

**Entwicklungen zur Erhöhung des
integralen Metallausbringens bei
der Raffination von primären und
sekundären Kupferrohstoffen**

von

Hans Wöbking

Entwicklungen zur Erhöhung des integralen Metallausbringens bei der Raffination von primären und sekundären Kupferrohstoffen

H. Wöbking

1. Einleitung

Eine Steigerung des integralen Rohstoffausbringens kann in den einzelnen Prozeßschritten vom Erzabbau über die Aufbereitung und Raffination, bei der Wiederverwertung der bei der Herstellung von Halb- und Finalprodukten anfallenden Schrotte bis hin zum Recycling von Altschrotten und metallhaltigen Abfällen erfolgen.

Im Rahmen dieses Vortrages soll, vorgegeben durch den Erfahrungsbereich und Kenntnisstand des Autors, vorwiegend und als Beispiel gedacht das Metall Kupfer behandelt werden. Dabei werden die physikalisch/chemischen Grundlagen der wichtigsten Raffinationsschritte kurz dargelegt.

Aus der Vielzahl der Entwicklungen werden für die einzelnen Hauptprozeßstufen der Raffination spezielle Verfahren ausgewählt, an denen integrale Aspekte des Metallausbringens dargelegt werden können, und zwar:

- Ausbringen einzelner Komponenten aus komplex zusammengesetzten Erzen und Lösungen;
- selektive Rückgewinnung von Metallen aus Sekundärrohstoffen mittels Sauerstoffmetallurgie oder über die Reduktion von Schlacken;
- Verfahren zur Erhöhung des Durchsatzes bestehender Anlagen;
- Direktverfahren zur elektrolytischen Gewinnung von Metallen aus Erzen und aus Schrotten;
- Gewinnung bzw. Beseitigung von Metallionen aus Wässern.

Die angegebenen Methoden sind grundsätzlich nicht auf das Metall Kupfer beschränkt, sondern in abgewandelter und angepaßter Form auch auf andere Metalle anwendbar.

Die mir erwähnenswert scheinenden Verfahren können eher nur kurz-
sitorisch aufgelistet werden - ich werde mir aber erlauben, einige
Neuentwicklungen, die von Veröffentlichungen her nur einem kleinen
Kreis von Fachleuten bekannt sein dürften, etwas ausführlicher
darzulegen.

In der Raffination von Metallen erfolgte ein großer Schritt Richtung
neuer Technologien durch Einführung der Raffinationselektrolysen am
Ende des vorigen Jahrhunderts; durch das elektrische Raffinations-
verfahren gelang es beispielsweise, Kupfer, ein Metall hoher Reinheit
und damit entsprechend guter Verarbeitbarkeit, in großen Mengen
herzustellen; gleichzeitig wurden durch den beim Elektrolyseprozeß
entstehenden Anodenschlamm Edelmetalle abgetrennt und akku-
muliert.

Ein weiterer richtungsweisender Schritt erfolgte, als konventionelle
Metallgewinnungsverfahren, die durch pyrometallurgische Arbeiten
gekennzeichnet waren, teilweise oder gänzlich seit den frühen sech-
ziger Jahren durch hydrometallurgische Methoden ersetzt und ergänzt
wurden - als Stichworte seien genannt: Drucklaugung, Solvent-
extraktion, direkte Erzlaugung, Electrowinning sowie direkte Elek-
trolyse von Erzen und Schrotten.

Der nächste Schritt in Richtung neuer Technologie wird durch ver-
stärkte Einführung biotechnologischer, insbesondere mikrobiologischer
Methoden zur Metallgewinnung, Selektion und Akkumulation zu
setzen sein, wobei die Bakterienlaugung gewisser Erze bereits
großtechnisch seit Jahren vor allem in Ländern mit wärmerem Klima
im Einsatz ist.

Die Verbesserung bestehender Verfahren zwecks Steigerung des in-
tegralen Metallausbringens hat dort anzusetzen,

- wo die Reaktion bei der Raffination relativ langsam verläuft,
- wo große Mengen an Metall als Umlaufvermögen gebunden sind,
- wo die Einhaltung und Kontrolle der notwendigen Prozeßparameter
nur mangelhaft gegeben ist,
- wo die selektive Gewinnung von einzelnen Metallen aus Komplexen
bestimmend ist für die Wirtschaftlichkeit

und

- wo aus Umweltschutzgründen oder aus Gründen der Alimentierung Metalle oder deren Verbindungen rückgewonnen und wiederverwendet werden müssen.

In allen Fällen wird das Hauptaugenmerk auf einem hohen Ausbringen des Hauptmetalls in möglichst reiner Form - sei es aus Erzkonzentraten oder Sekundärrohstoffen - sowie auf einem gleichzeitigen Gewinnen von etwaigen Begleitmetallen liegen, sofern diese wirtschaftliche verwendet werden können.

Im folgenden möchte ich einige Grundlagen der Raffination präsentieren, aus denen sich Möglichkeiten zur Verbesserung des integralen Metallausbringens ableiten lassen und wodurch Wege zu neuen Technologien vorgezeichnet sind.

2. Elektrochemische Spannungsreihe/Oxidationspotentiale

Betrachten wir einmal die elektrochemische Spannungsreihe der Metalle, so stehen ganz links mit stark negativen Potentialen die unedlen Elemente wie Alkali- und Erdalkalimetalle mit Potentialen zwischen -3,01 V für Lithium und -1,70 V für Beryllium; es folgen die unedlen Metalle Aluminium mit -1,66 V, Zink -0,76 V, Eisen II - 0,44 V, Cadmium -0,40 V, Kobalt - 0,27 V, Nickel -0,23 V und Zinn II mit -0,126 V. Wasserstoff erhält definitionsgemäß das Potential 0,00 V. Rechts vom Wasserstoff stehen die Metalle mit positiven Potentialen: beginnend mit den halbedlen Metallen wie Wismuth, Antimon, Arsen mit Potentialen zwischen +0,2 und +0,3 V; Kupfer, Ruthenium, Tellur, Polonium mit +0,34 bis +0,6 Volt und schließlich die Edelmetalle von Silber mit +0,8 V bis Gold I mit +1,7 V.

Die angegebenen Potentiale sowie die hierarchische Reihung der Metalle ist abhängig von der Aktivität des jeweiligen Metalls sowie von der Temperatur der Lösung oder der Schmelze. Definitionsgemäß bezieht man die Potentiale auf eine Temperatur von 20 °C und eine Aktivität = 1.

Durch ihre Stellung innerhalb der Spannungsreihe sind sehr wesentliche Eigenschaften der Metalle, die ihre Raffination betreffen, vorgegeben.

Die Metalle mit negativem Potential lassen sich sehr leicht oxidieren, sie sind relativ einfach in Lösung zu bringen und wirken selbst als Reduktionsmittel; umgekehrt verhält es sich bei den rechts ste-

henden Metallen mit positivem Potential - sie lassen sich leicht reduzieren; sie sind bestrebt, sich aus Lösungen abzuscheiden und wirken eher als Oxidationsmittel.

Bei der Raffination nutzt man die dargelegten Metalleigenschaften aus. Durch abwechselndes partielles Oxidieren und Reduzieren werden aus einem komplexen Metallgemisch die edleren Metalle eher in einen reduzierten, d.h. metallischen Zustand überführt, während die unedleren Metalle größtenteils oxidiert, d.h. in die Form oxidischer Flugstäube, Schlacke oder positiv geladener Metallionen gebracht werden.

Aus der elektrochemischen Spannungsreihe und den sie bestimmenden Parametern lassen sich eine Reihe von Ansatzpunkten für eine Verbesserung der Ausbringungsziffern ableiten, die wiederum zu neuen Technologien geführt haben oder führen könnten und hier nur kurz dargestellt werden sollen.

- Exakte, metallbezogene Einstellung der Oxidationspotentiale in den Raffinationsaggregaten, z.B. in einem Konverter; gemeint ist die zeitgenaue Einstellung und Kontrolle der Oxidations- bzw. Reduktionsverhältnisse in der Ofenatmosphäre, abgestimmt auf die zu gewinnenden bzw. zu verschlackenden Metalle. Dieses läßt sich beispielsweise durch reduzierende Brennerführung, durch Ein- oder Aufblasen von Sauerstoff und Einstellung bestimmter Temperaturen und Aktivitäten von Metallen in der Schmelze erzielen. Als Stichworte seien angegeben: Sauerstoffmetallurgie, Top blown rotary converter, Kaldo- oder Contopverfahren.

Hierher gehören auch Pyrolyseverfahren zur Rückgewinnung von Metallen aus Metall-Kunststoff-Verbundstoffen.

- Selektive Laugung von Metallen aus komplexen Erzen oder aus Kuppelprodukten von Sekundärhütten durch gezielte Einstellung von pH-Wert und Temperatur sowie durch Verwendung spezieller Lösungsmittel.

Beispielsweise das Herauslösen von Zink aus Konverterstäuben, die ein Gemisch von Zinkoxid, Bleioxid und Zinnoxid darstellen, mittels Schwefelsäure oder mehr generell: die hydrometallurgische Aufarbeitung von oxidischen Stäuben oder Schlacken zur Rückgewinnung der in ihnen enthaltenen Wertmetalle.

- Verbesserung von Zementationsprozessen: Aus metallionenhaltigen Lösungen lassen sich durch Zusatz von stückigen Metallen diejenigen Ionen auszementieren, die edler sind als das Zusatzmetall. Beispielsweise: Zementation von Kupfer mittels Eisen im Complexprozeß bei der Drucklaugung komplexer Kupfererze oder Reinigung von Zinksulfatlösungen mittels Zinkpulver (Zementation von Kupfer und Cadmium); Gewinnung von Metallen aus und Reinigung von Abwässern durch Zementationsprozesse.

Die Entwicklung ging und geht dahin, dem Zusatzmetall, d.h. dem Reduktionsmittel, möglichst blanke, große Oberflächen zu verschaffen: Stichworte: Schwingmühle, Eleclean-Prozeß, Erzeugung von Metallpulvern, Einsatz kombinierter Elektrolyse- und Zementationsverfahren.

- Auch die Raffinations- und Gewinnungselektrolyse bestehen räumlich gesehen aus einer partiell oxidierenden Stufe - nämlich dem Anodenprozeß - und einem reduzierenden Anteil: der kathodischen Abscheidung von Metallen, wobei Metallionen durch Zufuhr von Elektronen zu Metall reduziert werden. Durch Schaffung optimaler elektrochemischer Abscheidebedingungen, durch Anpassung der kathodischen Überspannung zwischen Elektrolyt und Metallkathode an die gewünschte Abscheidung lassen sich hohe Metallreinheiten und andererseits hohe räumlich, zeitliche Ausbeuten erzielen. Darüberhinaus können die Begleitelemente wie z.B. Nickel, Blei und Edelmetalle bei der Kupferraffinationselektrolyse in separaten Phasen angereichert werden.

Als Neuentwicklungen der letzten Jahre seien erwähnt: Verwendung von Permanentkathoden aus Edelstahl in der Kupferelektrolyse; PCR-Verfahren, d.h. Verwendung von Rechteckströmen mit periodisch wechselnder Polarität; Einführung hoher Stromdichten in der Kupferraffinationselektrolyse, nämlich 350 A/m² anstelle der konventionellen 200 A/m² und damit Erhöhung der Raum-Zeit-Ausbeute und Verringerung des Umlaufvermögens; Rückgewinnung von Metallen aus niedrig konzentrierten Lösungen durch Fließbett-, Festbett- und Schüttelektroden-Elektrolysen, wobei die Stromdichte durch große Oberflächen der Kathoden möglichst klein gehalten wird.

Weitere Entwicklungen gehen

- a) in Richtung Direktelektrolyse, d.h. elektrolytische Metallgewinnung, wobei als Anodenmaterial verunreinigte Schrotte eingesetzt

werden, oder Direktmetallgewinnung aus einer Suspension von Erzkonzentraten.

b) in Richtung kontinuierlicher Raffinationselektrolyse.

Beispiel:

Es sei die Verwendung des "top blown rotary converters" (kurz TBRC genannt) zur Verarbeitung von Kupfersekundärmaterial angeführt.

Das TBRC-Aggregat ist ein kippbarer Konverter, der in allen Lagen rotiert werden kann. Die Chargierung erfolgt in Schrägstellung in die Konverteröffnung hinein. Die Verbrennungs- und Reaktionsgase sowie die Schlackenbildner werden über Lanzen zugeführt. Als besonderer Vorteil erweist sich, daß das Oxidationspotential im Reaktionsgefäß exakt eingestellt werden kann und daß durch die mechanische Bewegung eine weitgehende Homogenisierung des Einsatzmaterials sowie eine intensive Reaktion hervorgerufen wird.

Kupferhaltige Sekundärmaterialien wie Schlacken, Aschen, Kupfer-Eisen-Schrotte etc. werden bei niedrigen Temperaturen vorsichtig eingeschmolzen, wobei unter Berücksichtigung des entsprechenden Sauerstoffpotentials in der Gasatmosphäre ein Filterstaub entsteht, der vorwiegend ZnO enthält und in einem Sackfilter abgefangen wird. Zinn und Blei werden mit einem gewissen Anteil des Kupfers total verschlackt. Das verbleibende Metall wird in einem Trommelofen nachbehandelt und als Kupferanode abgegossen. Die Cu-Sn-Pb-Schlacke wird in einem zweiten TBRC mittels Kupfer-Eisen-Schrott reduziert. Durch kontrollierte Temperaturführung und spezielle Einstellung der Gasatmosphäre gelingt eine Abtrennung des Bleis und Zinns vom sogenannten Schwarzkupfer, welches recycelt wird. Das Blei-Zinn-Metall wird in einem Saigerungsprozeß gereinigt und als Lotmetall abgegossen. Auch bei der Schlackennachbehandlung wird ein Zinkoxidstaub erhalten, der in einem Filter abgefangen werden kann.

Als Vorteile gegenüber dem konventionellen Sekundärprozeß sind die kurze Raffinationszeit, die Abtrennung und separate Gewinnung von Blei und Zinn, die Gewinnung eines hochkonzentrierten ZnO-Staubes, die geringen Metallverluste und die eventuell mögliche Vereinigung des konventionellen Schachtofen- und Konverterprozesses zu einem Raffinationsschritt anzuführen.

3. Schmelzpunkte und Dampfdruck

Für die pyrometallurgische Raffination der Metalle sind zwei weitere Metalleigenschaften von Bedeutung: der Schmelzpunkt und der Dampfdruck.

Die Schmelzpunkte weisen für die wichtigsten Metalle einen relativ weiten Bereich auf: - 38° C bei Quecksilber bis 3410° C bei Wolfram.

Folgende Detailbereiche sind für die Raffination von Interesse: Die Schmelzpunkte für Zinn, Cadmium, Blei, Zink und Antimon liegen zwischen 232° C und 630° C, für Silber, Gold und Kupfer ergeben sich Werte von 962 - 1083° C; für Nickel, Kobalt, Eisen, Platin und Chrom solche von 1453 - 1890° C und für die hochschmelzenden Metalle Niob, Molybdän, Tantal, Osmium, Rhenium und Wolfram liegen die Werte zwischen 2610 und 3410° C.

Die Dampfdruckkurven überstreichen ebenfalls weite Bereiche, die wiederum von der Temperatur abhängig sind. Der Dampfdruck bei konstanter Temperatur ist für Brom, Indium, Quecksilber, Arsen, Selen, Kalium und Natrium relativ hoch; liegt für Kupfer, Aluminium, Silber, Nickel, Chrom und Silicium im Mittelfeld und nimmt für Bor, Zirkon, Molybdän, Platin, Tantal und Kobalt relativ niedere Werte an.

Unter Ausnutzung der oben beschriebenen Metalleigenschaften ergeben sich insbesondere für die Sekundärmetallgewinnung, nämlich bei der Verarbeitung von Metallgemischen, neue Verfahren (bzw. wiederentdeckte alte Verfahren), die nun zur Anwendung gelangen.

Von den unterschiedlichen Schmelzpunkten wird Gebrauch gemacht bei der Abtrennung der Zink- und Bleifraktion vom Eisenanteil in Shredderschrotten: Zink schmilzt bei 420° C, Blei bei 327° C, Eisen bei 1536° C; durch gezielte Temperaturführung ist die gewünschte Abtrennung möglich und wird auch bereits großtechnisch beim sogenannten SMA-Verfahren eingesetzt.

Von den unterschiedlichen Dampfdrücken wird vor allem bei der Destillation zur Entfernung von Verunreinigungen aus Metallen Gebrauch gemacht, wobei man stets vom flüssigen Zustand ausgeht, da die Diffusionsgeschwindigkeit in einer Flüssigkeit (Schmelze) zur verdampfenden Oberfläche wesentlich größer ist als im festen Zustand.

Neue Entwicklungen zielen darauf hin, z.B. Zink über Verdampfung direkt aus Messing oder Messingschrotten, die verunreinigt sein können, zu gewinnen. Die Anlage arbeitet unter Vakuum bei 20 Torr und bei Temperaturen von 900 - 1000° C; es werden Zinkgehalte von 96 % im Destillat erzielt.

Nach ähnlichen Verfahren kann Blei aus Rotguß gewonnen werden (1300° C).

Im Altmetallkonverter benutzt man die unterschiedlichen Dampfdrücke vom Kupfer (0,1 mbar bei 1500° C), Zinn (0,8 mbar), Blei (10 mbar) und Zink (1000 mbar) zur Abtrennung der letztgenannten Metalle vom Kupfer aus. Infolge der oxidischen Prozeßführung fallen Blei, Zinn und Zink als Mischoxide an und stellen ein wertvolles Vorprodukt für die Gewinnung von Zink für die Farbindustrie und von Zinn und Blei für die Herstellung von Lotmetall dar.

4. Hydrometallurgie

Bei den hydrometallurgischen Verfahren zur Metallgewinnung nutzt man elektrische Umladevorgänge, Ionentauscher- und Laugungsprozesse zur Metallgewinnung aus.

Im folgenden werden nicht mehr die elektrolytischen Verfahren behandelt, da diese bereits im vorletzten Kapitel dargelegt wurden. Aus dem weiten Feld der Hydrometallurgie seien hier vor allem Laugungs- und Ionentauscherprozesse ausgewählt.

4.1 Laugung

Diese kann sich sowohl auf Erze als auch auf Zwischenprodukte, die bei der Raffination der Metalle anfallen, beziehen.

Bei der Erzlaugung ist dabei zwischen der Laugung oxidischer und sulfidischer Erze zu unterscheiden. Oxidische Erze werden bereits seit Jahrzehnten mit Säuren gelaugt, da bisher oxidische Erze nur schwer flotierbar waren und bei der pyrometallurgischen Raffination zu großen Schlackenmengen führen würden. Die Laugung oxidischer Erze hat durch die Einführung der Solventextraktion zur Laugenreinigung und durch Verbesserungen beim Electrowinning einen relativ großen Aufschwung genommen.

Die Laugung sulfidischer Erze, die aufgrund der relativ hohen chemischen Stabilität der Sulfide mit erheblichem Aufwand betrieben werden muß, hat gewisse Chancen: einmal aus Umweltschutzgründen,

da der SO_2 -Anfall, wie er bei der pyrometallurgischen Verarbeitung auftritt, entfällt, andererseits die Laugung bei der Aufarbeitung von low grade ores und eventuell von Flotationsabgängen wirtschaftlich betrieben werden kann.

In der Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit können nur die wichtigsten Laugungsverfahren gebracht werden, und zwar im wesentlichen bezogen auf Kupfererze:

- Laugung mit Ammoniak und Eisen III-Salzen bei Normaldruck: Problem: es entsteht im ersten Falle Ammonsulfat, das entsorgt werden muß, im zweiten Fall werden große Mengen von FeISO_4 erhalten.
- Drucklaugung direkt von Erzen mittels Autoklaven und Sauerstoffzufuhr. Zum Teil werden die Erze vorbehandelt, wobei die Vorbehandlung eine chlorierende, sulfatisierende oder aktivierende Röstung sein kann.

Interessante Perspektiven eröffnen sich durch eine Kombination von beispielsweise Drucklaugung mit Zugabe von FeII -Salzen, z.B. bei der Verarbeitung komplexer Erze mit hohen Antimon- und Arsengehalten, wobei diese Elemente als stabile Eisenarsenate bzw. Eisenantimonate abgetrennt werden können.

An dieser Stelle soll die Bakterienlaugung erwähnt werden. Diese Art der Laugung wird im wesentlichen zur Laugung sehr armer Erze in Abraumhalden angewandt. Die Lösung von Sulfiderzen mittels Bakterien beruht im wesentlichen darauf, daß die eigentliche Laugungssubstanz, nämlich FeIII , welche nach der Laugung als FeII vorliegt, durch die Bakterien wieder zu FeIII oxidiert wird. Hierzu nutzbare Bakterien sind *Thiobacillus ferrooxidans* und *Ferrobacillus ferrooxidans*.

Laugung von Zwischenprodukten bei der Raffination. Bekannt geworden sind ammoniakalische und schwefelsaure Laugungen von oxidischen Filterstäuben und eisenhaltigen oxidischen Materialien. In der Entwicklung stehen wiederum mikrobielle Akkumulationsverfahren durch Absorption von Metallen an der Zelloberfläche oder durch Aufnahme direkt in die Zellen der Mikroorganismen. Die Metalle können dann durch Verbrennen der Bakterien oder durch Stripprozesse mit anschließender Reduktionselektrolyse gewonnen werden.

4.2 Ionentausch

Zur selektiven Gewinnung von Metallen aus Lösungen oder zur Reinigung metallhaltiger Abwässer und von Elektrolytlösungen erweisen sich Ionentauscher und Mikroorganismen als geeignet.

Als Ionentauscher stehen bevorzugt organische Feststoffe und Flüssigkeiten in Verwendung; beim Ionenaustausch werden im allgemeinen Wasserstoffionen der organischen Substanz durch Metallionen ersetzt, die nach einer Abtrennung des metallbeladenen organischen Mittels gestrippt und über Reduktionselektrolysen als Metalle gewonnen werden.

Die Selektivität ist abhängig von der gewählten organischen Ionentauschersubstanz, vom pH-Wert der Lösung, von der Temperatur und von der Aktivität der Metallionen in der Lösung. Bekannt gewordene Prozesse sind: Solventextraktion, Flüssigmembranpermeation, Verwendung von Ionentauscherharzen.

Spezielle Mikroorganismen können selektiv Metalle absorbieren oder einlagern bzw. zu einer Chelatbildung dieser Metalle beitragen. Die Metallgewinnung erfolgt im allgemeinen über Strip-Prozesse und Electrowinning.

Entwicklungen gehen dahin:

- möglichst selektiv wirkende organische Ionentauscher mit gleichzeitig hoher Metallabsorption zu entwickeln.
- Entwicklung von Ionentauschern auch für extreme pH-Bereiche
- Isolierung und Züchtung von Mikroorganismen mit extremen Toleranzen auch gegenüber an sich toxischen Schwermetallen bei gleichzeitig hohem Wirkungsgrad bei der Metallaufnahme.

Zum Kapitel Hydrometallurgie sei es mir gestattet, zwei Beispiele zu bringen:

a) Direktelektrolyse von sulfidischen Erzkonzentraten

Dieser sogenannte Electroslurry-Prozeß ist ein hydrometallurgisches Verfahren zur Gewinnung von Kupfer aus Kupferkies- und Kupferglanz-Konzentraten, aus Filterstäuben und sonstigen Kupferniederschlägen. Die Einzigartigkeit des Prozesses liegt in der Verwendung einer Elektrolysezelle, in der das Kupfer aus einer Konzentratsuspension gleichzeitig gelaugt und kathodisch abgeschieden wird.

Die Suspension besteht aus einer Verteilung von Erzkonzentraten oder sonstigen kupferhaltigen Substanzen in einer schwefelsauren Lösung von Eisen- und Kupfersulfat. FeIII-Ionen, die an der Anode laufend durch Oxidation von FeII erzeugt werden, laugen die sulfidischen Kupfererze und bringen das Kupfer als zweiwertiges Kupferion in Lösung. Auf der Kathode wird dieses Kupfer nach dem Verfahren der Gewinnungselektrolyse abgeschieden.

Der bei diesem Prozeß entstehende elementare Schwefel wird aus den Rückständen nach deren Abfiltration mittels Dampf verflüchtigt und findet sich im Filtrat einer weiteren Filtration wieder. Das Ausbringen an Kupfer beträgt nach der einschlägigen Literatur bei Kupferkies 98 %, bei Kupferglanz 99 %, bei Flugstäuben 96 % und bei Zementkupfer 97 %. Die in den Konzentraten vorhandenen Edelmetalle werden nicht in Lösung gebracht, sie verbleiben in den Rückständen und gelangen nach der zweiten Filtration zur Aufarbeitung in eine Edelmetallanlage.

b) Als letztes Beispiel möchte ich die Drucklaugung von komplexen Kupfererzen erwähnen, und zwar von Erzen, wie sie in den Schwazer Bergbauen anfallen.

Im Konzentrat weisen diese Erze etwa folgende Zusammensetzung auf:

Cu 37,5 %, Ag 0,51 %, Hg 1,56 %, Zn 5,4 %,
Fe 2,3 %, Mn 0,50 %, Sb 18,60 %, As 6,2 %,
S 25,8 %, Rest Dolomit.

Für die Drucklaugung dieser Erze wurde das sogenannte Complex-Verfahren in modifizierter Form getestet. Dabei wird das Fahlerzkonzentrat in einer schwach schwefelsauren Eisensulfatlösung suspendiert und im Mehrkammerautoklaven einer Drucklaugung bei 220 °C mit einem Sauerstoffüberdruck von 30 atü und einer Verweilzeit von ca. einer Stunde unterzogen. Als Endprodukte werden eine schwefelsaure Lösung von Kupfer und Zink und eine feste Substanz, welche Antimon, Arsen, Silber und Quecksilber enthält, gewonnen.

Aus der erwähnten Lösung wird nach der Neutralisation Kupfer durch Zementation mit Eisen niedergeschlagen. Die Zinkgewinnung erfolgt über Solventextraktion, wobei eine hochreine Zinksulfatlösung erhalten wird, aus der über Reduktionselektrolyse Reinstzink gewinnbar ist. Die feste Substanz, welche als gewinnbare und wertvolle Metalle Silber und Quecksilber enthält, wird bei 80 - 90 °C

mit einer hochkonzentrierten Kochsalzlösung gelaugt. Bei Einhaltung eines bestimmten Oxidationspotentials, welches durch Einleiten von Chlor eingestellt wird, gehen Silber und Quecksilber als Chlorkomplex in Lösung und können nach Abfiltration des Eisenarsenates und Eisenantimonates mittels Zink als Zementat gefällt werden. Quecksilber wird durch Verdampfung und anschließende Kondensation gewonnen.

Vorversuche haben ergeben, daß das Ausbringen bei Kupfer 97,3 %, bei Zink 95,6 % und bei Silber 98,4 % beträgt. Unbefriedigend ist, daß sich nach dem derzeitigen Stand der Entwicklung Antimon nicht rückgewinnen läßt, sondern als schwerlösliches Eisenantimonat zusammen mit Eisenarsenat deponiert werden muß.

5. Zusammenfassung

Die hier dargelegten Verfahren sind zum Teil bereits Stand der Technik, zum Teil werden sie gerade im Pilotmaßstab getestet. Einige Verfahren sind erst in der Entwicklung begriffen, zeigen aber bereits Ergebnisse, die einen großtechnischen Einsatz erwarten lassen.

Die Steigerung des Stoffausbringens wird in einigen Fällen dadurch bewirkt, daß nunmehr auch komplex zusammengesetzte Rohstoffe in ihren Einzelkomponenten für die Wirtschaft verfügbar gemacht werden können. In anderen Fällen wird der Durchsatz bestehender Aggregate erhöht und der Metallstock herabgesetzt; einige Verfahren zielen darauf hin, Metalle aus Abfällen zu gewinnen, die üblicherweise auf Deponie gegeben werden müßten. Gerade in diesem letzten Fall sei auf den Aspekt des Umweltschutzes verwiesen: Die meisten Schwermetalle sind in höheren Konzentrationen als toxisch einzustufen; eine Rückgewinnung aus an und für sich für Deponien vorgesehenen Materialien kann zu einer merkbaren Entlastung insbesondere von Sonderdeponien führen.