

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I. Abbildungsverzeichnis	V
II. Tabellenverzeichnis	IX
III. Kurzfassung	XI
IV. Abstract	XII
V. Extended Abstract	XIII
1 Einleitung und Zielsetzung	1
2 Marktsituation und Stand der Recyclingtechnik für Silber	3
2.1 Eigenschaften und Anwendungen des Silbers	3
2.2 Versorgungslage und Kritikalität	4
2.3 Bedeutung des Silbers für Deutschland	6
2.4 Silberhaltige Sekundärmaterialien	7
2.5 Prozessrouten der Silberrückgewinnung	8
2.5.1 Metallische Ausgangsmaterialien	8
2.5.2 Oxidische Ausgangsstoffe	11
2.6 Vorstellung des zu untersuchenden Schlackensystems	12
3 Grundlagen	14
3.1 Schlackenmetallurgische Grundlagen	14
3.1.1 Struktur silikatischer Schlacken	15
3.1.2 Einfluss verschiedener Metalloxide auf silikatische Schlacken	16
3.1.3 Sauerstofflöslichkeit in Schlacken	18
3.1.4 Farbgebung in Gläsern und Schlacken	23
3.1.5 Grundlagen der Diffusion und Diffusion in der Schlackenmetallurgie	24
3.1.6 Sauerstoffpermeabilität	29
3.1.7 Zusammenfassung der schlackenmetallurgischen Grundlagen	30
3.1.8 Anwendung der schlackenmetallurgischen Grundlagen auf das zu untersuchende System	31
3.2 Thermochemische, thermodynamische und physikalische Grundlagen	37
3.2.1 Ideal verdünnte Lösung und reale Mischung	38
3.2.2 Aktivität	40

3.2.3	Thermodynamische Gleichgewichtskonstante und freie Standardreaktionsenthalpie	40
3.2.4	Verteilungskoeffizient	42
3.2.5	Zusammenfassung der thermochemischen, thermodynamischen und physikalischen Grundlagen.....	42
3.2.6	Anwendung der thermochemischen Grundlagen auf das zu untersuchende System.....	43
3.3	Experimentelle Ergebnisse zur Verschlackung von Wertmetallen in ähnlichen Schlackensystemen	46
3.3.1	Einfluss der Atmosphäre auf die Verschlackung von Wertmetallen	47
3.3.2	Einfluss der Temperatur auf die Verschlackung von Wertmetallen	49
3.3.3	Einfluss der chemischen Zusammensetzung und von Schlackenadditiven auf die Verschlackung von Wertmetallen	51
3.4	Zusammenfassung Grundlagen und Ableitung des Forschungsbedarfs	58
4	Experimentelle Arbeiten.....	60
4.1	Zielsetzung der experimentellen Arbeiten	60
4.2	Arbeitshypothesen.....	60
4.2.1	Sauerstoffpartialdruck.....	61
4.2.2	Temperatur	61
4.2.3	Schlackenadditive.....	61
4.3	Grundsätzliches methodisches Konzept.....	62
4.4	Versuchsdurchführung	63
4.4.1	Vorbereitende Arbeiten	64
4.4.2	Kinetik- und Gleichgewichtsversuche	66
4.5	Versuchsnachbereitung.....	68
4.5.1	Chemische Analyse der Schlackenphase	69
4.6	Versuchsergebnisse.....	69
4.6.1	Phase 1: Klärung der Verschlackungsform.....	70
	▪ Bestimmungsmethodik und Versuchsreihen	70
	▪ Ergebnisse und Diskussion	71
	▪ Zwischenrésumé und Übertrag der Erkenntnisse auf einen industriellen Prozess	74
4.6.2	Phase 2: Aufschlüsselung des Verschlackungsmechanismus	75

▪	Bestimmungsmethodik und Versuchsreihen	75
▪	Ergebnisse und Diskussion.....	75
▪	Zwischenrésumé und Übertrag der Erkenntnisse auf einen industriellen Prozess	79
4.6.3	Phase 3: Kinetische Betrachtung der Verschlackung	80
▪	Bestimmungsmethodik und Versuchsreihen	80
▪	Ergebnisse und Diskussion.....	80
▪	Zwischenrésumé und Übertrag der Erkenntnisse auf einen industriellen Prozess	85
4.6.4	Phase 4: Einfluss der Temperatur auf die Verschlackung	86
▪	Bestimmungsmethodik und Versuchsreihen	86
▪	Ergebnisse und Diskussion.....	87
▪	Zwischenrésumé und Übertrag der Erkenntnisse auf einen industriellen Prozess	92
4.6.5	Phase 5: Einfluss von Additiven auf die Verschlackung.....	93
▪	Bestimmungsmethodik und Versuchsreihen	93
▪	Ergebnisse und Diskussion.....	94
▪	Zwischenrésumé und Übertrag der Erkenntnisse auf einen industriellen Prozess	103
5	Diskussion der Fehlerquellen	105
6	Erkenntnisgewinn und Gesamtbewertung	109
7	Anhang	115
7.1	Weltweite Entwicklung der Verwendung von Silber in den Jahren 2002, 2006 und 2011	115
7.2	Alternative Basizitätsgleichungen.....	115
7.3	Diffusionsgeschwindigkeit und 1. Fick'sches Gesetz	116
7.4	Chemische Bindung/Arrhenius-Beziehung	117
7.5	Räumliche Barriere/Frenkel-Beziehung.....	117
7.6	Datensatz zur Abbildung 27	118
7.7	Verwendete Materialien und Anlagen	119
7.7.1	Verwendete Reinchemikalien.....	119
7.7.2	Verwendete sonstige Chemikalien	119

Inhaltsverzeichnis

7.7.3	Verwendete Keramiken.....	120
7.7.4	Verwendete Versuchsaggregate.....	120
7.8	Aufbereitung des Silberregulus.....	122
7.9	Analyseergebnisse	123
7.9.1	Phase 1: Klärung der Verschlackungsform.....	123
7.9.2	Phase 2: Aufschlüsselung des Verschlackungsmechanismus	124
7.9.3	Phase 3: Kinetische Betrachtung der Verschlackung	125
7.9.4	Phase 4: Einfluss der Temperatur auf die Verschlackung	127
7.9.5	Phase 5: Einfluss ausgewählter Additive.....	128
7.10	Ellingham-Diagramm.....	133
8	Literaturverzeichnis.....	134