

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Deutsch - Chilenische
Industrie - und Handelskammer
Cámara Chileno-Alemana
de Comercio e Industria - CAMCHAL

Wertbestandteile in bergbaulichen Rückständen und Nebenprodukten

Erstaufnahme zu Potenzialen für den Sekundärbergbau in Chile

Dr. Roberto Mallea

Stand: Juni 2014

[Durch eine Beschreibung des konkreten Umfeldes sowie durch eine erste Aufnahme der zu erwartenden Potenziale des Sekundärbergbaus in Chile, soll sowohl das Interesse der deutschen als auch der chilenischen Industrie für eine Zusammenarbeit in diesem relativ neuen Segment der Rohstoffwirtschaft geweckt werden. Durch eine erste Erfassung, Sichtung und Bearbeitung von öffentlich zugänglichen Informationen und Datenquellen soll gleichzeitig die Verbesserung und Angleichung des Kenntnisstandes zum Kooperationspotential im Sekundärbergbau bei Unternehmen und Institutionen der Rohstoffwirtschaft beider Länder erreicht werden].

Kontakt:

**Deutsch-Chilenische Industrie- und Handelskammer
(AHK Chile)**

P.O. Box Casilla 19, Correo 35

SANTIAGO DE CHILE

C. P. 67 60 235, CHILE

Telefon: +56 2 203 53 - 20

Telefax: +56 2 203 53 - 25

E-Mail: aglatz@camchal.cl

Autor

Dr. Roberto Mallea

Redaktion/ Layout:

Annika Glatz

Camila Vargas

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort der AHK Chile	5
2	Ermittlung der für die deutsche Industrie relevanten Elemente	7
3	Geo-Metallische Beschreibung Chiles	8
3.1	Metallisches Mineral.....	10
3.1.1	Kupfer.....	10
3.1.2	Molybdän	11
3.1.3	Gold.....	12
3.1.4	Silber	13
3.1.5	Blei	14
3.1.6	Zink.....	14
3.1.7	Eisen	14
3.1.8	Mangan	15
3.2	Erze und Industriemineral	15
3.2.1	Ton	15
3.2.2	Kalziumkarbonat.....	16
3.2.3	Natriumchlorid	17
3.2.4	Schwefelverbindungen	18
3.2.5	Borverbindungen	18
3.2.6	Lithiumverbindungen.....	19
3.2.7	Kaliumverbindungen.....	20
3.2.8	Nitrate	20
3.2.9	Kieselhaltige Ressourcen.....	21
3.2.10	Phosphatgestein	22

3.2.11	Natursteine.....	22
3.2.12	Gips	23
3.2.13	Jod.....	23
4	Bestimmung der Bergbaurückstände in den Etappen der Kupferproduktion	24
4.1	Kupferproduktionsschema	25
4.2	Rückstände aus der Kupfererzbearbeitung.....	25
4.2.1	Hydrometallische Bearbeitung	25
4.2.2	Konzentration und pyrometallurgische Verarbeitung.....	26
4.2.3	Extraktionsrückstände in der Mine	26
4.2.4	Rückstandserzeugung in der Produktionskette	27
4.2.5	Andere Industrieabfälle	30
4.3	Schätzung der wichtigsten Bergbaurückstände.	31
5	Präsenz interessanter Elemente in Bergbaurückständen.....	32
5.1	Potenzielle Präsenz	32
5.2	Nachgewiesene Präsenz.....	33
6	Rückgewinnung der Wertelemente.....	37
6.1	Geplante und teilw. Laufende Projekte	37
6.1.1	Projekt 1	37
6.1.2	Projekt 2	38
6.1.3	Projekt 3	39
6.1.4	Projekt 4	39
6.1.5	Projekt 5	40
6.1.6	Nutzung der Gießereischlacke.....	41
6.1.7	Gießereigase.....	41
6.1.8	Schlacke (Projekt „Untersuchung zur Nutzung der Kupferschlacken“, Technisches Institut der Universität Atacama, Chile“)	42

7	Ergebnisse, Vorschläge und Empfehlungen für zukünftige Maßnahmen	42
8	Literatur- und Quellenverzeichnis	45
9	Abbildungsverzeichnis	47
10	Tabellen.....	47

1 Vorwort der AHK Chile

In der Deutschen Rohstoffstrategie aus dem Jahr 2010 wurde festgehalten, dass die Gewährleistung einer bedarfsgerechten Versorgung der Industrie mit mineralischen Rohstoffen von grundlegender Bedeutung für die Wirtschaft Deutschlands und seine Stellung als führender High-tech-Standort ist. Aufgrund der Tatsache, dass bezüglich der Industrierohstoffe eine hohe Importabhängigkeit besteht sind strategische Partnerschaften mit rohstoffreichen Ländern wie beispielsweise Chile von zentraler Bedeutung für die Diversifizierung von Lieferquellen für die deutsche Wirtschaft.

In Folge der Deutschen Rohstoffstrategie wurde im Jahr 2012 das Kompetenzzentrum Bergbau und Rohstoffe in der AHK Chile gegründet, das sich mit Unterstützung des Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und in enger Zusammenarbeit mit der Deutschen Rohstoffagentur DERA der Entwicklung von konkreten Projekten und Initiativen widmet, die der Umsetzung der Deutschen Rohstoffstrategie im Rohstoffland Chile dienen. Viele für Deutschland relevante Rohstoffe werden in Chile abgebaut. Eine intensive Zusammenarbeit beider Länder kann zur besseren Nutzung von noch nicht ausgeschöpften Potenzialen und Synergien im Sinne der Rohstoffstrategie der Bundesregierung beitragen. In der Konsequenz dieser Erkenntnisse wurde im Januar 2013 eine Regierungsvereinbarung für eine Deutsch-Chilenische Rohstoffpartnerschaft zur strategischen Zusammenarbeit zwischen beiden Ländern im Bereich Bergbau und Rohstoffe unterzeichnet.

Der sogenannte Sekundärbergbau wurde im Ergebnis der Aktivitäten des Kompetenzzentrums Bergbau und Rohstoffe als eine potenzialträchtige Alternative für den Zugang zu Rohstoffstoffen identifiziert. Da jedoch in Chile die Zahl konkreter Projekte im Bereich des Sekundärbergbaus noch gering ist und eine nur diffuse Informationslage herrscht, soll vorliegendes Arbeitsdokument die deutsche Industrie mit einer ersten Betrachtung der Potenziale für den Sekundärbergbau in Chile ausstatten.

Durch eine Beschreibung des konkreten Umfeldes sowie durch eine erste Vorausschau auf die zu erwartenden Potenziale des Sekundärbergbaus in Chile, soll das Interesse der deutschen wie auch der chilenischen Industrie für eine Zusammenarbeit in diesem relativ neuen Segment der Rohstoffwirtschaft geweckt werden. Diese erste Erfassung, Sichtung und Bearbeitung von öffentlich zugänglichen Informationen und Datenquellen soll gleichzeitig der Verbesserung und Angleichung des Kenntnisstandes zum Kooperationspotential im Sekundärbergbau bei Unternehmen und Institutionen der

Rohstoffwirtschaft beider Länder dienen und zielt damit auch auf die Erschliessung neuer Geschäftsmodelle im chilenischen Bergbau ab. .

Forschungsprojekte zur detaillierten geologischen Analyse von Bergbauabfällen und der darin enthaltenen Elemente wurden bereits von verschiedenen deutschen Akteuren in den vergangenen Jahren initiiert. Mit dem Kompetenzzentrum Bergbau und Rohstoffe bietet die AHK Chile in diesem Kontext für deutsche Unternehmen und Institutionen die zentrale Anlaufstelle für ein Engagement in der chilenischen Bergbau- und Rohstoffwirtschaft und deren Sekundärbergbau an.

Mit freundlichen Grüßen,

Cornelia Sonnenberg
Geschäftsführerin AHK Chile

Annika Glatz
Projekt Manager Kompetenzzentrum
Bergbau und Rohstoffe

2 Ermittlung der für die deutsche Industrie relevanten Elemente

Viele Industrieländer, unter ihnen mehrere EU-Mitglieder, die USA und Japan, haben ausdrücklich geäußert, dass der Mangel bestimmter Rohstoffe aufgrund der hohen Abhängigkeit bezüglich dieser Ressourcen von Ländern wie China, Russland, der Demokratischen Republik, Kongo und Brasilien eine Herausforderung für ihre Volkswirtschaften darstellt.

Wie Tabelle 1 aufzeigt, steigt die Nachfrage für verschiedene Elemente zwischen 2006 und 2030 infolge ihrer verstärkten Nutzung in neuen Technologien deutlich an:

Tabelle 1: Weltweites Nachfrageverhalten einiger für neue Technologien eingesetzter Rohstoffe von 2006 bis 2030

Rohstoff	Weltproduktion 2006 (t)	Nachfrage für neue Technologien 2006 (t)	Nachfrage für neue Technologien 2030 (t)	Nachfrageanstieg für neue Technologien %
Gallium	152	28	603	2153,6
Indium	581	234	1.911	816,7
Germanium	100	28	220	785,7
Neodym (seltene Erde)	16.800	4.000	27.900	697,5
Platin (GMP)	255	nicht relevant	345	345,0
Tantal	1.384	551	1.410	255,9
Silber	19.051	5.342	15.823	296,2
Kobalt	62.279	12.820	26.860	209,5
Palladium (GMP)	267	23	77	334,8
Titanium	7.211.000	15.397	58.148	377,7
Kupfer	15.093.000	1.410.000	3.696.070	262,1

Quelle [1]: BGR im April 2010.

Deutschland bezieht diese Elemente hauptsächlich aus Ländern, die ein umfangreiches geologisches Potenzial konzentrieren. So produzierte China im Jahr 2007 95% und im Jahr 2010 sogar 97 % der seltenen Erden weltweit. Im selben Jahr gab China bekannt, dass der Export seltener Erden auf 30.300 Tonnen reduziert werden würde. Ein Jahr später, in 2011, verringerte China die Exportquote ein weiteres Mal. Die Regierung der USA reagierte auf diese Ankündigungen im März 2012 mit einer formalen Beschwerde vor der

WTO (Welthandelsorganisation). Diese Reduzierungen riefen schwerwiegende handelspolitische Probleme zwischen China und Japan, Deutschland und anderen Ländern, die diese Produkte nachfragen, hervor und führte zu einer Verschärfung des Wettbewerbs der Industrieländern um die stabile Versorgung mit diesen strategischen Rohstoffen.

Für die Zwecke der vorliegenden Studie werden bevorzugt jene Elemente analysiert, die von der Ad-hoc Arbeitsgruppe der europäischen Kommission als kritische Rohstoffe für Unternehmen und Industrie in ihrem Bericht vom Juli 2010 als strategisch definiert wurden (siehe Tabelle 2). Zwischenzeitlich wurde die Tabelle um weitere Elemente erweitert [2].

Tabelle 2: Von der EU als kritisch eingestufte Rohstoffe

Antimonium	Indium
Beryllium	Magnesium
Kobalt	Niobium
Fluorit	Platinummetalle
Gallium	Seltene Erden
Germanium	Tantal
Grafit	Tungsten (Wolfram)

Quelle [3]: Europäische Kommission, Juni 2010.

3 Geo-Metallische Beschreibung Chiles

Die Metallogene der Andenkordillere und speziell die des chilenischen Teils ist laut Maksaev [4] ein aktiver Kontinentalrand mit Subduktion der ozeanischen Erdkruste unter die südamerikanische Platte.

Chile befindet sich in einer geologisch sehr vorteilhaften Lage für die Bildung bedeutender und zahlreicher Metallagerstätten mit verschiedenen Komponenten. So findet sich in Chile eine der größten Kupfermineralisierungen der Welt, insbesondere in aderförmigen, porphyrischen und stratiformen Lagerstätten. In ersteren finden sich vor allem Kupferoxiderze, wie Atacamit, Kuprit, Chrysokoll und Brochantit. In den porphyrischen Kupferlagerstätten finden sich Kupferpyrit, Covellin, Bornit, Energit und Kupferglanz. Des Weiteren können in diesen Lagerstätten unterschiedliche Mengen von Molybdän, Silber, Gold und in geringerem Umfang unter anderem auch Zink, Selen und Indium vorkommen, zusammen mit einer leichten Anreicherung von seltenen Erden. Die stratiformen

Lagerstätten liegen in der Küstenkordillere und weisen eine bedeutende Kupfersulphidmineralisierung mit hohem Erzgehalt auf.

Der Großteil dieser Ressourcen konzentriert sich auf den Norden Chiles und die geografische Verteilung bildet metallogenetische Provinzen oder Nord-Süd-Streifen, die sich durch die Präsenz einer oder mehrerer Arten von Lagerstätten auszeichnen, wobei die porphyrischen Kupferlagerstätten vorherrschend sind.

Die Metallerzreserven sind eine fundamentale Säule der chilenischen Wirtschaft, wobei der Schwerpunkt auf Kupfer-, Molybdän-, Gold-, Silber-, Eisen-, Blei-, Zink- und Manganerzreserven liegt. Tabelle 3 verzeichnet die Produktion des Jahres 2012 und den Anteil an der Weltproduktion.

Tabelle 3: Metallerzproduktion 2012

Produkt	Jahr 2012	% der Weltproduktion
Kupfer (kt Metallinhalt)	5.433,9	31,5
Molybdän (kt Metallinhalt)	35.089,9	14,12
Gold (Kg Feinmaterial)	49.936,0	1,7
Silber (Kg Feinmaterial)	1.194.521,0	4,7
Blei (mT Feinmaterial)	410,0	0,008
Zink (mT Feinmaterial)	26.762,0	0,2
Eisen (kt Erz)	17.330,1	0,57

Quelle [5]: Cochilco Jahresbericht 2012, Seite 15.

Chile zeichnet sich darüber hinaus durch Ressourcen an Industriemineralen und Baurohstoffen aus, die für die chemische Industrie, den Bausektor, den mineralisch-metallurgischen Sektor, die verarbeitende Industrie, die Agrarindustrie und den Umweltschutz von Bedeutung sind. Tabelle 4 zeigt die Produktion verschiedener Erze und Industriemineralen im Jahr 2012.

Tabelle 4: Industriemineralproduktion 2012

Erze und Industriemineralien	Tonnen
Nitrate	822.584
Natriumchlorid	8.057.130
Lithiumverbindungen	71.594
Kaliumverbindungen	1.686.408
Borverbindungen	534.487
Lehm	68.238
Kalkstein	6.238.486
Gips	799.064
Kieselhaltige Ressourcen	1.267.476
Jod	17.494
Feldspat	6.399
Bimsstein	826.779
Ziersteine	6.752

Quelle[6]: Cochilco-Jahrbuch 2012, Seite 15.

Zu den wichtigsten Erzen und Industriemineralen zählen: Nitrate, Jod, Steinsalz, Lithium- und Kaliumsalze, Borate, Mineralstoffe, Lehm, Kalkstein, Gips, Quarz, Schwerspat, Kaolin, Feldspat, Talk, Kieselgur, Bentonit, Dolomit, Guano, Apatit, Zeolith und Perlit.

3.1 Metallisches Mineral

3.1.1 Kupfer

Die Kupferproduktion in Chile ist vor allem in den Regionen von Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo, Valparaíso, Metropolregion und Lib. Gral. B. O`Higgins angesiedelt, wo praktisch alle bekannten Reserven des Landes liegen. Diese machen rund 40% der weltweiten Reserven aus [7].

Die wichtigsten Produkte sind: Konzentrate, Kathoden und Produkte aus der Feuerraffination. Die Gesamtproduktion im Jahr 2012 belief sich auf 5.433.900 metrische Tonnen Feinkupfer, was einen Anstieg von 4% im Vergleich zu 2011 ausmachte. Tabelle 5 zeigt die Kupferproduktion im Jahr 2012.

Die Produktion wird von Unternehmen erbracht, die sich in drei Gruppen des Kupferbergbaus aufteilen lassen. Der Großbergbau wird vertreten durch 17 Privatunternehmen und das Staatsunternehmen Corporación del Cobre (Codelco), die in ihrer Gesamtheit in den letzten 7 Jahren für zwischen 92 - 94% der nationalen Produktion

verantwortlich waren. Der mittlere Bergbau wird, vertreten von 22 vor allem nationalen Unternehmen und produzierte in derselben Periode zwischen 5 - 7% der Gesamtproduktion. Auf den kleinen Bergbau entfallen rund 1% der Gesamtmenge.

Tabelle 5: Unternehmen und Kupferproduktion im Jahr 2012

Unternehmen	Produktion (in tausenden Tonnen)
Codelco – Chile	
Division Chuquicamata	355,9
Division Radomito Tomic	427,8
Division Salvador	62,7
Division Andina	249,9
Division El Teniente	417,2
Gaby	133
ENAMI	41,2
Zwischensumme	1.687,7
Privatunternehmen	
Cia. Minera Teck Quebrada Blanca S.A.	62,4
Cia. Minera Doña Ines de Collahuasi S.C.M	433,5
Cia. Minera Cerro Colorado	73,1
SCM. El Abra	153,7
Minera Escondida Ltda.	1.075,90
Cia. Minera Zaldívar S.A.	131,1
Minera Esperanza	173,2
Anglo Norte/Sur S.A.	531,6
Cia. Minera Los Pelambres	417
Cia. Minera Candelaria	122,8
Minera El Tesoro	105
Minera Spence S.A.	166,7
Minera Michilla	37,7
Cia. Minera Lomas Bayas	73,3
Andere	189,2
Zwischensumme	3746,2
GESAMT	5.433,9

Quelle [8]: Cochilco-Jahrbuch 2012, Seite 17.

3.1.2 Molybdän

Die Molybdänproduktion stammt aus folgenden Regionen: Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo, Valparaíso, Metropolregion und Lib. Gral. B. O'Higgins. Im Allgemeinen handelt es sich um ein Nebenprodukt der Kupferproduktion, das von den Großbergbaugesellschaften produziert wird. 86% werden als Konzentrat und der Rest als

Oxyd produziert. Die Molybdänproduktion belief sich im Jahr 2012 auf 35.090 metrische Tonnen Feinmolybdän. (siehe Tabelle 6)

Tabelle 6: Unternehmen und Molybdänproduktion, Jahr 2012

Unternehmen	Tonnen
Codelco	19.460
Anglo American Sur	981
Pelambres	12.216
Collahuasi	1.953
Valle Central	480
Gesamt	35.090

Quelle [9]: Cochilco-Jahrbuch 2012, Seite 19.

3.1.3 Gold

Aufgrund seiner besonderen physischen Eigenschaften wird Gold traditionell für Schmuck, Goldschmiedearbeiten und Dekoration genutzt. Mit der Weiterentwicklung von Technologie und Wissenschaft wird es heute auch in Industrie und Medizin eingesetzt.

Die Goldproduktion in Chile stammt aus folgenden Regionen: Antofagasta, Atacama, Coquimbo, Valparaíso, Metropolregion und Aysén, Regionen, in denen der Großteil der bekannten Reserven des Landes verortet ist. Die Goldproduktion tritt vor allem als Metallgold, Goldbarren und Goldkonzentrat auf und stammt aus dem Gold-, Kupfer- und in geringerem Masse aus dem Blei- und Zinkbergbau. Die Produktion belief sich im Jahr 2012 auf insgesamt 49.936 kg (siehe Tabelle 7). Die Goldbergbauunternehmen produzierten 29.800 kg, was 59,7% der gesamten nationalen Produktion entspricht und sich folgendermaßen aufteilt: große Unternehmen 75%; mittelständische Unternehmen 20% und kleine Unternehmen 5% der Gesamtsumme.

Aus dem Kupferbergbaustamnten 2012 insgesamt 19.728 kg, was 39,5% der nationalen Jahresproduktion entspricht; dazu kommen die kleinen und mittelständischen Unternehmen aus dem Blei-, Silber- und Zinkbergbau, die 0,8% zur nationalen Gesamtsumme beitragen.

Tabelle 7: Herkunft der Goldproduktion 2012

Golderz kg	Kupfermineral und andere kg	Kg gesamt
29.800	20.136	49.936

Quelle [10]: Sernageomin-Jahrbuch 2012, Seite 44.

Die wichtigsten Gold-Produzenten in Chile sind:

- Cía. Minera Meridian
- Minera Guanaco
- Cía. Minera Mantos de Oro
- Cía. Minera Maricunga
- Cía. Minera Dayton
- Cía. Minera Pimentón
- Cía. Minera El Bronce de Petorca
- Cía. Minera Pullalli Ltda.
- Minera Florida S.A.
- Cía. Minera Cerro Bayo Ltda.
- Soc. Contractual Minera Toqui

3.1.4 Silber

Die Silberproduktion in Chile ist in folgenden Regionen Chiles angesiedelt: Antofagasta, Atacama, Coquimbo, Valparaíso, Metropolregion, Lib. Gral. B. O`Higgins und Aysén.

Die Produktion stammt aus dem Goldbergbau, aus dem Kupferbergbau im Kupferkonzentrat; aus dem Silberbergbau als Silberkonzentrat und aus dem Blei- und Zinkbergbau im Zinkkonzentrat.

Die Produktion des Jahres 2012, abgebildet in Tabelle 8

Silbermineral (Kg)	Kupfermineral (Kg)	Gold-, Blei- und Zinkminerale (Kg)	Gesamt (Kg)
4.072	716.955	473.494	1.194.521

Quelle [11]: Sernageomin-Jahrbuch 2012, Seite. 47.

Die wichtigsten Silberproduzenten sind:

- Codelco.
- El Peñón.
- Minera Escondida Ltda.
- La Coipa

3.1.5 Blei

Die Produktion stammt ausschließlich aus der Region Aysén und entspricht feinem Material, das in Zink-, Gold- und Bleikonzentrat enthalten ist. Die Produktion im Jahr 2012 belief sich auf 410 metrische Tonnen, wobei ein Rückgang von 51% im Vergleich zu 2011 zu verzeichnen war (11). Das einzige Unternehmen, das Blei aus Erz gewinnt, ist die Soc. Contractual Minera El Toqui.

3.1.6 Zink

Die wichtigsten Nutzungen sind Legierungen und Schutzbeschichtungen anderer Metalle. Das Verzinken von Eisen und Stahl als Rostschutz wird Galvanisierung genannt. Die Zinklegierung mit Kupfer ergibt Messing, das in der Elektroindustrie eingesetzt wird; das Verzinken von Aluminium und Magnesium kommt in der Raumfahrtindustrie zum Einsatz.

Die Produktion beschränkt sich ausschließlich auf die Region Aysén und die Hauptstadtregion und ergibt sich in Feinmaterial in Zink-, Gold- und Bleikonzentraten. Die Produktion im Jahr 2012 [12] belief sich auf 26.762 metrische Tonnen.

Die Zink produzierenden Unternehmen in Chile sind:

- Minera Florida
- Soc. Contractual Minera El Toqui

3.1.7 Eisen

Die wichtigste Anwendung von Eisen liegt in der Produktion von Gusseisen und Stahl. Das Material hat einen vielfältigen Einsatz im Wohnungsbau und öffentlichen Bauten, Hoch- und Tiefbau, verarbeitender Industrie, Schiffbau, dem Automobilsektor und im metallmechanischen Bereich sowie in der Herstellung von Elektromagneten.

Die Produktion stammt aus den Regionen Atacama und Coquimbo und ist vollständig in Händen mittlerer und großer Eisenbergbauunternehmen. Diese Produktion [13] belief sich

2012 auf 17.330.000 metrische Tonnen Erz, was einem Anstieg von 37% im Vergleich zu 2011 entspricht und Feinmaterial und Pellets einschliesst.

Einer der wichtigsten Eisenproduzenten ist die Compañía Minera del Pacífico (CAP), die im letzten Jahr 12 Millionen Tonnen (14) produzierte. 6.781.000 Tonnen hiervon stammten aus dem Huasco-Tal, 3.674.000 Tonnen aus dem Elqui-Tal und 1.588.000 Tonnen kommen aus dem Copiapó-Tal.

Hervorzuheben ist [14], dass die Magnetitanlage im Copiapó-Tal im Jahre 2012 rund 25.718.000 Tonnen Flotationsrückstände der Kupfergesellschaft Compañía Contractual Minera Candelaria verarbeitet hat. Damit sind 1.095.000 metrische Tonnen Magneteisen produziert worden. Weiterhin sind 640.000 metrische Tonnen Feinmaterial von Drittfirmen und 400.000 metrische Tonnen Ausschussmaterial verarbeitet worden, was den Export von 1,6 Millionen Tonnen Konzentrat ermöglicht hat.

Die Eisenproduzenten sind:

- Cía. Minera del Pacífico
- Minera Santa Fe
- Minera Hierro Atacama Sector Punta Totoralillo
- Santa Fe Mining

3.1.8 Mangan

Mehr als 95% des produzierten Mangans kommt in der Stahlindustrie zum Einsatz, da es die Härte und den mechanischen Widerstand des Stahls verbessert, ebenso wie Aluminium- und Magnesiumprodukte. Die Manganproduktion in Chile stammt ausschließlich aus der Region Coquimbo und liegt in Händen kleiner und mittelständischer Unternehmen. Seit dem Jahr 2010 ist keine Produktion mehr registriert worden.

3.2 Erze und Industriemineralien

3.2.1 Ton

Der Begriff Ton bezeichnet eine breit gefächerte Vielfalt von Erdmaterial, das sich aus den sogenannten Tonmineralen zusammensetzt, die aus hydriertem Aluminiumoxid sowie variablen Anteilen von Eisen, Magnesium, Natrium, Kalzium und Kalium bestehen. Ton ist eine Ressource mit unterschiedlichen physischen und chemischen Eigenschaften. Seit dem Jahr 2005 fallen folgende Ressourcen unter die Kategorie „Ton“: Kaolin, Weichton, Bauxitton, Bentonit und gewöhnlicher Ton.

Die Tonproduktion in Chile ist historisch in folgenden Regionen angesiedelt: Tarapacá, Coquimbo, Valparaíso, Hauptstadtregion, Lib. Gral. B. O'Higgins und Maule und in geringerem Maße in den Regionen Atacama, BíoBío und Araucanía. Die Tonproduktion im Jahr 2012 ist der Tabelle 9 zu entnehmen.

Tabelle 9: Tonproduktion im Jahr 2012

Kaolin	Bauxitton	Bentonit	Weichton	Gesamt (ton)
60.429	4.976	-	1.940	67.345

Quelle [15]: SERNAGEOMIN-Jahrbuch 2012, Seite 58.

Wichtigste Tonproduzenten im Jahre 2012:

- Mario Alberto Pizarro A.
- S.M. Godoy Schwenger y Cía.
- Minera Lealtad Ltda.
- Cía. Minera Polpaico Ltda.
- S.M. Casablanca S.A.

3.2.2 Kalziumkarbonat

Der Begriff Kalziumkarbonat beschreibt eine Reihe von Naturmaterialien: Kalkstein, Schillkalkstein und weißes Kalziumkarbonat, die vor allem aus Kupferglanz CaCO_3 bestehen. Für diese Ressourcen gibt es eine Reihe industrieller Anwendungen aufgrund der chemischen Eigenschaften – insbesondere des CaCO_3 -Gehalt -, wie auch der physikalischen Charakteristika, speziell für Farbe, Härte und mechanische Resistenz. Daher werden sie zur Herstellung von Zement und Kalk, als Flussmittel in der Metallverarbeitung, als Kalkzusatz und Nährstoff in der Landwirtschaft, als Gasabsorber in der chemischen Industrie und als Last- und Bleichmittel in der verarbeitenden Industrie eingesetzt. Die Gesamtproduktion des Kalziumkarbonats im Jahr 2012 erreichte 6.657.824 Tonnen.

Die Kalziumkarbonatproduktion in Chile ist in den letzten 10 Jahren angestiegen und kommt aus folgenden Regionen Antofagasta, Atacama, Coquimbo, Valparaíso, Metropolregion, Magallanes und chilenische Antarktis mit Beiträgen aus den Regionen Lib. Gral. B. O'Higgins und Maule seit 2000.

Zu den produzierenden Unternehmen gehörten im Jahr 2012:

- Minera El Way S.A.
- Minera Jilguero S.A.
- IMOPAC Ltda.
- Explomin Tongoy Ltda.
- S.M. y Comercial Alegría y Cía Ltda.
- Alfredo Villalobos Román .
- Mario Alberto Pizarro A.
- Empresas Melón S.A.
- Cía. Minera Polpaico Ltda.
- Minera Trucco Ltda.
- Cristalerías Toro S.A.I.C.
- Soc. Minera Río Colorado S.A.
- S.M. Las Abuelitas Ltda.
- Cal Hur Fernandez
- Cía. Minera Marathon
- Minera Río Teno S.A.

3.2.3 Natriumchlorid

Natriumchlorid, das gängige Salz, kommt in fester Form als Halit vor. Dieses Mineral ist zwischen farblos bis weiß oder grauweiß und enthält im reinen Zustand 39,34% Na und 60,66% Cl. Halit macht mindestens 95% des Steinsalzes aus; wenn es Unreinheiten gibt, bestehen sie hauptsächlich aus Anhydrit und Thénardit.

Das Natriumchlorid ist vor allem für den Konsum von Menschen und Tieren bestimmt, sowie für den Einsatz in der Industrie, der Chemie, im Bergbau und im Hoch- und Tiefbau.

Praktisch 99% der nationalen Produktion stammen aus der Region Tarapacá und wird dort von der deutschen Firma K+S abgebaut. Im Jahr 2008 war es die Naturressource mit dem zweitgrößten Produktionsvolumen in Chile. Die Produktion im Jahr 2012 belief sich auf 8.057.130 Tonnen.

Zu den wichtigsten produzierenden Unternehmen gehörten im Jahr 2012:

- S. M. Punta de Lobos (zur K+S gehörig)
- Inversiones Alpina Ltda.
- Playa Grande Ltda. Panamericana Norte
- Christian Fletcher
- Elías Echeverría
- Cía. Minera Cordillera Chile S.C.M.

3.2.4 Schwefelverbindungen

Die hier betrachteten Schwefelverbindungen, raffinierter Schwefel und Schwefelsäure, werden vor allem in der Herstellung chemischer und pharmazeutischer Verbindungen, bei Sprengstoffen, Düngemitteln, Fungiziden und Phosphor sowie in der Kautschukvulkanisierung eingesetzt. Der Schwefel wird vor allem zur Herstellung von Schwefelsäure verwendet.

Der Schwefel in Chile ist vulkanischen Ursprungs und die Produktion liegt aus Preis- und Qualitätsgründen, die importierten Schwefel attraktiver machen, seit 1993 still. Die Schwefelsäure ist ein Nebenprodukt der Kupfergießereien in den Regionen Antofagasta, Atacama, Valparaíso und Lib. Gral. B. O`Higgins.

Im Jahr 2012 gehörten zu den chilenischen Schwefelsäureproduzenten 2012:

- Codelco Norte
- Xstrata Copper Fundición Altonorte
- Codelco División El Salvador
- Enami Paipote
- Codelco División Ventanas
- Anglo American Sur S.A.
- Codelco División El Teniente

3.2.5 Borverbindungen

Die hier behandelten Borverbindungen sind Ulexit und Borsäure mit bedeutenden Anwendungen in der Herstellung von Waschmitteln, Glas, Emaille und Glasfaser und als Konservierungsmittel für Holz, Brandverzögerer und landwirtschaftliche Mikronährstoffe. Es handelt sich hierbei um ein extrem disperses Element in der Natur, das mit einer durchschnittlichen Konzentration von 4,6 ppm im Meereswasser, 3 ppm in der Erdkruste und 10 ppm in der kontinentalen Erdkruste vorkommt.

Die kommerziell interessantesten Borminerale sind Borax, Kernit, Colemanit und Ulexit. Borax oder Tinkal ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) und Kernit ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), die als Natriumborat bekannt sind, finden sich in stratiformen Salzdepots unter der Oberfläche in Lagerstätten mit hohem Metallgehalt und großen Reserven. Die Kalziumborate Ulexit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) und Colemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) finden sich vor allem in Salzdepots, speziell in den Salzseen der Anden.

Ulexit und Borsäure werden in den Regionen Arica und Parinacota und Antofagasta über die Verarbeitung der Borerze aus den Salzkrusten und Salzlaugen der andinen Salzseen produziert. Die Produktion oder Extraktion des Ulexit im Jahr 2012 erreichte 444.487 Tonnen. Die Ulexitexporte im Jahr 2012 machten 15,4 Millionen US\$ FOB aus. Die Borsäureproduktion liegt bei 95.000 Tonnen.

Produzierende Unternehmen im Jahr 2012:

- Química Industrial del Bórax Ltda. (wichtigster Produzent)
- S.Q.M. Salar S.A.

3.2.6 Lithiumverbindungen

Die hier betrachteten Lithiumverbindungen sind Lithiumkarbonate, Lithiumchlorid und Lithiumhydroxid, die vor allem zur Gewinnung von Lithiummetall, in der Glas- und Keramikindustrie und in der Herstellung aufladbarer Batterien eingesetzt werden. Lithiumkarbonat und Lithiumchlorid sind in der Region Antofagasta seit 1984 und 1999 respektive über die Aufbereitung chlorierter Salzlaugen mit hohem Lithiumanteil (0,14% Li äquivalent) aus dem Atacama-Salzsee in der Region Antofagasta produziert worden. Die Produktion des Lithiumhydroxids ist erst seit 2005 registriert. Die drei Ressourcen sind ausschließlich dem Export gewidmet. Die Produktion der Lithiumverbindungen im Jahr 2012 schlüsselt sich wie folgt auf: Lithiumkarbonat 62.002 Tonnen, Lithiumchlorid 4.145 Tonnen und Lithiumhydroxid 5.447 Tonnen. Das Jahr 2012 verzeichnet die größte Lithiumkarbonatproduktion der Geschichte Chiles und spiegelt das deutliche und anhaltende Wachstum seit 2009 wider, als lediglich 25.154 Tonnen produziert wurden. Die Umsätze des Lithiumkarbonatexports im Jahr 2012 beliefen sich auf 247 Millionen US\$, Fob.

Die produzierenden Unternehmen waren im Jahr 2012:

- Soc. Chilena del Litio Ltda. (dt. Chemetall, inzwischen Rockwood Lithium)
- S.Q.M. Salar S.A.

3.2.7 Kaliumverbindungen

Die betrachteten Kaliumverbindungen sind Kaliumchlorid und Kaliumsulfat, mikroindustrielle Produkte, die vor allem als Kaliumdünger eingesetzt werden. Kalium ist das siebthäufigste Element in der Erdkruste und zusammen mit Phosphor und Stickstoff (NPK) zählt es zu den wichtigsten Pflanzennährstoffen. Das bedeutendste Kaliummineral ist Silvin (KCl), das 63,17% K₂O enthält. Der größte Teil der Kaliumreserven der Welt befinden sich in unterirdischen stratifizierten Salzdepots mit hohem Kaliumanteil und großen Reserven sowie geringen Ausbeutungskosten. Des Weiteren gibt es eine bedeutende Kaliumproduktion mittels Verdunstung der Salzlaugen an und unter der Oberfläche in den Salzseen, wo es als Kaliumchlorid vorkommt.

Kaliumchlorid und Kaliumsulfat werden in der Region Antofagasta seit 1994 und 1998 respektive über die Aufbereitung der chlorhaltigen Salzlaugen mit hohem Kaliumanteil (22 g/l an Kalium) aus dem Atacama-Salzsee produziert. Die Gesamtproduktion der Kaliumverbindungen im Jahr 2012 lag bei 1.686.408 Tonnen, von denen 1.581.226 Tonnen Kaliumchlorid sind und nur 105.182 Tonnen auf Kaliumsulfat entfallen.

Zu den produzierenden Unternehmen gehörten im Jahr 2012:

- Soc. Chilena del Litio Ltda. (s.o.)
- S.Q.M. Salar S.A.

3.2.8 Nitrate

Stickstoff ist ein auf der Erdoberfläche weit verbreitetes Element, es macht 78% der Atmosphäre aus und über den sogenannten Stickstoffzyklus ist er wesentlicher Teil der Biosphäre. Er ist zusammen mit Phosphor und Kalium einer der drei fundamentalen Pflanzennährstoffe (NPK). Die Stickstoffe sind natürliche Stickstoffverbindungen, die in den Salpeterlagerstätten im Norden des Landes in den Regionen Tarapacá und Antofagasta vorkommen. Die zwei Hauptformen, in denen sie vorkommen, sind Natronsalpeter NaNO₃ und Kaliumnitrat KNO₃. Die natürlichen Stickstoffe werden für die Aufbereitung von Natronsalpeter und Kaliumnitrat für den Einsatz in Industrie und Landwirtschaft verwendet.

Die Nitratproduktion kommt gegenwärtig aus den Regionen Tarapacá und Antofagasta und erreichte 2012 822.584 Tonnen. Im Jahr 2012 erreichte der Nitratexport einen Umsatz von 209 Millionen US\$ FOB.

Zu den produzierenden Unternehmen gehörten im Jahr 2012:

- Cosayach Nitratos S.A.
- ACF Nitratos S.A.
- S.Q.M. Nitratos S.A.

3.2.9 Kieselhaltige Ressourcen

Der Begriff kieselhaltige Ressourcen bezieht sich auf jene Festgesteine, Minerale und Lockersedimente, die vor allem aus Silizium (SiO_2) unterschiedlicher Kristallografie bestehen und die dank ihrer chemischen (SiO_2 über 94%) und physikalischen Eigenschaften (Kristallinität, Transparenz, Härte, Bruchverhalten) in verschiedenen technologischen Anwendungen zum Einsatz kommen. Seit 2005 erfasst der chilenische geologische Dienstes Sernageomin mit dem Begriff kieselhaltige Ressourcen, kieselhaltige Quarze und Sände, deren wichtigstes Mineral Quarz ist, das respektive in kristalliner, krypto-kristalliner und klastischer Form vorkommt. Beide Ressourcen sind fundamentale Quellen von SiO_2 für verschiedene Industrieanwendungen, zu denen die Herstellung von Glas, Keramik, Siliziumlegierungen, Flussmittel, Schleifmittel, Filter sowie optische und elektronische Geräte zählen.

Kieselhaltige Ressourcen bestehen in sechs Regionen des Landes und das Produktionsvolumen ist in den letzten 10 Jahren gewachsen, speziell durch die höhere Quarznachfrage nach Gießereien und Kiesel Erde für die Glasherstellung. Die Gesamtproduktion des Jahres 2012 belief sich auf 1.267.476 Tonnen, von denen 907.784 Tonnen Kiesel Erde sind und 359.692 Tonnen Quarz.

Zu den produzierenden Unternehmen gehörten im Jahr 2012:

- Cedric Fernández B.
- Luis Araya Araya Salida Sur
- Minera Faro Carranza S.A.
- Cristalerías Toro
- Antonio Zotti Rosetti
- Minera Alfa Quintay Ltda.
- Minera San Pedro Ltda.
- S.L.M. Santa Dorila
- Minera Granos Industriales Ltda.

- Productora Cuarzo El Peral Ltda.
- Vidrios Lirquén S.A.
- Hugo Iturrieta

3.2.10 Phosphatgestein

Unter dem Begriff Phosphatgestein sammelt sich eine Gruppe von Gesteinen, die einen hohen Anteil von P₂O₅ aufweisen, in der Regel zwischen 28 und 38% und die somit das wichtigste Rohmaterial für die Produktion von phosphathaltigen Düngemitteln und damit verbundenen chemischen Produkten sind. Die in der Welt als P₂O₅-Quelle verwandten Phosphatgesteine sind Phosphorit, Apatit und Guano, die zusammen zu mehr als 90% in der Produktion phosphathaltiger Düngemittel verwandt werden. Phosphorit ist mit 70% des weltweiten Verbrauchs das bedeutendste der drei Gesteine.

Zusammen genommen werden die chilenischen Phosphatgesteine Phosphorit, Apatit und Guano in den Regionen Tarapacá, Antofagasta, Atacama und Coquimbo produziert. Die Gesamtproduktion des Phosphorgesteins im Jahr 2012 lag bei 15.601 Tonnen, von denen 8.585 Tonnen auf Apatit, 5.750 Tonnen auf Phosphorit und 1.266 Tonnen auf Guano entfallen.

Zu den produzierenden Unternehmen gehörten im Jahr 2012:

- Guano Rojo Punta Gruesa Pukara
- César B. Formas Ortiz
- Compañía Minera El Sauce
- Cía. Mra. de Fosfatos Naturales Bifox Ltda.

3.2.11 Natursteine

Unter dem Begriff Natursteine sammeln sich die Gesteine, die vor allem Anwendung als zugeschnittener Stein für Verkleidungen im Wohnungsbau, in öffentlichen Bauten und als Grabsteine finden; Steine für Bildhauerei sowie Gestein für nützliche Gegenstände und Dekoration (Sockel, Aschenbecher, Lampen, Stifte, Griffe, Messerscheiden).

Die Gesteine für diese Anwendungen umfassen sehr unterschiedliche Gesteinstypen, zu denen vor allem folgende zählen Granit, Marmor, Travertin, Onyx-Marmor, Serpentin, Tuff, Andesit, Sandsteine, Kalkstein und Kreide.

Zusammengefasst stammt die Produktion von Lapislazuli, Marmor und Travertin aus den Regionen Antofagasta, Atacama und Coquimbo. Lapislazuli und Marmor werden schon seit langer Zeit abgebaut, die Travertin-Produktion ist seit 2005 registriert. Die

Gesamtproduktion im Jahr 2012 belief sich auf 6.752 Tonnen, von denen 2.285 Tonnen Marmor und 4.467 Tonnen Travertin sind.

Zu den produzierenden Unternehmen gehörten im Jahr 2012:

- Canteras de Atacama S.A.
- Las Flores de los Andes S.A.
- Pier Luigi Indri
- Andes Travertine & Stones S.A.
- Cía. Minera Feltre Ltda.

3.2.12 Gips

Gips ist ein hydriertes Kalziumsulfat mit der allgemeinen Formel $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$, das dem in der Natur gängigsten natürlichen Sulfat entspricht. Er hat eine Härte von 1,5-2,5 in der Mohs-Skala mit einem spezifischen Gewicht von 2,3 g/cm³, im reinen Zustand weiß, löslich in Salzsäure und teilweise wasserlöslich. Der Gips ist technologisch und kommerziell von höchster Relevanz. Aufgrund verschiedener Unreinheiten durch Kalziumkarbonat, Chloride, Sulfate und Ton weist der Gips einen zwischen 65% und 96% schwankenden Anteil CaSO_4 auf. Die wichtigsten Nutzungen des gebrannten Gipses sind die Fertigung von Paneelen und Blöcken für den Bau sowie für die Keramik- und Pharmaindustrie. Ungebrannt wird der Gips in der Zementproduktion, als Bodenverbesserungsmittel und industrieller Ausgangsstoff eingesetzt.

Die nationale Produktion stammt aus den Regionen Antofagasta, Coquimbo und der Metropolregion und steht in direktem Zusammenhang mit der Nachfrage aus dem Baubereich. Die Produktion im Jahr 2012 belief sich auf 799.064 Tonnen.

Zu den produzierenden Unternehmen gehörten im Jahr 2012:

- Cía. Minera Polpaico
- Soc. Industrial Romeral S.A.
- Minera Lo Valdés Ltda.

3.2.13 Jod

Jod ist ein dunkelgraues, weiches, glänzendes Element mit einer Dichte von 4,9, das den Platz Nr. 47 in der Häufigkeitstabelle der Elemente in der Erdkruste belegt. Bei Umgebungstemperatur ist es fest und es existiert in der Natur nur als Jodat und Jodid und in anderen kombinierten Formen.

Die charakteristischsten Minerale, die Jod von wirtschaftlichem Interesse enthalten, sind Lautarit, $\text{Ca}(\text{IO}_3)_2$ oder Kalziumjodat; Bruggenit, $\text{Ca}(\text{IO}_3)\cdot\text{H}_2\text{O}$, hydriertes Kalziumjodat und Dietzit, $\text{Ca}_2(\text{IO}_3)_2(\text{CrO}_4)$, Kalzium-Jod-Chromat. Viele unterirdische Salzlaugen enthalten Jodverbindungen und das Meerwasser weist rund 0,05 ppm auf. Einige Algen können bis zu 0,45% akkumulieren und eine außerordentliche Jodquelle sind die Nitratlagerstätten in Chile.

In Chile wird Jod vor allem als Zusatz zum Speisesalz und in der Herstellung von Desinfektionsmitteln gebraucht.

Die Jodproduktion stammt aus den Regionen Tarapacá und Antofagasta und weist eine allgemein steigende Tendenz auf. Die Produktion im Jahr 2012 lag bei 17.494 Tonnen, was einem Wachstum von 9% im Vergleich mit 2011 entspricht. Die Exporte des Jahres 2012 beliefen sich auf 906 Millionen US\$ FOB.

Zu den produzierenden Unternehmen gehörten im Jahr 2012:

- A.C.F. Minera Ltda.
- S.C.M. Cosayach
- S.Q.M. S.A.
- Atacama Minerals Chile S.C.M.

4 Bestimmung der Bergbaurückstände in den Etappen der Kupferproduktion

Der Bergbau hat in der Geschichte der chilenischen Wirtschaft eine sehr wichtige Rolle gespielt, da schon Mitte des XIX. Jahrhunderts der Salpeterabbau ein bedeutender Motor der Entwicklung Chiles war.

Im letzten Jahrzehnt des XX. Jahrhunderts erlebte insbesondere der Kupferbergbau einen einzigartigen Boom. Von 1990 bis 2006 stieg die Produktion des Sektors durch umfangreiche Investitionen um 237% an (Chilenische Kupferkommission, Cochilco) [16].

Die Kupfererze unterteilen sich in zwei große Gruppen: die Oxide und die Sulfide. Die Natur stattet die Erze mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften aus. So sind beispielsweise die Oxide anders als die Sulfide einfach zu laugen.

Die Besonderheiten und Eigenschaften der beiden großen Erzgruppen haben letztlich die technologischen Formen und Schemata definiert, mittels derer Kupfer gewonnen wird.

4.1 Kupferproduktionsschema

Folgende Abbildung (Abbildung 1) zeigt die Abfolge der Prozessetappen für Oxide und Sulfide.

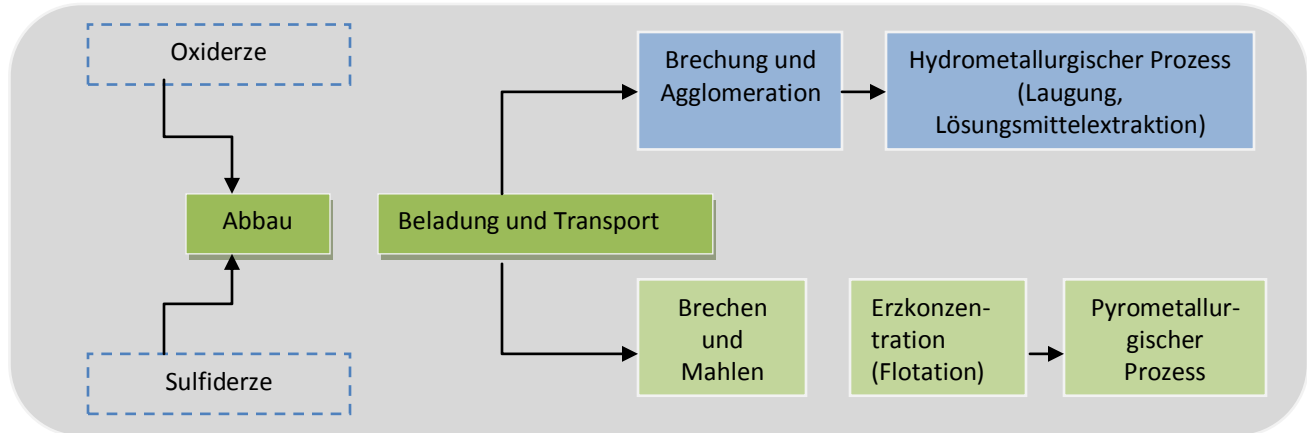


Abbildung 1: Allgemeines Schema der Kupfererzbearbeitung

4.2 Rückstände aus der Kupfererzbearbeitung

4.2.1 Hydrometallische Bearbeitung

Im hydrometallurgischen Verarbeitungsprozess der Kupferoxiderze entstehen vor allem folgende Rückstände: Laugungsrückstände (Ripios), flüssige Industrieabfälle und Abwasser. Abbildung 2 bildet das Schema des hydrometallurgischen Prozesses der Kupfererzverarbeitung ab.

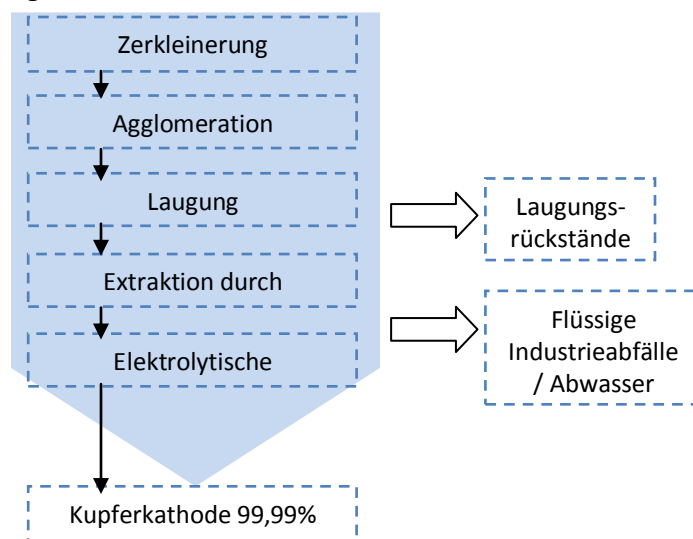
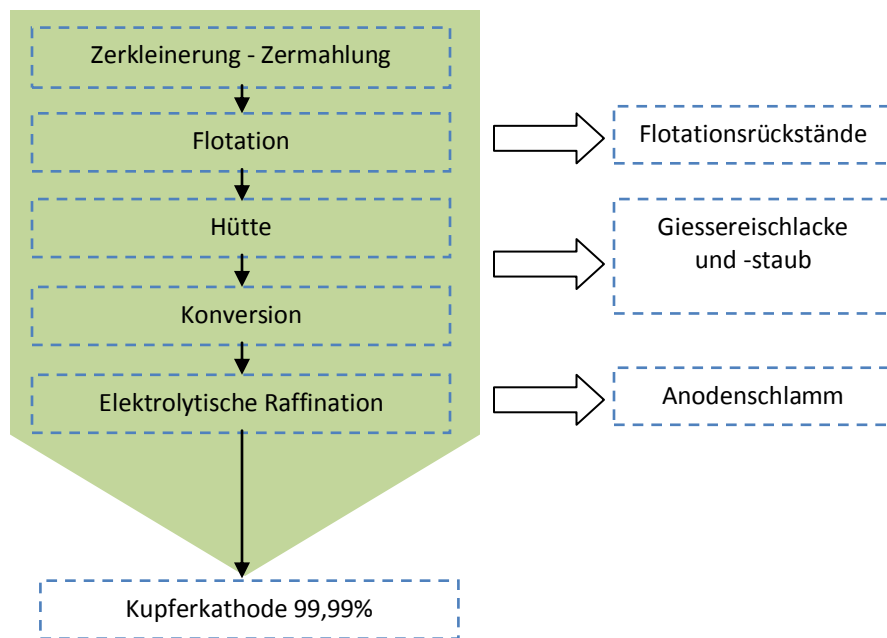


Abbildung 2: Hydrometallurgisches Bearbeitungsschema für Kupfererze

4.2.2 Konzentration und pyrometallurgische Verarbeitung

Im Konzentrationsprozess und der darauf folgenden pyrometallurgischen Verarbeitung entstehen vor allem folgende Rückstände: Flotationsrückstände, Gießereischlacke und -staub sowie Anodenschlamm.



Figur 3: Verarbeitungsschema für Kupfersulfiderze

4.2.3 Extraktionsrückstände in der Mine

Den Eigenschaften der Erzkvorkommen entsprechend müssen zur Ausbeutung große Materialmengen bewegt werden, die dann in der Nähe der Mine oder der Verarbeitungsanlage zu deponieren sind. Die hierbei erzeugten festen Abfälle sind [17]:

Abraum: Wird in großer Menge erzeugt, einschließlich der Materiale ohne wirtschaftlichen Wert, die nur aus der Mine abgeräumt und vor der Einlagerung maximal durch einen Brecherprozess gelaufen sind. Diese Rückstände stammen aus allen Sektoren der Mine, in denen der Anteil des erzhaltigen Gesteins zu gering ist, um für die Weiterverarbeitung attraktiv zu sein. Das Material muss jedoch abgeräumt werden, um Zugang zu den erzhaltigen Bereichen der Lagerstätte zu bekommen. Der aus der Mine abgebaute Abraum formt dann die charakteristischen „Abraumtorten“ in der Nähe der Minen.

Gestein mit niedrigem Erzgehalt: Der Anteil des Gesteins mit niedrigem Erzgehalt (Gestein, dessen Weiterverarbeitung aufgrund des geringen Metallgehalts gegenwärtig nicht rentabel ist) variiert von Mine zu Mine, und die einzulagernden Mengen für eine etwaige zukünftige Nutzung sind bedeutend.

Abraum aus dem Untertagebau: Beim Bau von Galerien, Schächten und Rampen als Zugang zu Untertagelagerstätten und während der Ausbeutung der Mine wird Abraum erzeugt, der entweder in der Mine oder außerhalb auf ähnliche Weise wie beim Tagebau zu lagern ist.

4.2.4 Rückstandserzeugung in der Produktionskette

Flotationsrückstände: Die Flotationsrückstände werden als feste Rückstände mit einer Korngröße zwischen Sand und Lehm definiert, die aus einem Konzentrationsprozess stammen und in Schlammform produziert, transportiert und gelagert werden.

Im Kupferbergbau entstehen Rückstände in der Phase der Konzentration durch Flotation. Sie bestehen aus Rückständen, die bei Produktion des Kupfersulfidkonzentrats entstehen. Im Goldbergbau entstehen andere Rückstände, insbesondere in Cyanidlaugungsprozessen in Reaktoren, wo das vorgemahlene Material mit Cyanidlösungen in Verbindung gebracht wird, um die Edelmetalle auszulösen. In einigen Fällen wird der Cyanidprozess nach einem Flotationsverfahren angewandt, bei dem edelmetallreiches schwefelhaltiges Konzentrat produziert wird.

In jedem Fall sind die Flotationsrückstände arm an den ursprünglich ausgelösten Metallen. Die chemische und mineralogische Zusammensetzung hängt direkt von der Erzzusammensetzung ab. Die physischen Eigenschaften (Körnung, Feststoffanteil etc.) hängen direkt vom Typ des Konzentrationsprozesses ab.

Diese Rückstände bestehen aus einem Feststoffschlamm (Mischung von 50% Feststoffen und 50% Wasser), der sich vor allem aus demselben Material der Lagerstätte bildet, aus dem der wertvolle Erzanteil ausgelöst worden ist. Die Flotationsrückstände werden als Schlamm in die Rückstandsbecken transportiert, die für die Absetzung der Schwebstoffe vorgesehen sind. Je nach Anlage kann die flüssige Phase wieder in den Prozess eingeleitet (Wasser auf Schwimmstoffen) oder über Verdunstung, Evapotranspiration, Einleitung in Gewässer oder Infiltrierung entsorgt werden.

Laugungsrückstände: Normalerweise sind die Laugungsrückstände durch die verwendete Säure mit gelösten Metallen imprägniert, wodurch sie zu einer Verschmutzungsquelle für das Oberflächen- und Grundwasser werden. Im Umgang mit den Laugungsrückständen

muss sicher gestellt werden, dass etwaige Filtrate durch Ausfällungen aufgefangen und behandelt werden.

Im Laugungsprozess der Oxiderze und Sekundärsulfide entstehen feste Laugungsrückstände, die Ripios genannt werden.

Bei diesem Prozess wird das gebrochene Material mit einer ungefähren Größe von einem Viertel Zoll zu einer Halde aufgeworfen, die über eine bestimmte Zeit mit einer Laugungsflüssigkeit besprüht wird (Schwefelsäure für Kupfererze und Cyanid für Gold), die das entsprechende in der Halde vorhandene Metall auslöst. Nach Auslösung des werthaltigen Metalls wird das „ausgelaugte“ Material als Laugungs- oder Cyanidlaugungsrückstand bezeichnet. Die Laugungsrückstände können verdichtet und für den Aufbau neuer Halden genutzt werden, oder man verbringt sie in ein Endlager. Für die Entsorgung von Laugungsrückständen werden in der Regel eingerichtete und undurchlässig gemachte Gelände genutzt, um das Versickern der in der Regel sauren Lösungen zu verhindern. Diese massiven Bergbaurückstände, die aus dem Abbau, der Gewinnung oder der Aufbereitung der Erze stammen, sind als nicht gefährlich eingestuft.

Anodenschlamm: Die elektrolytische Raffinierung ist ein elektrochemischer Veredelungsprozess zur Konvertierung der Kupferanoden in hochreine Kathoden mit einem Kupfergehalt von 99,99%. Der Prozess findet in Becken statt, die Elektrolytzellen genannt werden, in denen die Kupferanoden (Rohstoff) in eine gesäuerte Kupfersulfatlösung getaucht werden. Durch die Anlegung eines Stroms wird das Kupfer von der Anode gelöst und lagert sich dann selektiv auf einer Kathode ab. Die aus dem Verfahren hervorgehenden unlöslichen Bestandteile setzen sich am Boden der Elektrolytzellen ab und werden Anodenschlamm genannt. Dieses Material wird in die Schlammbehandlungsanlage gebracht, wo es zur Lösung einiger Elemente, wie zum Beispiel Kupfer, in Schwefelsäure kommt. Darauf folgend, wird der Stoff bis zu einem Feuchtigkeitsgrad von 7 bis 10% getrocknet. Nach der Trocknung ist der Anodenschlamm fertig zur Verpackung und Versendung zu seinem Bestimmungsort.

Der Anodenschlammgehalt der Gold- und Silberelemente liegt über 0,18% Gold oder 17% Silber, weshalb er laut Artikel Nr. 90 des Obersten Dekrets Nr. 148/03 „Sanitärverordnung für gefährliche Abfälle“ Liste A1129 kein gefährlicher Abfall, sondern ein Gefahrenstoff ist.

Raffinerieüberungsschlamm: Beim elektrolytischen Kupferraffinierungsverfahren entsteht Anodenschlamm, der vermischt mit den Elektrolyten direkt aus den Elektrolysezellen entnommen wird. Der Schlamm enthält Edelmetalle wie Gold und Silber. Bei der Aufbereitung der Schlamm-Elektrolytmischung bleibt ein Teil des Anodenschlammes am Beckenboden und in den Leitungen, durch die er transportiert wird,

haften. Von dort wird er entfernt, drainiert und für die firmeninterne Weiterverarbeitung verpackt. Der so gesammelte Schlamm heißt Raffineriereinigungsschlamm und hat ähnliche Eigenschaften wie der Anodenschlamm, allerdings mit einem geringeren Anteil an Edelmetallen, nämlich weniger als 17% Silber oder weniger als 0,18% Gold [18].

Schlacke: In Chile gibt es sieben Kupfergießereien. Nach geografischen Standorten sind es von Norden nach Süden: Chuquicamata (Calama) von Codelco, Altonorte (Antofagasta) von Xstrata, Potrerillos (El Salvador) von Codelco, Hernán Videla L. (Copiapó) von Enami, Chagres (Catemu) von Anglo American, Ventana (Puchuncaví) von Codelco und Caletones (Rancagua) von Codelco.

Die Schlacke bindet durch die Bildung stabiler Verbindungen mit dem als Schmelzstoff eingesetzten Silizium vor allem Eisen und andere Metalle aus dem Konzentrat. Die Schlacke wird aus den Öfen entfernt und auf Deponien entsorgt.

Gießereistaube und -gase: Die Kupfergießereien verarbeiten Kupferkonzentrate, die in der Regel durchschnittlich einen Kupferanteil von 30% aufweisen. Dazu kommt ein ähnlicher Prozentsatz an Fe und S, plus einige Unreinheiten wie Arsen, dessen Anteil bis zu 1% betragen kann.

Der Schwefel wird sowohl in der Fusion wie auch in der Konversion in Form von Schwefeldioxid eliminiert, während das Eisen zum größten Teil während der Fusion als Schlacke eliminiert wird.

In der Gießerei wird sowohl beim Fusionsverfahren wie auch im Konversionsprozess eine bedeutende Menge an metallurgischen Gasen freigesetzt, die verschiedene umweltschädliche Verbindungen enthalten, wie zum Beispiel: Staub, Schwefeldioxid und flüchtige Metallverbindungen.

Im Allgemeinen werden die heißen Gase am Geräteausgang von Abzügen mit verstärkter Saugwirkung aufgefangen. Diese Gase laufen durch verschiedene Behandlungsphasen: Abkühlung, Trockensäuberung und Feuchtsäuberung. Ein Teil des bei der Kühlung und der Trockensäuberung rückgewonnenen Staubs wird wieder in den Prozess eingebracht, aber in einigen Fällen zwingt der hohe Anteil an Unreinheiten dazu, sie zu entsorgen oder in anschließenden Verfahren zu behandeln. Die Flüssigabfälle aus der Feuchtreinigung werden neutralisiert, wobei arsenhaltiger Schlamm entsteht, der als gefährlicher Abfall zu entsorgen ist.

Die metallurgischen Gase mit hoher Schwefeldioxidkonzentration (3 bis 10%) können in Säureanlagen behandelt werden. Dort wird der Schwefeldioxid in Trioxid verwandelt, um

danach in Wasser absorbiert und dann zu Schwefelsäure zu werden. Die Säureanlagen behandeln die aus den Schwebestofföfen, sowie die aus den Teniente und Peirce Smith-Konvertern stammenden Gase. Die Gase der Siemens-Martin-Öfen weisen allgemein eine geringe Schwefeldioxidkonzentration auf, weil sie zur Aufrechterhaltung einer angemessenen Temperatur Brennstoff liefern müssen. Daher bewirkt die zur Verbrennung benötigte Luft eine größere Verdünnung der metallurgischen Gase. Allerdings kann durch den Einsatz von sauerstoffangereicherter Luft eine angemessene Schwefeldioxidkonzentration in den Ausgangsgasen erzielt werden und auf diese Weise kann man sie in der Säureanlage behandeln.

Die in der Fusions- und Konversionsphase erzeugten Gase beinhalten Staub, Rauch und flüchtige Substanzen. Der unter anderem Arsen und Blei beinhaltende Staub wird in einer Phase der Trockenreinigung aufgefangen bevor das Gas in einer Schwefelsäureanlage weiter aufbereitet wird.

Diese Reinigung wird mit Schlauchfiltern, Sedimentierungskammern und/oder elektrostatischen Abscheidern vollzogen und der dabei gewonnene Staub kann gelagert oder weiter verarbeitet werden.

4.2.5 Andere Industrieabfälle

Arsenhaltiger Schlamm: Rückstände, die bei der Elektrolytreinigung durch einen Prozess der Elektroablagerung entstehen. Der Schlamm enthält Metalle, wie Kupfer, Arsen, Blei, Kadmium und Wismut und von den jeweiligen Inhaltsstoffen abhängig wird der Schlamm entsorgt oder vor seiner Endlagerung aufbereitet.

Schlieren: Bevor die Gase in die Säureanlage kommen, laufen sie durch den Gaswäscherturm (Scrubber) und den Feuchtabscheider, wo aus der Gasphase die flüchtigen und gasförmigen Substanzen abgetrennt werden und im Wasser als Salze oder saure Substanzen, die „Schlieren“ ("borras") genannt werden, auftreten. Somit wird der Säureanlage lediglich Schwefeldioxid zugeführt. Die Flüssigabfälle der Säureanlage (Schlieren, „borras“) werden in einer Anlage zur Neutralisierung und Abscheidung des Arsens als Kalziumarsenit behandelt. Dieser feste Abfall wird in einer speziell für diese Zwecke gebauten Deponie entsorgt.

Kohlerückstände und Gießereischlacke: Rückstände aus dem Goldbergbau, wenn der Laugungsprozess mit Zinkabscheidung oder Aktivkohleabsorption weitergeführt wird. In der Regel werden sie zum Weiterverkauf eingelagert.

Stabilisierte Emulsion: Rückstände aus dem Lösungsmittelextraktionsprozess an der Schnittstelle zwischen flüssigem und organischem Zustand. Die Feststoffe werden normalerweise in der Abraumdeponie oder auf einer Laugungshalde entsorgt.

Abfalllauge: Lösungen, die mit anderen als den interessierenden Ionen (Kupfer) angereichert sind. In einigen Minen werden Verdunstungsbecken eingesetzt und die entstehenden Feststoffe werden entsorgt. An anderen Standorten wird ein Nierenbeckensystem zur Reinigung des Raffinats eingesetzt, das in den Prozess zurückgeführt wird.

Elektrolyseraffinierungsschlieren: Sie entstehen in den Anlagen, in denen permanente Bleianoden eingesetzt werden und bilden sich durch die Abnutzung dieser Anoden. In der Regel ist der Hauptbestandteil der Schlieren Blei, der normalerweise durch den Anodenlieferanten rezykliert wird. Diese Bergbaurückstände werden normalerweise als gefährlich eingestuft. [19]

4.3 Schätzung der wichtigsten Bergbaurückstände.

Flotationsrückstände: Im Rahmen der Sulfidaufbereitung entstehen die meisten festen Rückstände fraglos in der Flotationsphase mit den Flotationsrückständen. Laut der veröffentlichten Daten verschiedener Autoren schwankt die Menge der Flotationsrückstände (Mischung von Feststoffen und Wasser im Verhältnis 1:1 bis 1:2), die durch jede Tonne Feinkupfer erzeugt werden, zwischen 80 und 90 Tonnen (Sutulov – Cochilco).

Nach Daten des Jahrbuchs der chilenischen Bergbau- und Geologiebehörde Sernageomin 2012 lag die Kupferkonzentratproduktion über 2,6 Millionen Tonnen von Feinkupfer, wodurch allein im Jahr 2012 ca. 228,1 Millionen Tonnen Flotationsrückständen erzeugt wurden.

Laugungsrückstände: Im Rahmen der Kupferoxidbehandlung produziert die Laugungsphase (Halden) den größten Teil an festen Abfällen, die „Ripios“ genannt werden.

Laut Víctor Conejero Trujillo (Extraktionsmetallurgie, E-Learning) erzeugt jede Tonne Kupfer 200 Tonnen an Rückständen [20].

Dementsprechend und unter Einbeziehung der von Sernageomin veröffentlichten Daten (Jahrbuch 2008) werden in Chile in diesem Jahr etwas mehr als 2,5 Millionen Tonnen

Feinkupfer produziert, was einem Aufkommen von Rückständen (Ripios) von mehr als 527,8 Millionen Tonnen entspricht.

Schlacken: Mit den pyrometallurgischen Prozessen der Kupfergewinnung ist eine bedeutende Erzeugung von Schlacken verbunden. Es wird geschätzt, dass sich die Schlackeproduktion auf rund 2,2 t Schlacke pro produzierte Tonne Blister Kupfer beläuft [21]. Im Jahr 2012 wurden 224.000 t produziert.

Tabelle 10: Projektion der Kupferproduktion bis zum Jahr 2020 in Tausend Tonnen

Produkt	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Konzentrate	2.641	4.022	4.183	4.431	4.653	5.369	5.987	6.549	6.852
Katoden	2.639	2.076	1.988	2.018	1.998	1.904	1.812	1.552	1.591
Gesamt	5.280	6.098	6.171	6.449	6.651	7.273	7.799	8.101	8.443

Quelle [22]: Cochilco

Tabelle 11: Projektion der Rückständerzeugung (Flotationsrückstände, Laugungsrückstände und Schlacken) in Tausend Tonnen

Rückstand	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Flotationsrückstände	254.975	388.303	403.847	427.790	449.223	518.349	578.013	632.271	661.524
Laugungsrückstände	580.580	456.720	437.360	443.960	439.560	418.880	398.640	341.440	350.020

Quelle [22]: Cochilco

5 Präsenz interessanter Elemente in Bergbaurückständen

5.1 Potenzielle Präsenz

In Chile sind eine Reihe von Studien und Charakterisierungen von Rückständen durchgeführt worden, die auf die Präsenz von seltenen Erden zwischen der II. und IV. Region hinweisen, vor allem im Zusammenhang mit Eisenaufkommen und anderen wertvollen mit der Produktion von Kupfer, Gold und Silber assoziierten Elementen. So weist beispielsweise die geologische Studie des Projekts „Cerro Carmen“, III. Region [23], die von der Chilenischen Kommission für Kernenergie CCHEN für die ENAMI im Jahr 1995 durchgeführt wurde, auf die Präsenz von Uranium und leichter seltener Erden hin. Jüngste Studien der Universität Atacama auf Grundlage von Stichproben aus Laugungsrückstandshalden und Flotationsrückstandsbecken verschiedener Erzaufbereitungsanlagen der Nationalen Bergbaugesellschaft ENAMI haben gezeigt, dass das Gesamtaufkommen von seltenen Erden in diesen Stichproben zwischen 100 und 250 ppm für die Flotationsrückstandsbecken und zwischen 100 und 600 ppm für die

Laugungsrückstände variiert. Dies entspricht Konzentrationen, die nicht hoch sind, aber durch die Dichte und die Körnung der vorhandenen Partikel, ebenso wie durch das große Volumen des in diesen Depots vorhandenen Materials kompensiert werden können [24].

Auch in Arbeiten des metallurgischen Bergbauforschungszentrums CIMM über Bergbaurückstände und insbesondere über Rückstandsbecken ist auf die Präsenz von Wertelementen wie Gold, Silber, seltene Erden, Gallium, Germanium, Cäsium und Tantal verwiesen worden.

5.2 Nachgewiesene Präsenz

Vorkommen und Quantifizierung der Präsenz einer Reihe von Wertelementen in verschiedenen Rückständen wie Anodenschlämmen, Schlacken, Gießereistaub, Flotations- und Laugungsrückständen werden in den nachfolgenden Tabellen 12, 13, 14, 15, 16 und 17 dargestellt.

Die Tabelle 12 zeigt die chemische Charakterisierung der Anodenschlämme der Division Codelco Alto Norte. Hervorzuheben sind die hohen Silber-, Kupfer-, Arsen-, Gold-, Antimonium und Selenanteile.

Tabelle 12: Chemische Zusammensetzung des Anodenschlamm:

Element	% Minimum	% Maximum
Silber	8,94	40,44
Gold	0,09	0,89
Aluminium	0,01	1,40
Arsen	0,70	14,98
Wismut	0,04	2,00
Kalzium	0,001	0,88
Kupfer	0,23	15,17
Eisen	0,01	1,94
Magnesium	n/d	0,80
Nickel	n/d	0,41
Blei	0,02	18,78
Antimon	0,40	28,01
Selen	4,10	17,27
Tellur	0,09	3,17

Quelle [25]: CODELCO, Anodenschlämme, Division Codelco Alto Norte.

Tabelle 13 verzeichnet die Durchschnittswerte der Elemente der Schlacke aus der Gießerei El Teniente von Codelco. Hervorzuheben sind die hohen Anteile von Eisen und Silikaten, aber auch der Kupfergehalt von 1,1% ist interessant.

Durchschnittliche Zusammensetzung der Schlacke, Gießerei El Teniente Codelco

Element	Minimum	Maximum
Kupfer	0,8 %	1,1 %
Eisen	42 %	44 %
Schwefel	0,5 %	1,2 %
SiO ₂	31 %	33 %
Aluminium	4 %	6 %
Arsen	250 ppm	600 ppm
Antimonium	200 ppm	290 ppm
Blei	260 ppm	300 ppm

Quelle [26]: El Teniente, Gießerei Caletones.

Tabelle 14 zeigt eine typische Analyse des Gießereistaubs. In diesem Fall handelt es sich um von Xstrata Copper Chile S.A. gewonnene Elemente. Man sieht hohe Anteile von Kupfer, Blei, Eisen, aber auch von Schwefel und Arsen.

Tabelle 14: Typische Zusammensetzung des Gießereistaubs:

Element	%
Arsen	3,4
Schwefel	12,3
Wismut	0,9
Kupfer	21,0
Blei	8,0
Eisen	6,0
Antimon	0,2
SiO ₂	5,8
Kadmium	0,74

Quelle [27]: Xstrata Copper Chile S.A.

Tabelle 15 zeigt die Zusammensetzung des Gießereistaubs der ENAMI-Gießerei, Projekt PEPA, Gießereistaubbehandlungsanlage. In diesem Fall sind interessante Kupfer-, Gold-, Silber- und Bleianteile zu verzeichnen, ebenso wie hohe Schwefel- und Arsenanteile.

Tabelle 15: Charakterisierung des Gießereistaubs

Element	Zusammensetzung
Kupfer	9,3 %
Eisen	1,5 %
Schwefel	11,75 %
Gold	4,8 g/T
Silber	196,4 g/T
SiO ₂	1,97 %
Al ₂ O ₃	0,42 %
MgO	0,44 %
Arsen	8,1 %
Blei	20,47 %
Antimon	0,32 %

Quelle [28]: ENAMI, Projekt PEPA, Gießereistaubbehandlungsanlage.

Tabelle 16 zeigt die chemische Charakterisierung von drei ausgewählten Flotationsrückständen (El Soldado von Anglo American, Anlage Vallenar von Enami und Collahuasi).

Tabelle 16: Chemische Charakterisierung von Flotationsrückständen

Element	El Soldado Anglo American gr/Ton	Enami, Vallenar gr/Ton	Collahuasi gr/Ton
Mg	14.630	18880	13950
Al	72.260	41140	75330
Si	246.900	179000	274900
P	388,3	989	766
S	1.677	6206	7111
Cl	173.889	3053	5375
K	21.640	12830	29560
Ca	48.820	36540	11820
Ti	2.978	2018	107
V	135	203	51,3
Cr	64,6	70,6	979
Mn	1.899	1087	37660
Fe	40.580	114000	37660
Co	36,5	199	29,8
Ni	10,6	55,1	17
Cu	1.793	2439	3227
Zn	67,5	108,1	510,8
Ga	2,1	16,3	17,5
Ge	2,1	1,5	3,9
As	7,6	218,9	7

Se	0,7	0,7	1,7
Br	0,5	1,2	1,5
Rb	79,5	60,1	137
Sr	102,8	154,1	1138
Y	21,9	18,4	17,5
Mo	32	49	144
Ag	4,3	4,8	3,9
Cd	5,7	6,2	5,6
Sn	23,2	19,9	13,7
Sb	5,1	6,9	4,6
Te	8,6	7,7	6,7
I	15	14	12
Ba	414	759	348
W	5,8	22,2	52,3
Hg	1,9	4	2,3
Tl	1,8	2,9	1,8
Pb	7,5	61,6	23,9
Bi	1,6	2,5	2,6
Th	9,7	8,3	8,8
U	2,9	12,1	4,3

Quelle [29] : Studien von R. Mallea CIMM

Tabelle 17: Charakterisierung der Laugungsrückstände

Element	%
Kupfer	0,27
Molybdän	< 0.004
Eisen	5,16
Zink	0,023
Blei	0,03
Kalzium	1,22
Natrium	0,52
Kalium	4,72
Magnesium	1,49
Mangan	0,19
Arsen	0,021
Antimon	< 0.005
Silizium	27
Aluminium	6,25

Quelle [30]: CIMM-Studie.

6 Rückgewinnung der Wertelemente

6.1 Geplante und teilw. Laufende Projekte

Vereinzelt bestehen in Chile bereits Projekte, die auf die Rückgewinnung von Wertelementen aus verschiedenen Bergbaurückständen abzielen. Im folgenden Kapitel wird eine Übersicht über bereits laufende Projekte gegeben.

6.1.1 Projekt 1

- Anliegen: „Umweltsanierung von Flotationsrückstandsbecken La Africana, Projekt CONGO“
- Standort: Metropolregion, Gemeinde Pudahuel, 10 km von Santiago entfernt, Ruta 68
- Projektträger: Nueva Pudahuel
- Investitionsvolumen: 7 Millionen U\$D
- Rückzugewinnendes Element: Cu
- Rückstandsmenge: 2,5 Millionen Tonnen
- Aufbereitungskapazität: 830 Tonnen/Tag an Rückstand
- Kupfergehalt des Flotationsrückstands: 0,109 %
- Umweltverträglichkeitsprüfung: genehmigt

Das “Projekt Congo” sieht drei Betriebsmodule vor: Transport der Flotationsrückstände über eine Rückstandsleitung von der Mine La Africana bis zur Mine Lo Aguirre. Laugung der Rückstand zur Auslösung des Kupfers und Kristallisierung des Kupfers als Penthydratsulfat. Die Konzentration der Laugungslösung vor der Kristallisierung sieht eine Extraktionsphase mit organischen Lösungsmitteln vor.

Die metallurgischen Tests zeigen eine Kupferrückgewinnung zwischen 40 bis 44% und einen Säureverbrauch von 20 bis 24 kg H₂SO₄ /t Rückstand.

Die Laugungs- und Kristallisierungsphasen werden mit den Geräten der alten Anlage in der Mine Lo Aguirre umgesetzt.

Die Endlagerung der neutralisierten und durch die Hinzufügung von grobem Material chemisch und physikalisch stabilisierten Rückstände, wird in einem geschlossenen Raum in der Grube der Mine Lo Aguirre vollzogen.

Die Projekteigner suchen Partner, um zu analysieren, ob andere Elemente aus den Flotationsrückständen ausgelöst werden können.

6.1.2 Projekt 2

- Anliegen: „Behandlung der groben Fraktion frischer Flotationsrückstände in einer Anlage zur Aufbereitung von Bergbaurückständen“.
- Standort: VI. Region Libertador Bernardo O’Higgins, Provinz Cachapoal im Südosten der Stadt Rancagua, am Südufer des Cachapoal-Flusses.
- Projektträger: Ecometales Limited Agencia en Chile
- Investitionsvolumen: 35 Millionen U\$D
- Rückzugewinnende Elemente: Cu, Mo (Konzentrate)
- Rückstandsmenge: ca. 360 Millionen Tonnen trockene Rückstände (Rückstandsbecken Cauquenes)
- Aufbereitungskapazität: 182.000.- Tonnen/Tag Flotationsrückstand
- Kupfergehalt im Flotationsrückstand: 0,12 %
- Umweltverträglichkeitsprüfung: genehmigt

Minera Valle Central (MVC), Eigentum des kanadischen Unternehmens Amerigo Resources Ltd., gegründet im Jahr 1992, als mit Codelco Chile ein Vertrag mit einer Laufzeit von 20 Jahren unterzeichnet wurde, um Kupfer und Molybdän aus den Rückständen der Konzentrationsanlagen der Division El Teniente von Codelco Chile (DET) zurückzugewinnen. MVC, hat des Weiteren die Rechte zum Abtransport und zur Aufbereitung der alten Rückstände, die DET im Colihues-Staubecken entsorgt hat. MVC verarbeitet gegenwärtig 130.000 t/Tag frische Rückstände mit einem Gesamtkupfergehalt von 0,12%. Die Produktion von MVC im Jahr 2012 lag bei 23.500 Tonnen Feinkupfer und 482 Tonnen Molybdän.

Das Projekt „Behandlung der groben Fraktion frischer Flotationsrückstände in einer Anlage zur Aufbereitung von Bergbaurückständen“ wurde im September 2012 der Umweltverträglichkeitsprüfung vorgelegt und im April 2013 genehmigt. Es besteht in der Fortführung der Kupfer- und Molybdänrückgewinnung mit einer Steigerung auf 182.000 t/Tag Rückstand in der aktuellen Anlage zur Aufbereitung von Bergbaurückständen (PTRM). Damit wird die Produktion auf 5.100 t/Jahr Feinkupfer und 270 t/Jahr Molybdän gesteigert. Um dieses Ziel zu erreichen werden zusätzliche 50.000 t/Tag an frischen Rückständen umgesetzt.

Das Projekt sieht keine Rückgewinnung anderer Elemente aus den Rückständen vor.

Im Juli 2013 haben CODELCO und Amerigo Resources Ltd die Vertragsverlängerung für die Ausbeutung der Rückstände bis zum Jahr 2037 vereinbart.

6.1.3 Projekt 3

- Anliegen: „Flotationsrückstandslaugung“
- Standort: Minera Cerro Negro liegt 210 km nordöstlich von Santiago in der Gemeinde Cabildo, Provinz Petorca, fünfte Region in Chile.
- Projektträger: Compañía Minera Cerro Negro
- Investitionsvolumen: 3,4 Millionen U\$D
- Rückzugewinnende Elemente: Cu-Kathoden
- Rückstandsmenge: 5,5 Millionen Tonnen
- Aufbereitungskapazität: 1.500 t/Tag Rückstand
- Kupfergehalt im Flotationsrückstand: 0,6 %
- Umweltverträglichkeitsprüfung: im Verfahren

Die Anlage von Minera Cerro Negro, geschlossene Aktiengesellschaft, gebildet durch die Investmentgesellschaften Cabildo S.A (49%) und Compañía Los Angeles S.A. (51%), verfügt über Produktionslinien für die Aufbereitung von Oxiden und Sulfiden. Sie hat eine Kapazität von 250 t/Monat von Kathoden und 800 t/Monat an Konzentrat (19% Cu). Metallurgische Tests der Flotationsrückstandslaugung weisen eine Rückgewinnung von 85% Kupfer aus, was rund 220 Tonnen/Monat an zusätzlichen Kathoden ausmacht.

Das Unternehmen verfügt über ein Jahresvolumen von 7.800 Tonnen Feinkupfer und plant für die Zukunft die Flotationsrückstände aufzubereiten. Die Firma besitzt drei alte Rückstandsbecken aus der Sulfidanlage mit einem Gesamtvolumen von 3.400.000 Tonnen Flotationsrückständen mit einem durchschnittlichen Kupfergehalt von 0,54%. Zwei von ihnen haben insgesamt ein Volumen von 2,2 Millionen Tonnen mit einem Anteil an löslichem Kupfer von 0,65%. Das Unternehmen untersucht konzeptionell die Aufbereitung der eingelagerten Flotationsrückstände durch einen Laugungsprozess. Das Kupfer aus der angereicherten Lösung wird in den Installationen des Oxidbereichs rückgewonnen, in denen Kathoden produziert werden.

6.1.4 Projekt 4

- Anliegen: „Eisenrückgewinnung aus Flotationsrückständen“
- Standort: III. Region de Atacama, Provinz Copiapó, Gemeinde Tierra Amarilla in 5 km Entfernung von der Stadt Tierra Amarilla und 20 km südöstlich von Copiapó
- Projektträger: Compañía Minera del Pacífico S.A., CAP
- Investitionsvolumen: 65 Millionen U\$D
- Rückzugewinnende Elemente: Fe-Konzentrat
- Rückstandsmenge: 5,5 Millionen Tonnen

- Aufbereitungskapazität: 3,5 Millionen Tonnen/Jahr Rückstand
- Eisengehalt im Rückstand: 10% Magnetit
- Umweltverträglichkeitsprüfung: genehmigt

Das Projekt „Magnetitanlage“ soll Eisenkonzentrat durch die Gewinnung aus den Kupferkonzentrationsrückständen (nachfolgend „Rückstände“ genannt) des Bergbauunternehmens Compañía Contractual Minera Candelaria (CCMC) produzieren. Das Produkt Eisenkonzentrat oder Pellet Feed wird nach Asien exportiert.

Im Jahr 2012 hat die Magnetitanlage 25,7 Millionen Tonnen an Rückständen des Unternehmens Compañía Minera la Candelaria verarbeitet, dessen Gehalt an magnetischem Eisen bei 5,5 % liegt. Zusätzlich hat die Anlage 640.000 Tonnen Eisenfeinerz von Drittfirmen und 400.000 Tonnen von Codelco-Abraum aus Los Colorados verarbeitet. Ebenso wird die Möglichkeit der Aufbereitung anderer Stoffe mit rückgewinnbarem Eisen untersucht, womit der Betrieb der Anlage das Maximum der geplanten Kapazität erreichen würde. Von den fast 1,6 Millionen im Hafen Totalillo verschifften Tonnen Konzentrat, stammten 1.095.000 Tonnen aus frischen Rückständen

6.1.5 Projekt 5

- Anliegen: Metallrückgewinnungsanlage „Planta Recuperadora de Metales SpA“
- Standort: Mejillones
- Projektträger: CODELCO
- Investitionsvolumen: 80 Millionen U\$D
- Rückzugewinnende Elemente: Kupfer, Gold, Silber, Palladium, Platin, Selen, Tellurium
- Aufbereitungskapazität: 4.000 t/Jahr an Nebenprodukten
- Umweltverträglichkeitsprüfung: im Verfahren

Projektziel ist die Rückgewinnung von Kupfer und verschiedenen anderen Edelmetallen aus den Raffinerieausfällungen und Anodenschlämmen aus den Gießereien und Raffinerien des Unternehmens und Dritter. Die vorgesehene Produktionskapazität der Anlage wird bei 4.000 Tonnen der Nebenprodukte liegen.

Zur Umsetzung des Projekts hat Codelco die Studien gemeinsam mit dem koreanischen Unternehmen LS-Nikko Copper Inc. entwickelt, das zukünftig Partner der Gesellschaft Planta Recuperadora de Metales SpA sein wird.

Wenn die Studie zu zufriedenstellenden Ergebnissen kommt, beginnt der Bau der Aufbereitungsanlage 2013 und LS-Nikko wäre zuständig für den Entwurf und den Betrieb.

Die Metallproduktion hängt wesentlich vom Metallgehalt der aufbereiteten Nebenprodukte ab, aber es wird geschätzt, dass im Jahresdurchschnitt folgende Mengen produziert werden können: 5 Tonnen Gold, 500 Tonnen Silber; 150 Kilo Palladium, 10 Kilo Platin, 200 Tonnen Selen, 20 Tonnen Tellurium und 1.600 Tonnen Kupfersulfat. Die aufgeführten Volumina unterstreichen das große wirtschaftliche Potenzial des Projekts mit einem Jahresumsatz von rund 500 Millionen USD.

6.1.6 Nutzung der Gießereischlacke.

In den Kupferkonzentratsfusions- und Konversionsprozessen werden rund zwei Tonnen Schlacke pro produzierter Tonne Kupfer erzeugt. Wenn man die Produktion der sieben Gießereien des Landes dazu addiert, kommt man - wie Sánchez ausführt - auf eine Schlackeproduktion von 3,2 Millionen Tonnen jährlich.

Im Bericht über die Bewertung der Bergbaurückstände wird dargestellt, dass diese Elemente vor ihrer Endlagerung aufbereitet werden, um das in ihnen gebundene Kupfer mittels eines pyrometallurgischen Verfahrens zur Schlackenreinigung oder der Kupferkonzentration über Flotation rückzugewinnen. „Auf beiden Wegen wird eine zu entsorgende Schlacke mit einem Cu-Gehalt von 0,6 bis 0,8% erzeugt, die zwischen 85% und 90% der gesamten Schlackemasse ausmacht“, erklärt Sánchez.

Außerdem enthält die Schlacke nach Studien der Division Chuquicamata mehr als 40% Eisen und andere Metalle wie Molybdän und Zink, die in den zu schmelzenden Kupferkonzentraten vorkommen. Der Professor der Universität Andrés Bello kommentiert, dass Codelco im Rahmen der Bewertung der Schlacke das erste Bergbauunternehmen des Landes ist, das einen Bergbaurückstand ausschrieb und „somit diesen Abfällen einen Preis gegeben hat“.

6.1.7 Gießereigase.

Einer der Rückstände, die heute als Aktiva verstanden werden, sind die Gießereigase. In den Gießereien entsteht Schwefeldioxid (SO₂), ein Gas, das als Giftstoff eingestuft wird, da es sauren Regen verursacht.

Aufgrund der durch die Gießereigase im Umfeld hervorgerufenen Konsequenzen und infolge der neuen Umweltauflagen in den 90ern mussten die Gießereien Säureanlagen zur SO₂-Reduktion einrichten.

Sánchez führt aus, dass diese Technologie ermöglichte, bis zu 70% der SO₂ rückzugewinnen und somit verfügte man über kostengünstige Schwefelsäure, die die Entwicklung der Hydrometallurgie in den Bergbauprozessen erlaubte.

„Heute ist Schwefelsäure ein Commodity und besitzt einen den Marktschwankungen unterzogenen Wert, aber sie verleiht den Produkten des Bergbauunternehmens einen Wert“, betont der Wissenschaftler.

6.1.8 Schlacke (Projekt „Untersuchung zur Nutzung der Kupferschlacken“, Technisches Institut der Universität Atacama, Chile“)

Die jüngsten Studien aus der Literatur konzentrieren sich auf die Nutzung der Schlacken als Material, das den Portland-Zement ersetzt und in diesem Sinn bestätigen die veröffentlichten Ergebnisse, dass einige der Kupferschlacken Zementeigenschaften haben und als Alternative zum Zement eingesetzt werden können. In der vorliegenden Studie wird von den Autoren ein Vergleich des Kompressionswiderstands von Beton aus Kupferschlackensand aus der Gießerei Hernan Videla Lira (Paipote) mit Beton aus herkömmlichem Flusssand präsentiert. Die Ergebnisse sind vielversprechend, da der Kompressionswiderstand des Kupferschlackenbetons nach 28 Tagen 34% höher war als beim herkömmlichen Beton.

Die Division Potrerillos von Codelco lagert zu entsorgende Schlacke mit einem Kupfergehalt von 1%. Das Material wird metallurgisch in der Anlage „Los Amarillos“ aufbereitet, aber um den Prozess umsetzen zu können, bedarf es einer feineren Körnung.

Das Material wird in der Rückstandsaufbereitungsanlage Los Amarillos behandelt, dessen Infrastruktur zur Eingliederung des neuen Materials in den Produktionsprozess ausgebaut worden ist. Somit werden 700 Tonnen pro Tag aufbereitet. Ziel der Inbetriebnahme des Projekts ist die Produktionserhöhung der Anlage „Los Amarillos“ sowie die Evaluierung anderer Alternativen der Schlackenaufbereitung in der Konzentrationsanlage.

7 Ergebnisse, Vorschläge und Empfehlungen für zukünftige Maßnahmen

Zur Bestimmung der Bedeutung der Rückstände aus der Kupferproduktion sind verschiedene Kriterien heranzuziehen, die letztlich bestimmen, ob ein Geschäft mit diesen Rückständen möglich ist. Zu den wichtigsten Kriterien zählen: Vorkommen von werthaltigen Elementen in den Rückständen, Volumen der Rückstände, die diese

werthaltigen Elemente enthalten (Tonnage, Volumen etc.), Wert der potenziell rückgewinnbaren Elemente, Grad der Nachfrage nach diesen Elementen, Existenz von Technologien oder technologischen Verfahren, die die Rückgewinnung ermöglichen, Klarheit zu den Besitzverhältnissen.

Wie ausgeführt und wie auch aus Tabelle 10 zu entnehmen ist, zeigt sich eine deutliche Wachstumstendenz bei der Rückstandserzeugung für die nächsten Jahre. So wird beispielsweise für 2020 vorhergesagt, dass die Rückstandserzeugung mit einem Volumen von rund 600 Millionen Tonnen pro Jahr die Produktion des Jahres 2012 um 260% übertrifft. Die akkumulierte Produktion von Flotationsrückständen von 1993 bis 2002 lag bei 1.087 Millionen Tonnen. Von 2003 bis 2012 ist das Gesamtvolumen auf 2.337 Millionen Tonnen angestiegen, womit in Chile in den letzten 20 Jahren 3.424 Millionen Tonnen an Flotationsrückständen erzeugt worden sind.

Die akkumulierten Rückstände sind metallurgisch praktisch nicht aufbereitet worden, das heißt, es hat so gut wie keine Rückgewinnung werthaltiger Elemente gegeben. Die mögliche Aufbereitung stellt somit eine enorme Herausforderung, aber gleichzeitig auch eine große Chance dar. Hier muss zunächst eine umfangreiche Arbeit im Bereich der Charakterisierung des Materials geleistet werden, um dann die technischen Verfahren zu entwickeln, die die rentable Rückgewinnung einiger der werthaltigen Elemente erlauben.

Auch wenn die Erzeugung der Laugungsrückstände bis zum Jahr 2020 tendenziell zurückgeht, haben sich in den letzten Jahren bedeutende Volumen angesammelt. Von 2003 bis 2012 haben sich 5.028 Millionen Tonnen akkumuliert. Das heißt, die Produktion der Laugungsrückstände in den letzten 10 Jahren übertrifft die Erzeugung der Flotationsrückstände in den letzten 20 Jahren um 1.660 Millionen. Ebenso wie die Flotationsrückstände ist dieses Material praktisch nicht behandelt worden, das heißt es sind keine werthaltigen Elemente rückgewonnen worden. Es ist allerdings anzumerken, dass die Laugungsrückstände in ihrem ursprünglichen Zustand als Erz anders als die Flotationsrückstände mit Schwefelsäurelaugung schon metallurgisch behandelt worden sind, weshalb die Rückgewinnung löslicher Wertelemente sicherlich komplizierter und teurer ausfällt.

Andere Rückstände, wie die Schlacken, tendieren zu abnehmender Produktion und sind im Vergleich mit dem massiven Aufkommen der Laugungs- und Flotationsrückstände von geringerer Bedeutung.

Unsere Untersuchung zielt darauf ab, Information zu generieren, die nicht nur das vermutete Vorkommen von werthaltigen Elementen in Bergbaurückständen stützt, sondern auch Daten liefert, die ihre reale Existenz glaubwürdig nachweisen. Zusätzlich

verweist die Studie auf die zukünftige Nachfrage nach gewissen Elementen, die für Technologien neuester Generation notwendig sind, wie in Tabelle 1 aufgezeigt wurde.

Den Ausführungen folgend erscheint es unabdingbar, durch eine stärker detaillierte Analyse der bestehenden Dokumentation und über Feldstudien weitere Informationen zu erarbeiten. Diese Informationen sollen als Grundlage zur Erarbeitung und Weiterentwicklung von Prozessen dienen, die erlauben, ein neues Segment im chilenischen Bergbau zu etablieren – den sekundären Bergbau.

8 Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] Weltweites Nachfrageverhalten einiger für neue Technologien eingesetzte Rohstoffe von 2006 bis 2030 (Quelle: BGR im April 2010.)
- [2] Report on Critical Raw Materials for the EU (revision of the list), http://ec.europa.eu/enterprise/newsroom/cf/itemdetail.cfm?item_id=7547&lang=de&tpa_id=0&title=20%2Dcritical%2Draw%2Dmaterials%2D%2D%2Dmajor%2Dchallenge%2Dfor%2DEU%2Dindustry
- [3] Für die EU kritische Rohstoffe (Quelle: Europäische Kommission, Juni 2010.)
- [4] Reseña metalogenica de chile y de los procesos que determinan la metalogenesis andina. Victor Maksaev J. September, 2001.
- [5] Jahrbuch Cochilco (chilenische Kupferkommission) 2012, S. 15.
- [6] Jahrbuch Cochilco (chilenische Kupferkommission) 2012, S. 15.
- [7] Jahrbuch Sernageomin (chilenischer geologischer Dienst) 2012, S. 34.
- [8] Jahrbuch Cochilco (chilenische Kupferkommission) 2012, S. 17.
- [9] Jahrbuch Cochilco (chilenische Kupferkommission) 2012, S. 19.
- [10] Jahrbuch Sernageomin (chilenischer geologischer Dienst) 2012, S. 44.
- [11] Jahrbuch Sernageomin (chilenischer geologischer Dienst) 2012, S. 47.
- [12] Jahrbuch Sernageomin (chilenischer geologischer Dienst) 2012.
- [13] Nachhaltigkeitsbericht 2012, Grupo CAP
- [14] Nachhaltigkeitsbericht 2012, Grupo CAP
- [15] Jahrbuch Sernageomin (chilenischer geologischer Dienst) 2012.
- [16] Chilenische Kupferkommission, Cochilco.

[17] Gestión de Residuos Industriales Sólidos Mineros y Buenas Prácticas. ACUERDO MARCO PRODUCCIÓN LIMPIA SECTOR GRAN MINERÍA BUENAS PRÁCTICAS Y GESTIÓN AMBIENTAL Noviembre 2002

[18] DIA Transporte de barros anódicos codelco división ventanas, adenda nº 1 de solicitud de aclaraciones, rectificaciones y/o ampliaciones a la declaración de impacto ambiental del proyecto "transporte de barros anódicos"

[19] Gestión de residuos industriales sólidos mineros y buenas prácticas, subsecretaría de economía consejo nacional de producción limpia, acuerdo marco producción limpia sector gran minería buenas prácticas y gestión ambiental, noviembre 2002.

[20] Metalurgia Extractiva, Curso E-Learning. Victor Conejero Trujillo, Academico del departamento de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Católica del Norte. Antofagasta – Chile.

[21], [R. BIPRA, "Characteristics and utilization of copper slag – a review", Resources, Conservation and Recycling 39 (2003) 299-313).

[22] Estudio de Cochilco, Proyección del consumo de energía eléctrica de la minería del cobre en Chile al 2020. Jorge Zeballos V., Analista Dirección de Estudios. Noviembre 2012.

[23] Geología del prospecto cerro carmen; mineralización de uranio y tierras raras. Heriberto Fortín Medina, Boris Alarcón Farías. Comisión Chilena de Energía Nuclear* Amunátegui 95, Santiago- Chile.

[24] Procesos aplicados en la concentración de minerales que contienen tierras raras. una revisión. Osvaldo Pavez, Luis Valderrama , Antônio E.C. Peres. Departamento de Metalurgia – Universidad de Atacama- COPIAPO – CHILE.

[25] CODELCO, Barros anódicos, División Codelco Alto Norte.

[26] Composición de escorias. El Teniente, Fundición Coletones.

[27]. Proyecto: "Comercialización de polvos de fundición" Xstrata Copper Chile S.A.

[28] ENAMI, Proyecto PEPA , Planta de tratamiento de polvos de fundición.

[29] Studien des metallurgischen Bergbauforschungszentrum CIMM, Autor: R. Mallea.

[30] Studien des metallurgischen Bergbauforschungszentrum CIMM.

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Allgemeines Schema der Kupfererzbearbeitung

Abbildung 2: Hydrometallurgisches Bearbeitungsschema für Kupfererze

Abbildung 3: Verarbeitungsschema für Kupfersulfiderze.

10 Tabellen

Tabelle 1: Weltweites Nachfrageverhalten einiger für neue Technologien eingesetzte Rohstoffe von 2006 bis 2030 (Quelle: BGR im April 2010.)

Tabelle 2: Für die EU kritische Rohstoffe (Quelle: Europäische Kommission, Juni 2010.)

Tabelle 3: Metallerzproduktion 2012 (Quelle: Cochilco Jahresbericht 2012, Seite 15.)

Tabelle 4: Industriemineralproduktion 2012 (Quelle: Cochilco-Jahrbuch 2012, Seite 15.)

Tabelle 5: Unternehmen und Kupferproduktion im Jahr 2012 (Quelle: Cochilco-Jahrbuch 2012, Seite 17.)

Tabelle 6: Unternehmen und Molybdänproduktion, Jahr 2012 (Quelle: Cochilco-Jahrbuch 2012, Seite 19.)

Tabelle 7: Herkunft der Goldproduktion 2012 (Quelle: Sernageomin-Jahrbuch 2012, Seite 44.)

Tabelle 8: Herkunft der Silberproduktion 2012 (Quelle: Sernageomin-Jahrbuch 2012, Seite 47.)

Tabelle 9: Tonproduktion im Jahr 2012 (Quelle: SERNAGEOMIN-Jahrbuch 2012, Seite 58.)

Tabelle 10: Projektion der Kupferproduktion bis zum Jahr 2020 in Tausenden von Tonnen (Quelle: Cochilco.)

Tabelle 11: Projektion der Rückstandserzeugung (Flotationsrückstände, Laugungsrückstände und Schlacken) in Tausenden von Tonnen

Tabelle 12: Chemische Zusammensetzung des Anodenschlammes: (Quelle: CODELCO, Anodenschlämme, Division Codelco Alto Norte.)

Tabelle 13: Durchschnittliche Zusammensetzung der Schlacke, Gießerei El Teniente Codelco, (Quelle: El Teniente, Gießerei Caletones.)

Tabelle 14: Typische Zusammensetzung des Gießereistaubs, (Quelle: Xstrata Copper Chile S.A.)

Tabelle 15: Charakterisierung des Gießereistaubs, (Quelle: ENAMI, Projekt PEPA, Gießereistaubbehandlungsanlage.)

Tabelle 16: Chemische Charakterisierung von Flotationsrückständen, (Quelle: Studien von R. Mallea CIMM.)

Tabelle 17: Charakterisierung der Laugungsrückstände, (Quelle: CIMM-Studie.)