

# Zur Metallurgie der römischen Goldgewinnung in Três Minas und Campo de Jales in Nordportugal

VON HANS-GERT BACHMANN

Der römische Bergbau- und Hüttenbezirk von Três Minas und Campo de Jales (Trás-os-Montes) in Nordportugal zählt zu den eindrucksvollsten Edelmetallgewinnungs-Revieren der Iberischen Halbinsel. Der aktuelle Stand der archäologischen Forschung, einschließlich einer kritischen und gründlichen Würdigung aller früheren Untersuchungen und Publikationen, ist in der Veröffentlichung von Wahl<sup>1</sup> wiedergegeben.

Den archäologischen Arbeiten, die sich mit Três Minas und Campo de Jales befassen, steht – außer unveröffentlichten Explorationsberichten und Bewertungsgutachten – nur eine einzige lagerstättenkundlich-technische Studie von Harrison<sup>2</sup> aus dem Anfang der dreißiger Jahre gegenüber. In ihr wird auch eine mögliche Vorgehensweise beim Aufbereiten, Verarbeiten und Verhütten der Edelmetallerze dieser Lagerstätte(n) zur Römerzeit aufgezeigt.

Beim gegenwärtigen Kenntnisstand lassen sich die technisch-metallurgischen Aspekte des interessanten Komplexes wie folgt resümieren:

## 1. Polymetallische Vererzung

Im Campo de Jales-Minenrevier durchsetzen mineralisierte Quarzlinzen und -gänge steil einfallende, archaische Talkschiefer und Granite. Die Erzadern und -gänge führen – laut Harrison (l.c.) – neben hartem blaugrauen Quarz ca. 40 Prozent Sulfide; überwiegend Pyrit, Arsenkies und Bleiglanz. Für ein typisches Gangerz werden folgende Gehalte (in Prozent) genannt:

Eisen	9,30	Antimon	1,00
Blei	5,50	Arsen	5,90
Zink	1,00	Schwefel	5,65
Kupfer	0,15	Kieselsäure	71,50

(Edelmetallgehalte: Silber 230 g/t und Gold 15 g/t)

An den von Harrison sondierten Stellen des römischen Pingenzugs wurden Vererzungen mit Gehalten von 25 bis 75 g/t Gold und 375 bis 4500 g/t Silber angetroffen. Repräsentative Gehaltswerte der römischen Fördererze dürften bei ca. 15 g/t Gold, ca. 200 g/t Silber und ca. 6 Prozent Blei gelegen haben<sup>3</sup>.

1 Jürgen WAHL, Madrider Mitteilungen 29, 1988, 221–244.

2 Frank A. HARRISON, The Mining Magazine 14, 1931, 137–145.

3 Bei der Umrechnung von Gold- und Silberwerten aus der Arbeit von Harrison ist zu beachten, daß der Autor folgende, nicht-metrische Einheiten benutzt:

1 ton = 1 long ton = 2240 pounds = 1016,05 kg

1 oz. = 1 troy ounce = 31,1 g

1 pound = 0,4536 kg

1 dtw. = 1 pennyweight = 1,55517 g

Im Bereich der antiken Abbauzone von Campo de Jales geht seit mehr als 50 Jahren wieder Goldbergbau um. Aus der heutigen Untertagemine »Minas de Jales« konnten dank der Bemühungen von J. Wahl Proben typischer Fördererze, Freigoldmuster, sowie ein Flotations(?)-Konzentrat beschafft und für Untersuchungen zur Verfügung gestellt werden. Die Minerale der Handstücke entsprechen exakt den von Harrison (l.c) gemachten Angaben über die Mineralisation der »Gralheira«-Gänge und der »Minas dos Mouros« (identisch mit der antiken »Campo«-Mine). Die polymetallische Mineralführung des derzeit abgebauten Erzes ist durch silberhaltigen Bleiglanz, Pyrit, Arsenkies, wenig Zinkblende, geringe Anteile an Kupferkies, Antimonglanz etc. mit Quarz als Hauptgangmineral charakterisiert. Die Goldführung erstreckt sich sowohl auf Freigold (im Quarzgangmittel), wie auch auf »refraktäre« Goldgehalte<sup>4</sup> in den begleitenden Sulfiden, vermutlich vorwiegend im Pyrit und Arsenkies. Über die Edelmetallgehalte der Fördererze und Flotationskonzentrate fehlen Angaben. Mit Vorbehalt können die Gesamtgoldgehalte (Freigold und Refraktäranteil) auf  $\pm 10$  g/t geschätzt werden. Im Konzentrat ist eine Anreicherung auf evtl.  $\pm 50$  g/t nicht unwahrscheinlich<sup>5</sup>.

Die ausgedehnten Três Minas-Tagebaue sind in der jüngeren Vergangenheit gelegentlich beprobt worden, um zu erkunden, ob sich ein neuerlicher Abbau lohnt. Die Angaben der diversen Bearbeiter<sup>6</sup> sind widersprüchlich und oft mehr von Zweckoptimismus als von Objektivität geleitet. Trotz noch fehlenden Untersuchungsmaterials aus diesen Tagebauen kann wegen der weitgehenden Entsprechung der Geologie und Lagerstättensituation mit »Campo de Jales« eine ähnliche oder sogar analoge Mineralführung mit vergleichbaren Edel- und Buntmetallgehalten angenommen werden. Die Überprüfung dieser These wird ein Hauptanliegen zukünftiger Untersuchungen sein.

## 2. Geschätzte römerzeitliche Goldproduktion

Allein aus den Tagebauen von Três Minas sind nach Schätzungen von Harrison (l.c) ca. 20 Millionen Tonnen Gestein und Erz gefördert worden. Bei einem hypothetischen Verhältnis von Abraum zu Erz von 10:1 ergibt sich eine mögliche Fördermenge von 2 Mio t. Angenommen, das Erz hatte einen mittleren Goldgehalt von 10 g/t, könnten allein die Minen von Três Minas ca. 20000 kg Rohgold geliefert haben. Bezogen auf eine Betriebsdauer von 150 bis max. 200 Jahren ergibt dies eine Produktion von ca. 130 bis 150 kg pro Jahr. Diese Überlegungen basieren zwar auf hypothetischen Annahmen, sie geben jedoch

4 Als »refraktär« wird das Gold bezeichnet, das mikroskopisch oder submikroskopisch mit anderen Mineralen verwachsen oder als Goldatome in die Kristallgitter von Wirtsmaterialen eingebaut ist. Refraktäres Gold entzieht sich der Direktgewinnung durch gängige Verfahren, wie Schlämmen, Auswaschen, Laugen etc. Durch eine auf das jeweilige Erz abgestimmte Vorbehandlung (z.B. Röstung) wird das »gefangene« Refraktärgold freigesetzt und einer Extraktion zugänglich gemacht.

5 Eine Erzkonzentration der Jales-Mine (aus der Flotation stammend?) besteht aus (in Gew. Prozent):

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28,1	CaO	0,2	SiO <sub>2</sub>	4,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,0	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34,6 (!)	K <sub>2</sub> O	0,2
SO <sub>3</sub>	21,2	MgO	2,5	TiO <sub>2</sub>	0,3

Die RF-Analyse läßt vermuten, daß das Konzentrat aus Arsenkies  $\pm$  Pyrit besteht. Die Edelmetallgehalte wurden nicht bestimmt.

6 Die Diskussion der nicht publizierten Gutachten und Berichte, von J. WAHL gesammelt und zugänglich gemacht, über das Três Minas/Campo de Jales-Revier soll einer abschließenden Veröffentlichung vorbehalten bleiben; diese Unterlagen sind für die hier vorgetragenen Erörterungen irrelevant.

bei aller Fehlerhaftigkeit eine Vorstellung über die Größenordnung der Edelmetallausbeute aus diesem Vorkommen<sup>7</sup>

Schätzungen über die in »Campo de Jales« in der Vergangenheit geförderten Goldmengen lassen sich erst machen, wenn man – wie bei Três Minas – Vorstellungen über die abgebauten Erz- und Gesteinsmengen hat. Für die modernen »Minas des Jales« gibt Almeida<sup>8</sup> folgende Produktionsmengen an:

	1965	1966	1967
Gold (in kg)	670,5	584,5	600,5
Silber (in kg)	1946	1382,5	1425,5
Blei (in t)	202	230	236

### 3. Aufbereitung von Erzen und Verhüttungsprodukten

Im Umkreis der Minen sind in Dörfern, bei Gehöften und auf freiem Feld zahlreiche Amboß-Unterlegsteine von Pochwerken, sowie runde Läufer- und Untersteine von Gesteinsmühlen gefunden worden, die häufig als Spolien beim Haus-, Mauer- und Torbau Verwendung fanden. Es liegt nahe, diese Relikte mit der Aufbereitung des Erzes etc. in Verbindung zu bringen. Das Thema Aufbereitung wird unter Bezug auf die genannten Funde von Wahl (l.c.) ausführlich behandelt. Sowohl Harrison (l.c.), wie auch Wahl berichten ferner über Schlackengrus am Fundplatz »Forno dos Mouros«, ca. 5 km südwestlich der Tagebaue von Três Minas. Dieses Material (vgl. die folgenden Kapitel) ist offensichtlich ebenso mechanisch aufbereitet worden wie das Erz. Zerstoßene und aufgemahlene Schlacken sind auf frühen Verhüttungsplätzen häufig zu beobachten. Man bemühte sich, die in den Schlacken eingeschlossenen Metalltropfen oder sonstigen Wertstoffe (zum Beispiel sulfidische Kupfer- und/oder Blei-Steinphasen) von der zu verwerfenden, wertlosen Schlacken-Silikatmatrix zu trennen.

Es wurden zunächst die Fördererze gepocht und evtl. auch anschließend gemahlen. Diese mechanische Aufbereitung – vielleicht bis hinunter zu Korngrößen von 1 mm – kann sowohl die Voraussetzung für eine gravitative Trennung der Feingoldanteile im Erz vom spezifisch leichten, tauben Begleitgestein, wie auch die Vorstufe für eine pyrometallurgische Verarbeitung (Rösten, Schmelzen) gewesen sein. Auszuschließen ist ebenfalls nicht, daß auch Schlacken gepocht und evtl. gemahlen wurden. Harrison (l.c.) weist besonders darauf hin, daß sich Mühl- und Pochsteine oft dort »in situ« finden, wo auch Schlacken liegen.

### 4. Harrisons Annahme zur Verhüttung

Unter Bezug auf die erwähnten Schlacken, die Erzführung und die Zeugen der Aufbereitung stellt Harrison (l.c.) die Frage nach den in der Antike praktizierten Verhüttungsprozessen. Er folgert, daß das Erz in seiner beschriebenen polymetallischen, komplexen Zusammensetzung gepocht, geröstet und die Röst- und evtl. Schmelzprodukte erneut

7 Bei einem Gold:Silber-Verhältnis von 1:10 bis 1:13 im Primärerz ist neben der Goldproduktion auch eine erhebliche Silbererzeugung zu berücksichtigen.

8 Fernando DE ALMEIDA, Minas de Ouro na »Gallaecia« Portuguesa. Catedra de San Isidoro. Instituto Leones de estudios Romano-Visigoticos, »Legio VII Gemina« (Leon 1970) 297.

zerkleinert wurden, um Metallrestgehalte aus diesen Rückständen zu bergen. Der Autor weist darauf hin, daß die Bleiglanzgehalte des Primärerzes (anteilmäßig ca. 5 bis 10 Prozent) ausgereicht haben könnten, um den für einen »lithargine process« erforderlichen Bleizuschlag geliefert zu haben. Was Harrison damit meint, wird im folgenden Kapitel behandelt werden. Jedenfalls hat Harrison in den von ihm untersuchten Schlacken häufig kugelige Einschlüsse von metallischem Blei gefunden. Er sieht hierin eine Bestätigung für seine These, daß Blei bei dem in der Antike praktizierten Verfahren eine Rolle gespielt habe. Der antike Prozeß sei aber – so seine Schlußfolgerung – nicht sonderlich effizient gewesen, da die Schlacken noch erhebliche Gold- und Silbergehalte aufwiesen.

Zwei von J. Wahl am Fundplatz »Forno dos Mouros« aufgesammelte Schlackenproben wurden mittels der Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA) untersucht und folgende Zusammensetzungen ermittelt (Gehalte in Gew. Prozent):

	Schlackengrus	stückige Schlacke
MgO	0,4	0,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,8	5,8
SiO <sub>2</sub>	48,5	39,5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,4	0,3
SO <sub>3</sub>	2,3	4,0
K <sub>2</sub> O	2,2	2,0
CaO	2,9	3,7
TiO <sub>2</sub>	0,4	0,3
MnO	0,2	0,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28,9	37,9
CuO	0,3	0,3
ZnO	1,6	2,5
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1	0,1
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1	0,1
PbO	2,6	2,5

Obwohl noch keine Phasen-Bestimmungen an diesen Schlackenmustern vorliegen, lassen bereits die chemischen Zusammensetzungen auf typische Eisensilikat-Schlacken mit Sulfid- und Bleigehalten schließen, wobei das Blei metallisch und/oder als sulfidische Steinphase vorliegen kann. Die Edelmetallgehalte der mit RFA analysierten Schlackenproben wurden noch nicht ermittelt.

Die Analysen der Schlacken widersprechen der Behauptung von Harrison, daß die römische Golderzverhüttung ineffizient gewesen sei. Bleigehalte um 3 Prozent sind in Schlacken aus diesen Prozessen keineswegs ungewöhnlich hoch. Möglicherweise hat Harrison Schlacken mit höheren Bleigehalten gefunden; er teilt allerdings keine Analysen mit. Weil auch die in den Schlacken eingeschlossenen Bleitropfen edelmetallhaltiges Reichblei sind, hat sich bei genügend hohen Bleigehalten die Weiterverarbeitung gelohnt (vgl. folgendes Kapitel). Es wird zu untersuchen sein, ob die analysierten Schlacken verworfener Abfall oder Zwischenprodukt für geplante Weiterverarbeitung waren.

## 5. Goldgewinnungstechniken in Três Minas/Campo de Jales und Plinius-Texte

Eine Reihe von Metallen (Blei, Kupfer, Zink) sowie Sulfide und Arsenide des Eisens, Kupfers, Bleis etc. haben im schmelzflüssigen Zustand die Eigenschaft, Edelmetalle (Gold, Silber sowie die Metalle der Platingruppe) an sich zu binden, das heißt zu »sammeln«, wobei graduelle Unterschiede für die Aufnahmefähigkeit bestehen. Der wichtigste Sammler – vor allem für Gold und Silber – ist flüssiges Blei. »Verbleiendes Schmelzen« war und ist ein wirtschaftliches pyrometallurgisches Verfahren vor allem zur Silbergewinnung. Für die Extraktion auch der anderen Edelmetalle spielt dieser Prozeß jedoch heute allenfalls beim Edelmetall-Recycling eine Rolle. Durch verbleiendes Schmelzen im Schachtofen werden so zum Beispiel Gold und Silber aus Elektronikschrott, Filmaschen, Juwelierabfälle usw. zurückgewonnen. Für das Edelmetallausbringen aus Primärerzen sind seit der Jahrhundertwende (Einführung der Cyanidlaugung) andere Verfahren gebräuchlich. Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts sind jedoch die aus einigen, heute längst erschöpften Lagerstätten stammenden polymetallischen Bunt- und Edelmetallerze noch mit Blei verhüttet worden. Die Verfahrensstammbäume, wie sie zum Beispiel für Gold-Silber-Erze aus Schemnitz, Nagybanya und Zalatha in Ungarn, aus Freiberg in Sachsen und aus Andreasberg im Oberharz von Schnabel<sup>9</sup> aufgeführt werden, lassen sich im Prinzip auch auf die Erze des Três Minas/Campo de Jales-Revier anwenden.

Da Detailuntersuchungen der hoffentlich im Untersuchungsgebiet noch auffindbaren Zwischen- und Endprodukte bis dato ausstehen, ist Abb. 1 nur ein hypothetisches Schema. Es läßt sich jedoch überraschend gut mit Textstellen aus den Goldkapiteln von Plinius »Naturgeschichte« korrelieren.

Plinius behauptet, ohne dies näher auszuführen, daß Gold zur Reinigung mit Blei geschmolzen wurde<sup>10</sup>. Diese Stelle wird zwar in der Regel auf den noch zu beschreibenden Prozeß der Kupellation, das heißt der Trennung des Goldes vom Reichblei, bezogen. Sie mit dem »verbleienden Schmelzen« zu verbinden, ist kein Widerspruch; im Gegenteil: Dem Treibprozeß (Kupellation) geht in jedem Fall das Eintränken des zu »reinigenden Goldes« in flüssiges Blei oder ein Schmelzen mit Blei im Herd oder Schachtofen voraus. Die an anderer Stelle<sup>11</sup> gegebene Beschreibung des Aufbereitens, Röstens und Schmelzens von Golderzen kann als sachkundiger Hinweis auf die Verhüttung mit Blei als Sammler

9 Carl SCHNABEL, Handbuch der Metallhüttenkunde. 1. Bd. (Berlin 1894) 788f. und 478–493

10 PLINIUS (nat. XXXIII,60) »...ut purgitur, cum plumbo coqui.« Übersetzung: ...zur Reinigung wird (Gold) mit Blei gekocht (d. h. geschmolzen).

11 PLINIUS (nat. XXXIII,69) »...quod effossum est, tunditur, lavatur, uritur, molitur in farinam; farinam a pila scudem vocant; argentum, quod exit a fornace, sudorem. quae e camino iactatur spurcitia in omni metallo scoria appellatur. haec in auro tunditur iterumque coquitur. catini fiunt ex tasconio; hoc est terra alba similis argillae, neque enim alia flatum ignemque et ardentem materiam tolerat.« Übersetzung (sinngemäß; nicht streng philologisch wörtlich): ... Das Fördererz wird gepocht, geschlämmt, geröstet und zu Pulver gemahlen. Das mehlfeine Produkt der Mahlwerke wird »scudes« genannt, das »Silbermetall« (flüssiges, edelmetallhaltiges Reichblei?), welches aus dem Schmelzofen rinnt, bezeichnet man als »Schweiß« und den – übrigens bei der Verhüttung aller Metalle – aus den Öfen austretenden Abfall »scoria« (Schlacke). Im Fall der Golderzverarbeitung wird die Schlacke aufgemahlen und ein weiteres Mal geschmolzen. Die Tiegel werden aus »tasconium«, einer tonähnlichen, weißen Erde gefertigt. Solche Tiegel widerstehen sowohl der heißen Gebläseluft, wie dem Feuer und dem glutflüssigen Schmelzgut.« PLINIUS faßt in diesem Abschnitt offensichtlich zwei Prozessschritte zusammen: Reduzierendes, verbleiendes Schmelzen (mit nachfolgender Schlackenaufbereitung) und oxidierendes Treiben (Kupellieren) des Reichbleis in Spezialtieglern, die dem aggressiven, besonders auf kieselsäurehaltige Tone zerstörend wirkenden, flüssigen Blei und der daraus gebildeten Glätte standhalten und auch einen Teil dieser Bleiglätte

gewertet werden. Nur mit diesem Prozeß konnten in der Antike aus refraktären Golderzen das (die) Edelmetall(e) extrahiert werden. Harrison gebührt das Verdienst, erstmalig für eine römische Goldlagerstätte ein pyrometallisches Verfahren, das er »lithargine process« nennt, zur Diskussion gestellt zu haben. »Litharge« ist die englische Bezeichnung für Bleiglätte (= Bleioxid). Beim verbleienden Schmelzen herrschen im Ofen reduzierende Verhältnisse; es kann deshalb ebensogut Bleiglätte, wie metallisches Blei oder Bleiglanz (= Bleisulfid) eingesetzt werden. Bei allen Beschickungen entsteht im Verlauf der Verhüttung flüssiges Bleimetall. Den bislang schwer oder unverständlichen Plinius-Text auf dieses Verfahren zu beziehen, ist deshalb durchaus folgerichtig.

Die Erze von Três Minas/Campo de Jales enthalten, wie gezeigt wurde, hohe Anteile an Arsenkies und Pyrit. Es sind vor allem diese Minerale, in denen das refraktäre Gold »gefangen« ist. Sie sind deshalb vor dem Schmelzen mit Blei durch Rösten weitgehend zu zerstören. Besonders Arsengehalte stören den Prozeß erheblich. Die Schlackenanalysen zeigen, daß Arsen fast völlig entfernt worden ist; Schwefelrestgehalte sind unschädlich; sie können sogar für gewisse Reaktionsabläufe erforderlich sein. Die Schlacken mit ihrem hohen Kieselsäuregehalt machen es ferner wahrscheinlich, daß Quarz (als Gangmineral reichlich vorhanden) den Schmelzchargen zugeschlagen wurde. Die nur mit Kieselsäure mögliche Bildung niedrigschmelzender Schlackensilikate vermochte die hohen Eisengehalte des Primärerzes (Pyrit, Arsenkies) zu entfernen. Wie perfekt dies gelungen ist, beweisen ebenfalls die Schlackenanalysen. Daß die Schlacken unter Umständen noch Tropfen des Werk- oder Reichbleis einschließen konnten, wurde schon erwähnt. Hohe Viskosität (Funktion von Temperatur und chemischer Zusammensetzung) ließen gelegentlich ein vollständiges Absinken aller Bleitropfen verhindern. Wenn – wie Plinius schreibt – Schlacke gepocht, gemahlen und nochmals geschmolzen oder als sog. »Retourschlacke« einer neuen Schmelzcharge zugeschlagen wurde, so beweist dies die Erfahrung und Sorgfalt der römischen Schmelzmeister.

Es bleibt noch die Frage nach der Herkunft des für den Schmelzprozeß unerlässlichen Bleis. Harrison (l.c) behauptet, daß der Bleiglanzgehalt des polymetallischen Erzes (5 bis 10 Prozent) ausreicht, um genügend Sammlermetall zu liefern. Dies mag zutreffen. Interessant sind jedoch in diesem Zusammenhang die Funde von Bleibarren<sup>12</sup>. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, daß – falls erforderlich – auch metallisches Blei beim Schmelzen eingesetzt wurde.

Die wichtigsten Endprodukte des verbleienden Schmelzens sind Werk- oder Reichblei und Schlacke. (Andere Produkte, wie Stein- oder Mattephasen und Speise, sollen hier nur erwähnt, aber nicht weiter beschrieben und behandelt werden.) Aus dem Werkblei sind in einem nachgeschalteten Verfahrensschritt die Edelmetalle zu isolieren. Beim sog. Treib- oder Kupellationsprozeß wird das unedle Blei zu Bleiglätte oxidiert. Am Ende des Treibens bleiben die sauerstoff-resistenten Edelmetalle Gold und Silber in dem Verhältnis, in dem sie im Ausgangserz vorlagen, als Legierung zurück.

Da das Imperium Romanum einen großen Bedarf an Feingold (»aurum obricium«) unter anderem für die Münzprägung hatte, verstand man es, auch die letzte Stufe der Goldgewin-

aufsaugen sollen. Statt »tasconium«, vermutlich ein kalkhaltiger Mergel, wurde auch Knochenasche als Tiegelaukleidung verwendet.

<sup>12</sup> In einem von J. WAHL gefundenen Bleibarren wurde der Silbergehalt bestimmt. Er beträgt 90 g/t; d. h. er besteht vermutlich aus entsilbertem Blei. Die zur Römerzeit erreichbaren Grenzwerte für die Entsilberung von Edelmetallerzen lagen bei ca. 100 g/t. Über einen weiteren, im Três Minas-Revier gefundenen »Bleiklumpen« berichtet Mário Cardozo (Mário CARDOZO: A propósito da lavra do ouro na Província de Trás-os-Montes durante a época romana. Revista de Guimaraes 64, 1954, 119).

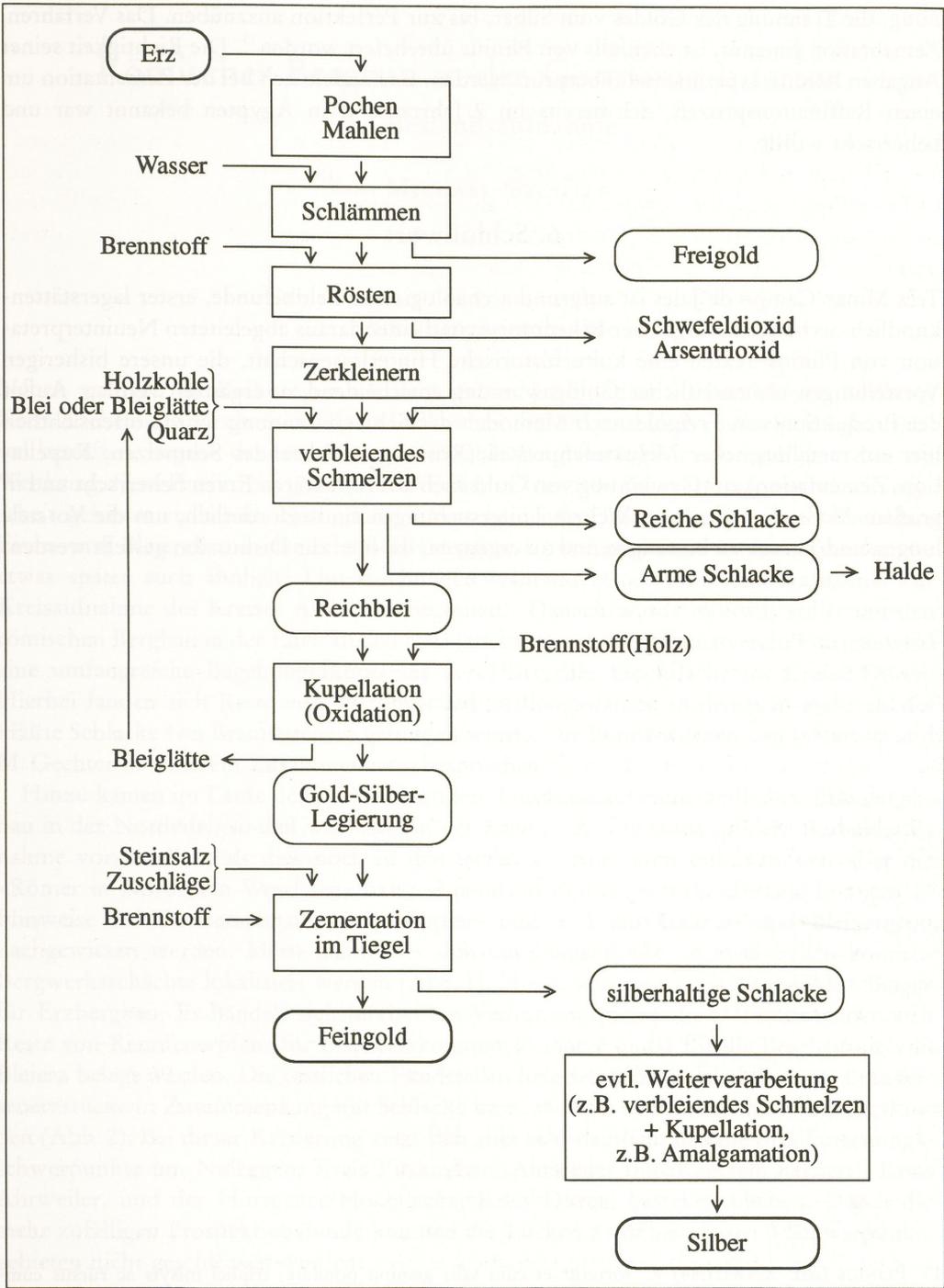


Abb.1 Die römische Verarbeitung der Gold-Silber-Erze von Três Minas und Campos de Jales. Vorschlag für eine mögliche Verfahrensabfolge.

nung, die Trennung des Goldes vom Silber, bis zur Perfektion auszuüben. Das Verfahren, Zementation genannt, ist ebenfalls von Plinius überliefert worden<sup>13</sup>. Die Richtigkeit seiner Angaben konnte experimentell überprüft werden. Es handelt sich bei der Zementation um einen Raffinationsprozeß, der bereits im 2. Jahrtausend in Ägypten bekannt war und beherrscht wurde.

## 6. Schlußwort

Três Minas/Campo de Jales ist aufgrund archäologischer Feldbefunde, erster lagerstättenkundlich-archäometallurgischer Erkenntnisse und einer daraus abgeleiteten Neuinterpretation von Plinius-Texten eine kulturhistorische Hinterlassenschaft, die unsere bisherigen Vorstellungen römerzeitlicher Goldgewinnung entscheidend zu ergänzen vermag. Außer der Produktion von Freigold nach Methoden der Schwereretrennung wurde offensichtlich hier ein metallurgischer Mehrstufenprozeß (Röstung, verbleiendes Schmelzen, Kupellation, Zementation) zur Gewinnung von Gold auch aus refraktären Erzen beherrscht und in großem Maßstab praktiziert. Weitere Untersuchungen sind erforderlich, um die Vorstellungen und Thesen zu bestätigen und zu ergänzen, die hier zur Diskussion gestellt werden.

13 PLINIUS (nat. XXXIII,84) »...torretur et cum salis gemino pondere, triplici misyis ac rursus cum duabus salis portionibus et una lapidis, quem schiston vocant. ita virus trahit rebus una crematis in fictili vase, ipsum purum et incorruptum.« Übersetzung, wie sie von der »Projektgruppe Plinius« in der im Attempto Verlag Tübingen 1993 erschienenen Publikation »Gold und Vergoldung in der Naturalis Historia des Älteren Plinius und anderen antiken Texten mit Exkursen zu verschiedenen Einzelfragen« vorgeschlagen wird: ...Gold wird mit dem doppelten Gewicht an Salz und dem dreifachen an »misy« (verwitterter Kupferkies?) geröstet, dann noch einmal mit zwei Teilen Salz und einem von dem Stein, den sie »schistos« (Alaunschiefer?) nennen. So zieht es das Gift heraus, wenn diese Dinge mit ihm zusammen in einem irdenen Gefäß verbrannt sind, wobei es selbst rein und unverdorben zurückgeblieben ist.