntmetallagerstätten in Sandsteinen.....	242
18.3.1	Uranlagerstätten in Sandsteinen.....	242
<b>19</b>	<b>Sedimentäre Lagerstätten.....</b>	<b>248</b>
19.1	Allochthone Lagerstätten .....	248
19.1.1	Residuale Seifenlagerstätten .....	250
19.1.2	Eluviale Seifenlagerstätten .....	250
19.1.3	Flußseifen oder alluviale Seifenlagerstätten .....	251
19.1.4	Strandseifenlagerstätten .....	253
19.1.5	Küstenferne Seifenlagerstätten (Offshore-Seifen) .....	255
19.1.6	Äolische Seifenlagerstätten .....	255
19.1.7	Fossile Seifenlagerstätten .....	256
19.2	Autochthone Lagerstätten .....	257
19.2.1	Gebänderte Eisenformationen (BIF) .....	257
19.2.2	Phanerozoische (oolithische) Eisenerze .....	263
19.2.3	Sedimentäre Manganlagerstätten .....	264
19.2.4	Vulkano-sedimentäre Manganlagerstätten.....	268
<b>20</b>	<b>Residuallagerstätten und supergene Anreicherungen .....</b>	<b>270</b>
20.1	Aluminiumresiduallagerstätten (Bauxite) .....	270
20.1.1	Einleitung .....	270
20.1.2	Klassifikation der Bauxite .....	271
20.2	Eisenreiche Laterite .....	273
20.3	Goldhaltige Bauxite und Laterite .....	273
20.4	Nickelresiduallagerstätten .....	274
20.5	Sekundäre (supergene) Anreicherungen.....	275
20.5.1	Sekundäre Sulfidanreicherung .....	277
20.5.2	Sekundäre Anreicherung von primär geringhaltigen Eisenformationen.....	279
20.5.3	Sekundäre Anreicherung von Manganlagerstätten.....	281
20.5.4	Sekundäre Anreicherung von Uranlagerstätten .....	281
<b>21</b>	<b>Metamorphose von Erzlagerstätten.....</b>	<b>282</b>
21.1	Entstehung metamorpher Gefüge .....	283
21.1.1	Deformationsprozesse .....	283
21.1.2	Rekristallisationen.....	284
21.2	Zunahme der Korngröße.....	286
21.3	Gefügeregelungen und Mineralneubildungen .....	286
21.3.1	Gefügeregelungen .....	286
21.3.2	Änderungen der Mineralführung.....	287
21.4	Auswirkungen der Metamorphose auf die Ausbildung der Erzkörper und Konsequenzen für Exploration und Abbau.....	287

**Teil III: Räumliche und zeitliche Verbreitung  
von Erzlagerstätten**

22	<b>Erzlagerstättenbildung im Rahmen der Plattentektonik</b> .....	292
22.1	Einleitung .....	292
22.2	Plattentektonik .....	292
22.3	Intrakontinentale Becken, Grabenstrukturen und Aulakogene .....	293
22.3.1	Intrakontinentale Becken (intrakratonische Becken) .....	293
22.3.2	Aufwölbungen, Grabenstrukturen und Aulakogene .....	296
22.4	Ozeanische Becken und untermeerische Rücken .....	301
22.5	Passive Kontinentalränder .....	303
22.6	Subduktionszonen .....	304
22.6.1	Verzerrungen im Bereich von Inselbögen .....	305
22.6.2	Verzerrungen im Bereich von Kontinentalrandbögen .....	309
22.7	Transversalverschiebungen .....	310
22.8	Kollisionsbereiche .....	311
23	<b>Lagerstättenbildung im Laufe der Erdgeschichte</b> .....	313
23.1	Einleitung .....	313
23.2	Archaikum .....	313
23.3	Frühes bis mittleres Proterozoikum .....	315
23.4	Mittleres bis spätes Proterozoikum .....	317
23.5	Phanerozoikum .....	318
<b>Anhang: Formeln der wichtigsten im Text erwähnten Minerale</b> .....		319
<b>Literatur</b> .....		321
<b>Sachregister</b> .....		345