

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	i
Abbildungsverzeichnis	vi
Tabellenverzeichnis	xi
Abkürzungsverzeichnis	xiii
1. Einleitung	1
1.1. Die Seltenen Erden und ihr Beitrag zum Klimaschutz	1
1.2. Aufbau und Struktur der Arbeit	3
2. Seltene Erden	5
2.1. Physikalische und chemische Eigenschaften	5
2.2. Verwendung	7
2.3. Vorkommen	8
2.3.1. Mineralogie	10
2.3.2. Primäre und sekundäre Lagerstätten	11
2.3.3. Sekundärrohstoffquellen	13
2.4. Gewinnung der Seltenen Erden	16
2.4.1. Bergbau und mechanische Aufbereitung	17
2.4.2. Chemischer Aufschluss und Gewinnung von Seltenerdzwischenprodukten	19
2.4.3. Trennung der einzelnen Seltenen Erden	23
2.5. Wirtschaftliche Bedeutung	25
3. Phosphogips	30
3.1. Herstellung und Zusammensetzung von Phosphogips	30
3.2. Derzeitige Nutzung und Deponierung	32
3.3. Gewinnung der Seltenen Erden aus Phosphatgestein und Phosphogips	33
4. Hydrometallurgische Verfahren zur Gewinnung Seltener Erden aus Monazit	36
4.1. Aufschluss und Laugung	36
4.1.1. Saurer Aufschluss	36
4.1.2. Alkalischer Aufschluss	38
4.1.3. Weitere Aufschlussmethoden	39
4.2. Gewinnung eines Seltenerdzwischenproduktes	40

4.2.1. Entfernen der Verunreinigungen	41
4.2.2. Fällung der Seltenen Erden.....	42
5. Carbonatit-Komplex Catalão I.....	47
6. Kostenschätzung verfahrenstechnischer Prozesse	51
6.1. Projektplanung und -phasen.....	51
6.2. Abschätzung der Investitionskosten	53
6.3. Abschätzung der Produktionskosten und Erlöse.....	56
7. Material und Methoden	59
7.1. Material.....	59
7.1.1. Monazitkonzentrat	59
7.1.2. Chemikalien.....	59
7.2. Analytik	60
7.2.1. Lichtmikroskopie.....	60
7.2.2. Partikelgrößenverteilung	60
7.2.3. Chemische Analyse	60
7.2.4. Röntgendiffraktionsanalyse	60
7.2.5. Elektronenstrahlmikroanalyse	60
7.3. Versuchsdurchführung.....	60
7.3.1. Aufschluss, Laugung und Fällung	60
7.3.2. Statistische Versuchsplanung	61
7.4. Wirtschaftliche Betrachtung	61
8. Experimentelle Untersuchungen.....	63
8.1. Charakterisierung des Monazitkonzentrats.....	64
8.1.1. Partikelgrößenverteilung	64
8.1.2. Chemische Analyse	64
8.1.3. Elektronenstrahlmikroanalyse	66
8.2. Aufschluss und Laugung	67
8.2.1. Vorversuche.....	67
8.2.2. Optimierung des Aufschlusses mittels statistischer Versuchsplanung.....	69
8.2.3. Optimierung des zweistufigen Aufschlusses und der anschließenden Laugung	78

8.2.4. Charakterisierung des Laugungsrückstandes.....	81
8.3. Entfernen der Verunreinigungen.....	88
8.4. Fällung der Seltenen Erden.....	93
8.5. Fazit	101
9. Verfahrensvorschlag.....	104
10. Wirtschaftliche Bewertung des Verfahrens.....	111
10.1. Kalkulation der Investitionskosten.....	111
10.2. Produktionskosten und Erlöse	115
10.3. Wirtschaftliche Bewertung.....	120
11. Zusammenfassung und Ausblick.....	126
Literaturverzeichnis.....	xiv
Anhang	xxvii