

# Inhaltsverzeichnis

<b>Geleitwort</b>	<b>v</b>
<b>Vorwort der Herausgeber</b>	<b>vii</b>
<b>Autorenverzeichnis</b>	<b>xiii</b>
<b>Teil I Verfügbarkeit primärer Ressourcen und Effizienz</b>	<b>1</b>
<b>1 Metalle für Europas Industrie — ob die Öffentlichkeit sie will oder nicht?</b>	<b>3</b>
1.1 Am Beginn eines Paradigmenwechsels?	3
1.2 Metalle für eine kohlenstoffarme Gesellschaft	4
1.3 Heimische Rohstoffe in Europa	11
1.4 Die gesellschaftliche Lizenz zum Bergbau	14
<b>2 Innovationen in Abbau und Verarbeitung Seltener Erden</b>	<b>19</b>
2.1 Wechselwirkung von Bergbau und Technologie	19
2.2 Anwendung von Seltenerdelementen	20
2.3 Quellen der Seltenerdelemente	21
2.4 Das Verhältnis von Bergbau zu Industrie	24
2.5 Was kommt als Nächstes?	25
<b>3 Antworten auf die Kritikalität von Materialien: Historische Beispiele</b>	<b>29</b>
3.1 Kritische Materialien	29
3.2 Kollaps der Bronzezeit (~ 1.200 v. Chr.)	29
3.3 Ammoniak und Stickstoff (spätes 19. und frühes 20. Jahrhundert)	30
3.4 Kobalt und Molybdän (späte 1970er- bis frühe 1980er-Jahre)	31
3.5 Seltene Erden (2000er-Jahre)	31
3.6 General Electric (2000er-Jahre)	33
3.7 Schlussgedanken	34

---

<b>4</b>	<b>Globale Angebotskonzentration von mineralischen Rohstoffen und Zwischenprodukten</b>	<b>37</b>
4.1	Dynamik bei mineralischen und energetischen Ressourcen	37
4.2	Herausforderungen auf den Rohstoffmärkten	38
4.3	Methodik der Kritikalitätsbetrachtung für mineralische Rohstoffe und Handelsprodukte	39
4.4	Potenzielle Preis- und Lieferrisiken für mineralische Rohstoffe und Handelsprodukte erkennen	41
4.5	Ausweichstrategien entwickeln	43
<b>5</b>	<b>Phosphatrecycling aus Klärschlammassen — warum Phosphorsäure der Königsweg ist</b>	<b>49</b>
5.1	Einführung	49
5.2	Rohstoffsituation und Verfügbarkeit	50
5.3	Gründe für das Phosphatrecycling	52
5.4	Die Schwermetallfrage	53
5.5	Klärschlamm als anthropogene Phosphatquelle	55
5.6	Ansätze zum Phosphatrecycling	56
5.7	Mineralogie der Klärschlammassen	57
5.8	P-Recycling unter Berücksichtigung der Aschemineralogie	58
5.9	Phosphatrecycling aus KSA – Phosphorsäure ist das Produkt der Wahl	59
<b>6</b>	<b>Recycling von seltenen Metallen und deren Verbindungen</b>	<b>65</b>
6.1	Sonderfall Seltene Metalle	65
6.2	Recycling seltener Metalle	66
6.3	Endreinigung der seltenen Metalle	69
<b>7</b>	<b>Metalle: Aktivatoren von Kreislaufwirtschaft und Recycling 4.0</b>	<b>73</b>
7.1	Einleitung	73
7.2	Produktzentriertes Recycling – Aktivieren von Kreislaufwirtschaft und Recycling 4.0	77
7.3	Recyclingpolitik, die eine Kreislaufwirtschaft ermöglicht	80
7.4	Chancen und Risiken von Recycling	82
7.5	Eine Kreislaufwirtschaft entwickeln: Die Ressourceneffizienz aus Abbildung 7.1 quantifizieren	90
7.6	Schlussfolgerungen: Kreislaufwirtschaft mit Systemintegrierter Metallproduktion ermöglichen	92
<b>8</b>	<b>Magnetische Materialien — Schlüsselkomponenten für neue Energietechnologien</b>	<b>99</b>
8.1	Magnetische Materialien im Fokus von Industrie und Gesellschaft	99
8.2	Permanentmagnete – Grundlagen	101
8.3	Die Ressourcenkritikalität seltenerdhaltiger Permanentmagnete	104
8.4	Ausblick: Seltene Erden und Permanentmagnete – ein Engpass für die Energiewende?	115

<b>Teil II Ressourcentechnologien und -strategien</b>	<b>119</b>
<b>9 Forschung für Nachhaltigkeit</b>	<b>121</b>
9.1 Einleitung: Forschungspolitischer Rahmen	121
9.2 Herausforderung 1: Erhöhung der Rohstoffproduktivität	123
9.3 Herausforderung 2: Sicherung der Rohstoffbasis für die deutsche Industrie	124
9.4 Herausforderung 3: Verbreiterung der Rohstoffbasis – CO <sub>2</sub> als alternative Rohstoffquelle erschließen	126
9.5 Ausblick	127
<b>10 Energiekosten und Investitionsentwicklung in einem Unternehmen der Metallindustrie</b>	<b>129</b>
10.1 Wirtschaftliche und gesetzgeberische Randbedingungen	129
10.2 Kupfer und die Energiewende	130
10.3 Der Kreis schließt sich: Leistung versus Kosten und Energieaufwand	132
<b>11 Veränderung in der Rohstoffbasis in der Petrochemie und die Auswirkungen auf Europa</b>	<b>135</b>
<b>12 Methanol — der Schlüssel zur Energie- und Rohstoffwende</b>	<b>141</b>
12.1 Einführung	141
12.2 Methanol im Mobilitätssektor	145
12.3 PtG als Alternative?	147
12.4 Methanol als Energiespeicher	148
12.5 Methanol als Chemierohstoff	151
12.6 Coal-to-Chemicals — die Zukunft hat bereits begonnen	151
12.7 Die Situation in Deutschland	154
12.8 Zusammenfassung	156
<b>13 EIT RawMaterials: Einführung in eine neue Wissens- und Innovationsgemeinschaft</b>	<b>159</b>
13.1 EIT RawMaterials	159
13.2 Aktivitäten von EIT RawMaterials als Service-Angebote	162
13.3 Ziele für die kommenden sieben Jahre	163
<b>14 Demographie und Rohstoffe — Wechselseitige Einflüsse</b>	<b>165</b>
14.1 Die Ausgangslage	165
14.2 Demographische Veränderungen	166
14.3 Metallische Rohstoffe: Status und Anforderungen	168
14.4 Energetische Rohstoffe: Status und Anforderungen	173
14.5 Die Energiewende in Deutschland	176
14.6 Konsequenzen	180
14.7 Ausblick	181

---

<b>Teil III Zukünftige Herausforderungen und Lösungsansätze</b>	<b>185</b>
<b>15 Ressourcentechnologien 2065</b>	<b>187</b>
15.1 Trends beim Ressourcenverbrauch	187
15.2 Alternativen für die Ressourcenbereitstellung	190
15.3 Trends bei Rohstofftechnologien	192
15.4 Schlussfolgerungen	198
<b>16 Ansatzpunkte einer globalen ökologischen Wende: Ressourcen- und Schadensentkopplung</b>	<b>201</b>
16.1 Grenzerreichung – Grenzüberschreitung	201
16.2 Erstes Beispiel: Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation	201
16.3 Zweites Beispiel: Relative oder absolute Entkopplung?	202
16.4 Ein Zwischenfazit	204
16.5 Drittes Beispiel: Global Environmental Governance	206
16.6 Kollaps oder planetarische Kooperation?	207
<b>17 Mittel- und langfristige Energie- und Rohstoffherausforderungen — die nächsten 50 Jahre...</b>	<b>209</b>
17.1 Prolog	209
17.2 Worin bestehen die mittel- und langfristigen Herausforderungen?	210
17.3 Wie können wir die Herausforderungen meistern? – Lösungsansätze	215
17.4 Strategieempfehlungen	222
<b>Sachverzeichnis</b>	<b>227</b>