

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Versorgungsbasis und Zukunftstechnologien	3
2.1	Kritikalität.....	3
2.2	Rohstoffbasis aus Bergbau und Urban Mining	5
2.3	Zukunftstechnologien	9
2.4	Rohstoffpreise für Metalle	11
3	Häufigkeiten und Eigenschaften der Metalle.....	15
3.1	Häufigkeiten der Metall-Elemente in der Erdkruste	15
3.2	Klassifizierung der Metalle.....	16
3.3	Eigenschaften der Metalle	19
3.3.1	Physikalisch-chemische Eigenschaften	19
3.3.2	Elektrische Leitfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit.....	20
3.3.3	Optische Eigenschaften der Metalle	22
3.3.4	Magnetische Eigenschaften	25
3.3.5	Kristallstrukturen und Legierungsbildung	26
3.3.6	Eigenschaften von dünnen Schichten und Nanokörpern	27
3.3.7	Halbleitereffekte	29
3.3.8	Ausgewählte chemische Eigenschaften der Metalle.....	31
3.4	Toxizitäten der Industriemetalle	42
3.4.1	Toxizitätsmaße	43
3.4.2	Akute und chronische Toxizität.....	44
3.4.3	Gentoxizität	47
3.4.4	Ökotoxizität	48
3.4.5	Gefährdungspotenziale und Sicherheitshinweise	49
4	Metallische Rohstoffe – Mineralien, Bergbau und Anreicherung.....	53
4.1	Mineralien.....	53
4.2	Bergbau und Lagerstätten	56
4.3	Rohstoffanreicherungen.....	59
4.4	Rohstoffaufkommen und Fördermengen	59
5	Applikationen Strategischer Metalle	63
5.1	Keramik- und Glasmaterialien EA.....	63
5.1.1	Funktionskeramiken für elektrische Applikationen.....	64
5.1.2	Mischoxidkeramiken aus Zr und Y	65
5.1.3	Keramik- und Emaille-Pigmente	68
5.1.4	Poliermittel	70
5.2	Materialien für Laser- und Laserdioden.....	70
5.3	Leuchtstoffe	75
5.4	Photovoltaik.....	79
5.5	Bildschirme.....	82
5.6	Energiespeicher und Energiekonvertierungen	89

5.6.1	Stationäre H ₂ -Speicher	91
5.6.2	Mobile elektrische Speicher	92
5.7	Legierungen.....	97
5.7.1	Legierungen der Seltenen Erdmetalle	98
5.7.2	Spezielle SE-Legierungen für Hartmagnete	98
5.7.3	Spezielle SE-Legierungen für weiche Magnete	101
5.7.4	Silber-und Silberlegierungen.....	103
5.7.5	Gold-Legierungen	105
5.8	Katalysatormetalle.....	106
5.9	Leiterkarten	107
5.10	Kontrastmittel in der Medizin	108
5.11	Spezielle Metallapplikationen	110
5.11.1	Applikationen der Edelmetalle Platin und Palladium	110
5.11.2	Applikationen des Halbmetalles Selen.....	110
5.11.3	Applikationen der Refraktären Metalle Niob, Tantal und Wolfram	111
5.11.4	Applikationen vom Antimon.....	113
5.11.5	Applikationen vom Germanium.....	114
5.11.6	Applikationen vom Indium	115
6	Recycling als Rohstoffquelle.....	117
6.1	Metallische Rohstoffreserven.....	117
6.2	Gesetzliche Grundlagen	119
6.3	Aufkommen an WEEE	120
6.4	Materialverluste und Recyclingquoten	121
6.5	Rücknahme, Pfandsysteme und Upcycling	123
6.6	Aufarbeitung von ehemaligen Bergbau- und Hüttenhalden	124
7	Recycling Logistik	125
7.1	Sammeln von Elektroaltgeräten	126
7.2	Demontage von EOL-Produkten	128
7.2.1	Demontage von Laptop-Geräten	129
7.2.2	Demontage von Bildschirm- und TV-Geräten	130
7.2.3	Demontage von Solarmodulen	131
7.2.4	Demontage von Abgaskatalysatoren	132
7.2.5	Demontage von medizintechnischen Geräten	132
7.2.6	Entnahme von Ta-Kondensatoren	133
7.2.7	Recycling von Akkus	134
7.2.8	Zukünftiges Recycling von E-Motoren.....	135
7.2.9	Demontage von Handys	135
7.2.10	Sammlung von Festplatten	136
7.2.11	Zerlegen von Glasfaserkabeln.....	136
8	Primäre und sekundäre Metallverhüttung	139
8.1	Pyrometallurgie	139
8.1.1	Metalle aus Metallschmelzen	139

8.1.2	Metallextraktionen durch Seigern.....	141
8.1.3	Extraktionen von Nd-Abfällen mit Mg oder Ag.....	142
8.1.4	Pyrolyse mittels Vergasungstechnik.....	144
8.1.5	Aufarbeitung von Armerzen und hochverdünntem Recyclinggut.....	145
8.2	Hydrometallurgie	148
8.2.1	Metalle aus Elektrolysen	148
8.2.2	Aufschlüsse mit Säuren	149
8.2.3	Basische Aufschlüsse zur Metallgewinnung	159
8.2.4	Verluste bei hydrometallurgischer Gewinnung	161
8.3	Extraktion mit Reaktantgasen	163
8.3.1	Extraktion mit Cl ₂ oder HCl	163
8.3.2	Extraktion mit Wasserstoff.....	167
8.3.3	Umsetzung durch Verbrennung von Recyclingmaterialien	168
8.4	Herstellung von Lithium	168
8.5	Hochreine Metalle.....	169
8.6	Recycling von Polystyrenabfällen	170
9	Recycling und Umwelt	173
9.1	Recycling als Klimaschutz.....	173
9.2	Ökotoxikologische Probleme bei der Abwasseraufarbeitung	174
9.2.1	Nanosilber im Abwasser.....	174
9.2.2	Gd-Ionen im Abwasser	174
9.2.3	Schwermetallionen aus Elektrolysebädern	176
9.3	Hg-Schadstoffentfrachtung beim Recycling von Leuchtstoffröhren	176
9.4	Schadstoffe bei Pyrolyseverfahren	177
10	Substitutionen Kritischer Elemente.....	179
10.1	Substitutionsmodelle.....	179
10.2	Substitutionsbeispiele für SE-Metalle.....	181
10.2.1	Statikspeicher für Kleinrechner	181
10.2.2	Reluktanzmotor	181
10.2.3	Substitution der Gd-Kontrastmittel.....	182
11	Elementanalytik.....	185
11.1	Probenahme und Probenvorbereitung.....	185
11.2	Spektroskopische Bestimmungsverfahren	185
11.2.1	Atomemissionsanalyse (AES).....	187
11.2.2	ICP-Massenspektroskopie (ICP-MS)	188
11.2.3	Röntgenfluoreszenzanalyse RFA.....	189
11.2.4	Qualitative UV/VIS-Spektroskopie	190
11.2.5	IR-Spektroskopie	191
11.3	Quantitative Analytik, Reinheit und Konzentrationsmaße	193
11.3.1	Quantitative UV/VIS-Spektroskopie	193
11.3.2	Atomabsorptionsspektroskopie (AAS)	194
11.3.3	Dotierung und Reinheit	195

11.4	Sensorik und analytische Schnellbestimmungen.....	196
12	Anhang.....	199
	Tabellen	199
	Wissenschaftlervverzeichnis.....	205
	Glossar	209
	Literatur.....	239
	Index	249