

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Materialwissenschaftliche Charakterisierung von bleihaltigem Messing. ....</b>	<b>2</b>
<b>3 Gesundheitsgefahr und Reglementierung von bleihaltigen Werkstoffen. ....</b>	<b>4</b>
3.1 Toxizität und Toxikokinetik .....	4
3.2 Rechtliche Beschränkungen für den Einsatz von Blei .....	4
<b>4 Industrielles Messingrecycling .....</b>	<b>7</b>
<b>5 Forschungsbedarf und Prozessauswahl .....</b>	<b>8</b>
<b>6 Vakuumdestillation .....</b>	<b>13</b>
6.1 Allgemeine Druckterminologie .....	13
6.2 Stand der Forschung und Ableitung der experimentellen Methodik .....	15
6.3 Thermochemische Prozessmodellierung und -auslegung für das System Cu-Zn-Pb .....	16
6.4 Experimentelle Umsetzung der Zinkdestillation (1. Destillationsstufe) .....	19
6.4.1 Auswirkung gekoppelter Druck-Temperaturvariation .....	23
6.4.2 Einfluss der Haltezeit .....	27
6.5 Experimentelle Umsetzung der separaten Bleidestillation (2. Destillationsstufe) .....	29
6.5.1 Parameterauslegung der Bleidestillation .....	31
6.5.2 Auswertung der Bleidestillation .....	33
6.6 Metallurgische Bewertung des zweistufigen Vakuumdestillationsprozesses .....	35
<b>7 Präzipitation .....</b>	<b>37</b>
7.1 Thermodynamische Betrachtungen des Systems Cu-Zn-Pb-Ca-O .....	37
7.2 Forschungsstand der Ausfällung intermetallischer Calcium-Blei-Verbindungen ..	41
7.3 Allgemeine Überlegungen zur Phasenseparation .....	43
7.4 Experimentelle Arbeiten .....	46
7.4.1 Effizienz der Natriumfluoridzugabe auf die Bildung und Separation intermetallischer Calcium-Blei-Phasen .....	49
7.4.2 Einfluss der Temperatur auf die Bleientfernung .....	52
7.4.3 Beeinflussung der Bleientfernung durch variierende Calciummengen .....	55
7.4.4 Auswirkung der Haltezeit auf den Präzipitationsprozess .....	56
7.5 Metallurgische Bewertung des Präzipitationsprozesses .....	59
<b>8 Fraktionierte Kristallisation .....</b>	<b>61</b>
8.1 Thermophysikalische Grundlagen der Kristallisation .....	61
8.2 Einführung in die Kristallisationstechnik .....	63

---

8.3	Auswahl des Legierungssystems und Erstarrungsmodellierung .....	67
8.4	Experimentelle Umsetzung.....	69
8.4.1	Temperaturverlauf während der Kristallisation .....	72
8.4.2	Einfluss des Temperaturunterschieds zwischen den Heizzonen auf den Raffinationsgrad.....	73
8.4.3	Einfluss des Kühlgasvolumenstroms .....	75
8.5	Metallurgische Bewertung des Kristallisationsprozesses .....	77
<b>9</b>	<b>Vergleichende Prozessevaluation .....</b>	<b>79</b>
<b>10</b>	<b>Pilottechnische Untersuchungen der Vakuumdestillation .....</b>	<b>88</b>
10.1	Kinetik der Vakuumdestillation .....	88
10.1.1	Entwicklung eines Kinetikmodells der Zinkdestillation aus Messingschmelzen.	89
10.1.2	Empirische Validierung des Kinetikmodells.....	94
10.2	Experimentelle Implementierung der zweistufigen Vakuumdestillation im Pilotmaßstab .....	96
10.2.1	Anlagentechnik.....	96
10.2.2	Allgemeine Versuchsdurchführung der zweistufigen Vakuumdestillation .....	97
10.3	Ergebnisse der zweistufigen Vakuumdestillation.....	99
10.3.1	Chemische Analytik der ersten Destillationsstufe .....	100
10.3.2	Chemische Analytik der zweiten Destillationsstufe .....	102
10.3.3	Stoffflussanalyse.....	105
10.3.4	Durchsatz und Verdampfungsgeschwindigkeit .....	106
10.3.5	Energiebedarf.....	112
10.4	Prozessbewertung .....	116
<b>11</b>	<b>Zusammenfassung und Fazit .....</b>	<b>121</b>
<b>12</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>125</b>
<b>13</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>XXVIII</b>
13.1	Herleitung der Summenformel zur Berechnung der kumulierten Zinkkonzentration im Dampf .....	XXVIII
13.2	Bestimmung der Sherwood-Zahl.....	XXVIII
13.3	Herleitung der Gesamtdestillationsrate aus den Einzelschritten.....	XXIX
13.4	Bestimmung der Wärmekapazität.....	XXX
13.5	Stoffdaten .....	XXXI
13.6	Technology Readyness Levels (TLRs).....	XXXII
13.7	Verdünnungskalkulation .....	XXXIII