

# Zur frühen Blei- und Silbergewinnung in Europa

VON HANS-GERT BACHMANN

## 1. Zusammenfassung

Außer aus seltenen Silberreicherzen wurde Silber früher vorwiegend aus Blei- und Kupfermineralen von oft polymetallischer Zusammensetzung (u. a. aus Fahlerzen und Jarositen) gewonnen. Blei als wichtigster Sammler für Edelmetalle wurde hierbei den Erzen beim »verbleienden Schmelzen« stets dann zugesetzt, wenn der Bleigehalt der Primärerze hierfür nicht ausreichte.

Unter den Überresten auf archäologisch bekannten Silberproduktionsstätten überwiegen in der Regel Schlacken. Antike Blei-Silber-Schlacken zeichnen sich häufig durch hohe Bleigehalte aus. Die Beurteilung und Prozeßrekonstruktion erfordern bei der Schlackencharakterisierung die getrennte Bestimmung von Blei als Silikat und als Metall. Die Effizienz des praktizierten Verfahrens hing entscheidend davon ab, ob durch geeignete Chargenzusammensetzung und Prozeßführung die Bleisilikatbildung unterbunden oder rückgängig gemacht werden konnte.

An das verbleiende, reduzierende Schmelzen schloß sich der Treibprozeß an. Dabei wurde das silberhaltige Werkblei zu Bleiglätte oxidiert, die abgossen oder auf andere Weise entfernt wurde. Edelmetalle verblieben als Rückstand. Obwohl Funde von Bleiglätte recht häufig sind, mangelt es an dokumentierten Überresten von Treibherden. Auch bei diesen Installationen sind wegen der Reaktion von Blei und Bleioxiden mit kieselsäurehaltigem Ofenfutter bleiresistente Materialien (Knochenasche, Kalkmergel, Pottasche) erforderlich.

## 2. Erze

Die Archäometallurgie der Metalle Blei und Silber verlangt – zumindest in Europa – eine gemeinsame Betrachtung dieser Elemente. Zum einen ist dies bedingt durch das oft gemeinsame Auftreten der Metalle in ihren Lagerstätten, zum anderen durch die Fähigkeit des flüssigen Bleis als Sammler für Silber (und andere Edelmetalle) während der metallurgischen Metallgewinnungs-Prozesse zu dienen.

Die Zahl der Silberminerale ist groß, weil die Neigung dieses Elements zur Verbindungsbildung mit Schwefel, Antimon, Arsen, Tellur, Selen und Halogeniden ausgeprägt ist. Über sechzig natürliche Silber-Verbindungen sind bekannt, von denen jedoch nur einige technisch-wirtschaftliche Bedeutung hatten oder haben. Silberhaltige Bleierze – vor allem Bleiglanz, Cerussit (= Bleikarbonat) und Anglesit (= Bleisulfat) sind und waren die Hauptminerale für die Silbergewinnung. Außer den im Mittelalter für viele europäische Lagerstätten bedeutenden Silberreicherzen (Rotgültig-Erze usw.) und den genannten, fast stets silberhaltigen Bleimineralen dürfen zwei weitere Erztypen nicht außer acht gelassen

werden, weil sie in der Antike eine wichtige, vielleicht sogar entscheidende Rolle gespielt haben.

Zum einen sind dies die komplexen, polymetallischen Erze, in denen Buntmetalle und Silber mit Nicht- und Halbmetallen vergesellschaftet sind. Diese Erztypen sind charakteristisch für die Oxidations- und Zementationszonen von Lagerstätten. Diese Zonen finden sich vornehmlich in den Teufen, die unter den Beschränkungen des frühen Bergbaus (Bewetterung, Wasserhaltung und Schachtausbau) noch erschlossen werden konnten. Unter variierenden Redoxbedingungen, schwankendem Grundwasserspiegel sowie aszendenten und deszendenten Lösungen mit unterschiedlichen Temperaturgradienten bildeten sich Erze und Erzgemenge, die trotz meist hoher Gehalte an Wertmetallen die Hüttenleute der Vor- und Frühzeit vor schwierige Aufgaben stellten. Erst die systematischen Arbeiten während der letzten Jahre auf diesem Gebiet der Archäometrie haben die Bedeutung polymetallischer Komplexerz-Vorkommen in den Blickpunkt gerückt. Schon Anfang der fünfziger Jahre haben H. Otto und W. Witter<sup>1</sup> die Bedeutung arsen- und antimonhaltiger Fahlerze für die frühe Metallurgie Mitteleuropas herausgestellt. Die Autoren wollten diese Mineralklasse zwar vor allem für die Kupfererzeugung in Betracht gezogen wissen, aber auch hier wurde bereits die polymetallische Vielfalt hervorgehoben, welche die Darstellung auch anderer Metalle aus diesen Ausgangsstoffen zuließ.

Forschungen im ägäischen Raum (Laurion<sup>2</sup>, Siphnos<sup>3</sup>, Thasos<sup>4</sup>) sowie in Südspanien (Rio Tinto<sup>5</sup>) haben nicht nur die Fahlerze, sondern auch die unter der Sammelbezeichnung »Jarosite« eingeführte Mineralgruppe als wichtige Rohstoffe für die frühe Silbergewinnung herausgestellt. Während unter »Fahlerzen« Minerale zusammengefaßt werden, die mit Kupfer als Leitelement Reihen von S-, As- und Sb-Verbindungen umfassen, die zusätzlich unterschiedliche Anteile von Fe, V, Zn, Ag, Hg, Bi und Te enthalten können, sind »Jarosite« dagegen Eisenhydroxysulfate mit Na, K, NH<sub>4</sub>, Ag und Pb als Zusatzkationen. Fahlerze – meist in Gesellschaft von Sulfiden und Sulfosalzen – sind eher in den Zementationszonen von Lagerstätten zu finden, während die Jarosite im Übergangsbereich vom »Eisernen Hut« zur Oxidations-/Zementationszone vorkommen. Auf die Bedeutung der Jarosite als wichtigstem Silbererz des südspanischen Rio Tinto-Reviers von den phönizischen Anfängen bis in die Zeit des Imperium Romanum hat erstmalig D. Williams<sup>6</sup> hingewiesen. Von L. U. Salkield<sup>7</sup> wurden diese Angaben ergänzt. Alle diese Verbindungen haben in ihren Kristallgittern Raum für Austausch- und Vertretungselemente. Wo sich Sulfate der Jarositgruppe finden, sind auch ähnlich gebaute und zusammengesetzte Arsenate und Antimonate häufig. Wie üblich, werden auch diese Erze in der Regel von

1 H. OTTO, W. WITTER, Handbuch der ältesten vorgeschichtlichen Metallurgie in Mitteleuropa (Leipzig 1952).

2 C. E. CONOPHAGOS, Le Laurium Antique et la Technique Grecque de la Production de l'Argent (Athen 1980).

3 E. PERNICKA, Chr. LUTZ, H.-G. BACHMANN, G. A. WAGNER, Chr. ELITZSCH, E. KLEIN, Alte Blei-Silber-Verhüttung auf Sifnos. In: Silber, Blei und Gold auf Sifnos. Der Anschnitt, Beiheft 3 (Bochum 1985) 185–199.

4 A. HAUPTMANN, E. PERNICKA, G. A. WAGNER, Untersuchungen zur Prozeßtechnik und zum Alter der frühen Blei-Silbergewinnung auf Thasos. In: Antike Edel- und Buntmetallgewinnung auf Thasos. Der Anschnitt, Beiheft 6 (Bochum 1988) 88–112.

5 B. ROTHENBERG, F. GARCÍA PALOMERO, H.-G. BACHMANN, The Rio Tinto Enigma. In: Minera y Metalurgia en las Antiguas Civilizaciones Mediterraneas y Europeas, Tomo I (Madrid 1989) 57–70.

6 D. WILLIAMS, Gossanized Breccia-ores, Jarosites, and Jaspers at Rio Tinto, Spain. Bulletin of the Institute of Mining and Metallurgy 526, 1950, 1–12.

7 L. U. SALKIELD, A technical history of the Rio Tinto mines: Some notes on exploitation from pre-Phoenician times to the 1950s. The Institution of Mining and Metallurgy (London 1987) 5–17.

Ganggesteinen und -mineralen begleitet, z. B. Quarz, Baryt, Eisenoxiden, Calcit, Dolomit, Tongesteinen. Wie immer auch die Fördererze aufbereitet wurden, die Elementvielfalt muß in die für eine Verhüttung vorgesehene Chargenzusammensetzung eingegangen und durch Zuschläge (Flußmittel) evtl. noch ergänzt worden sein.

### 3. Verbleiendes Schmelzen (Abb. 1)

Ob dem eigentlichen Schmelzprozeß ein Rösten der eingesetzten Erze zur vollständigen oder teilweisen Schwefelentfernung vorausging, war nicht ausschlaggebend. Die gesamte, auf die vollständige oder teilweise Reduktion zum Metall abzielende Reaktionsabfolge konnte auch zonenweise in einem Schachtofen als alleinigem »Reaktionsgefäß« ablaufen. Die Arbeit von W. Gowland<sup>8</sup> über die frühen Verfahren der Bleigewinnung wurde vor 90 Jahren veröffentlicht; sie ist noch heute schlüssig und aktuell. Durch die experimentellen Untersuchungen von R. Hetherington<sup>9</sup> konnten die frühen Verhüttungsverfahren für dieses Metall nachvollzogen und verständlich gemacht werden.

In Bleierzen mit gewinnungswürdigen Silbergehalten (von über 0,5 bis ca. 0,05 Prozent) wird beim reduzierenden Schmelzen das Silber im flüssigen Blei gesammelt. Aus den silberhaltigen Bleibarren, dem Endprodukt dieses ersten Prozeßschrittes, kann das Silber durch das im folgenden Kapitel beschriebene Verfahren vom Sammlermetall getrennt werden. Werden jedoch Erze verhüttet, deren Bleigehalt nicht ausreicht, um alles darin enthaltene Silber zu sammeln, muß Blei der Schmelzcharge in ausreichender Menge zugesetzt werden. Dies gilt erst recht für bleifreie Ausgangserze.

Der in der Metallurgie als »verbleiendes Schmelzen« bekannte Prozeß wurde und wird in einer nach Epoche und Region breit gefächerten Vielfalt von Öfen und Herden mit natürlicher und künstlicher Luftzufuhr durchgeführt. Im Werkblei sind alle Edelmetalle gesammelt, die in die Stoffbilanz beim Beschicken eingebracht wurden. Das auch heute noch in pyrometallurgisch arbeitenden Edelmetall-Hüttenbetrieben praktizierte Verfahren macht sich gerade diese Eigenschaft des Bleis zunutze. Durch Zuschläge (Sand, Eisenoxide, Kalk usw.) muß allerdings dafür gesorgt werden, daß sich eine niedrigviskose, alle Verunreinigungen aufnehmende Schlacke bei den vorherrschenden Betriebstemperaturen, Reduktionsbedingungen und Verweilzeiten bildet, von der sich das schwere Werkblei gut absetzt und somit trennen läßt. Sog. »selbstfließende« Erze bedürfen keines Zuschlags; sie liefern beim Schmelzen aufgrund idealer Ausgangszusammensetzung die richtige Schlacke. Silberhaltigen Fahlerzen und Jarositen muß Blei zugesetzt werden. Dies kann in Form von Bleibarren oder Bleiglätte (= Bleioxid) geschehen. Bleiglätte ist der beim Treibprozeß (vgl. folgendes Kapitel) entstehende »Abfall«. Blei wird somit beim »verbleienden Schmelzen« im Kreis geführt; es sei denn, Bleimetall findet nach der Entsilberung Verwendung als Material für Wasserleitungen, Dachbedeckungen, Legierungen usw., wie es bereits in der Antike üblich war. Weil die südspanischen, jarositischen Silbererze nur durch verbleiendes Schmelzen zu verhütten waren, dazu jedoch Blei zugesetzt werden mußte, sollen die Phönizier auf ihren Handelsschiffen dieses Metall auch in Form von Ankern importiert haben. Sie fuhren – so berichtet die Fama – mit silbernen Ankern zurück in ihre Heimathäfen.

8 W. GOWLAND, The Early Metallurgy of Silver and Lead, Part I: Lead. *Archaeologica* 57(2), 1901, 359–422.

9 R. HETHERINGTON, Investigations into Primitive Lead Smelting and its Products. In: W. A. ODDY [Ed.], *Aspects of Early Metallurgy*. British Museum Occasional Papers No. 17 (London 1980) 27–40.

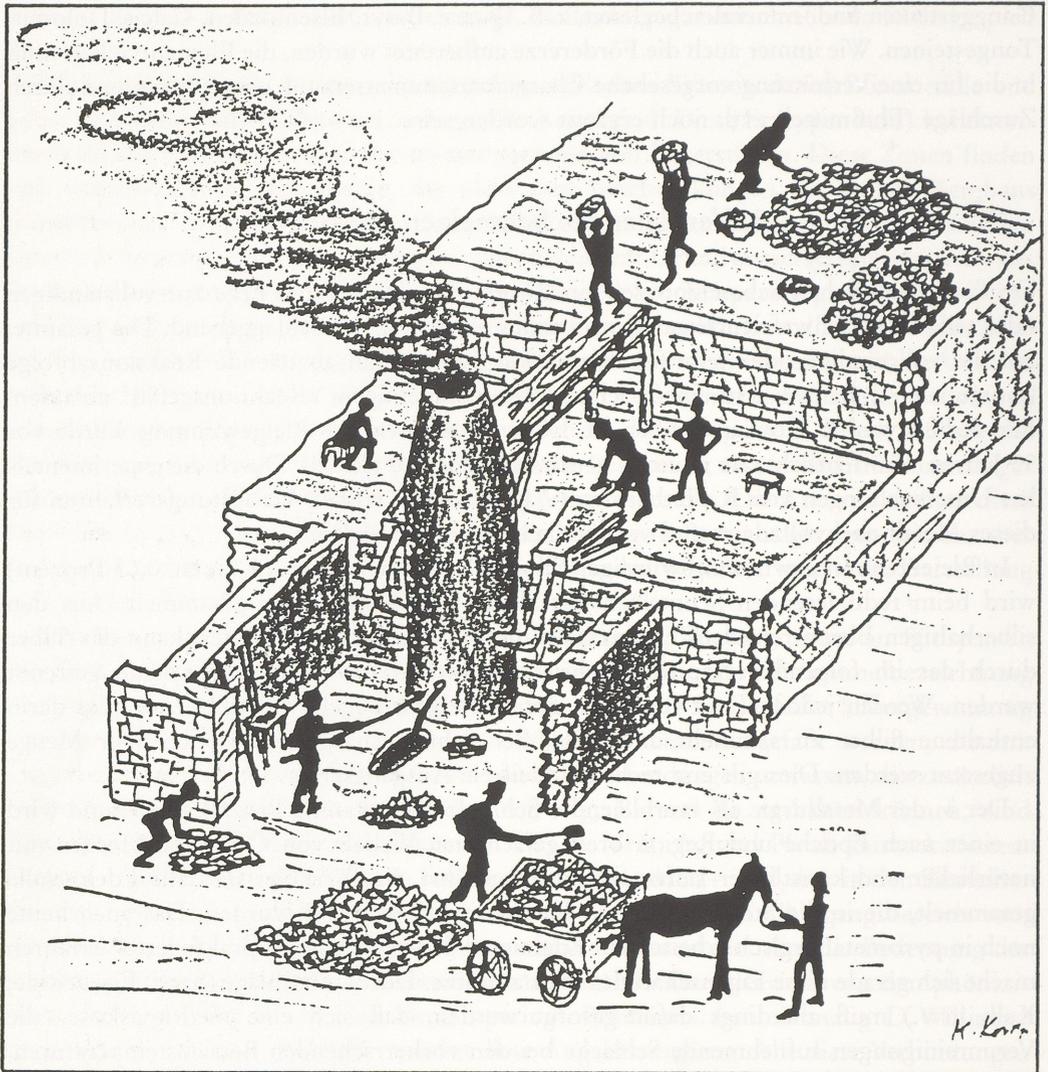


Abb. 1 Rekonstruktion des »verbleienden Schmelzens« im Schachtofen; nach Funden in Panormos, südl. Laurion; 5./4. Jahrhundert v. Chr.; nach CONOPHAGOS (wie Anm. 2).

Das verbleiende Schmelzen polymetallischer Erze mit Buntmetallsulfiden und anderen Begleitern, wie Arsen und Antimon, liefert als Endprodukt der Reduktion nicht nur Werkblei und Schlacke, sondern auch weitere Phasen. Enthält die Charge zusätzlich nur Kupfersulfide, so bildet sich Kupferstein oder Matte, ein Gemisch aus Kupfer- und Eisensulfiden mit unterschiedlichen Schwefelgehalten, das spezifisch schwerer als Schlacke und leichter als Werkblei ist. Der Ofenabstich wird um ein weiteres schmelzflüssiges Produkt vermehrt, wenn auch noch Verbindungen des Arsens und/oder Antimons in den Prozeß eingebracht werden. Dann entsteht die sog. Speise; das sind As-Sb-Verbindungen des Eisens, Kupfers usw. Der Ofenabstich wird dadurch vierphasig und besteht – mit abnehmender Dichte – aus: 1. Werkblei, 2. Speise, 3. Matte und 4. Schlacke. Fehlen Sulfide, entfällt die Stein- oder Mattepphase. Diese Abfolge der Schmelzprodukte konnte an manchen antiken Schmelzplätzen durch Funde belegt werden; ein indirekter Beweis für die Zusammensetzung der eingesetzten Primärerze. Edelmetalle, vornehmlich das Silber,

werden in beschränktem Umfang auch in den Matte- und Speisephasen gesammelt. Diese Edelmetallverluste können bei hohen Ag-Ausgangsgelalten beträchtlich sein.

Matte oder Kupferstein ist das Erzeugnis, welches beim Verhütten sulfidischer Kupfererze anfällt, somit auch den Schmelzern der Vor- und Frühzeit geläufig gewesen sein mußte. Es ließ sich weiterverarbeiten, vorausgesetzt, es fiel in ausreichenden Mengen an und wurde als kupferreiches Zwischenprodukt erkannt und auf Kupfer weiterverarbeitet. Die bei entsprechenden Ausgangserzen in der Matte zurückbleibenden Ag-Gehalte dürften jedoch in der Regel verloren gegangen sein, es sei denn, die Matte wurde – wie Primärerze – einem verbleienden Schmelzen unterworfen; ein Vorgang, der seine prozeßtechnische Weiterentwicklung während des Mittelalters im Saiger(oder Seiger)-Prozeß fand. Bei diesem Verfahren, das erst die Gewinnung der Silbergehalte aus den Kupfererzen vieler europäischer Lagerstätten ermöglichte und einen ungeahnten wirtschaftlichen Aufschwung zur Folge hatte (Fugger!), wird silberhaltiges Rohkupfer mit Blei verschmolzen. Das auch hier als Silbersammler fungierende Blei kann aufgrund seines niedrigen Schmelzpunktes (328° C) auf besonders konstruierten Saigerherden aus den Kupferkuchen heraustropfen und weiterverarbeitet werden. L. Suhling<sup>10</sup> machte jedoch deutlich, daß aus dem seit Vor- und Frühzeit bekannten verbleienden Schmelzen nicht auf ein bereits in der Antike praktiziertes Saigerverfahren geschlossen werden darf.

Speise, oft silberglänzend vielversprechend aussehend, ließen sich mit den im Altertum beherrschten Methoden nicht weiterverarbeiten. Die in ihnen enthaltenen Edelmetallgehalte gingen verloren. Weil ohne Wert, verblieben Speise häufig am Schmelzplatz; ein für die Archäometallurgie günstiger Umstand.

Die wichtigsten Prozeßindikatoren sind Schlacken. Die Analysen der Bleischlacken von zahlreichen Schmelzplätzen aus der Vor- und Frühzeit, aber auch aus der Antike, weisen oft erstaunlich hohe Bleigehalte (bis zu 30 Prozent) auf<sup>11</sup>. Dafür gibt es mehrere Gründe. Bleischlacken aus Laurion enthalten z. B. im Durchschnitt ca. 10 Prozent Blei<sup>12</sup>, während römische Rio Tinto-Schlacken selten höhere Bleigehalte als 2 Prozent aufweisen<sup>5</sup>. In Laurion-Schlacken liegt das Blei vorwiegend als Metall vor. Nach C.E. Conophagos<sup>2</sup> wurden bewußt hohe Bleiverluste in den Schlacken in Kauf genommen, um den Verbrauch an Holzkohle bei der Verhüttung niedrig zu halten. Bei dem von Conophagos experimentell nachvollzogenen Laurion-Prozeß, den er »partielle Reduktion« nennt, wurde mit Gewichtsverhältnissen zwischen Erz und Kohle von 1:0,17 bis 0,13 gearbeitet. Den für damalige Verhältnisse (5./4. Jahrhundert v. Chr.) unbeschränkten Erzvorkommen standen begrenzte Ressourcen an Holzkohle gegenüber.

Blei ist ein Metall, das eine erstaunliche Affinität zu Kieselsäure hat. Der einfallsreiche englische Hüttenmann J. Percy<sup>13</sup> hat vor über hundert Jahren seinen deutschen Schüler L. Beck das System Blei/Bleioxid-Kieselsäure untersuchen lassen. Er stellte nicht nur die Reaktionsfreudigkeit der Komponenten selbst bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen fest, sondern auch die Beständigkeit der Bleisilikate unter reduzierten Bedingungen. Wenn folglich beim verbleienden Schmelzen nicht für die Anwesenheit von kieselsäurebindenden Oxiden der Elemente Fe, Mg, Ba, Zn, Mn und Ca gesorgt wird, geht Blei als Silikat in die Schlacken.

10 L. SUHLING, Der Seigerhüttenprozeß. Die Technologie des Kupferseigers nach dem frühen metallurgischen Schrifttum (Stuttgart 1976) 37.

11 R.F. TYLECOTE, The Prehistory of Metallurgy in the British Isles (London 1986) 56 und 60.

12 H.-G. BACHMANN, Archäometallurgische Untersuchung zur antiken Silbergewinnung in Laurion. II. Charakterisierung von Bleiverhüttungsschlacken aus Laurion. Erzmetall 35, 1982, 246–251.

13 J. PERCY, Metallurgy: Lead, including Extraction of Silver from Lead (London 1870) 27–36.

Im Bleisilikat steht das Element nicht mehr als Sammler für Edelmetalle zur Verfügung. Die Edelmetalle im Primärerz – in Konzentrationen von meist deutlich unter einem Prozent – »verzetteln« sich in der Schlacke oder anderen Phasen bzw. Metallen, aus denen sie nicht isoliert werden können. Für den heutigen Hüttenmann eine Binsenweisheit, mußte diese Erkenntnis von den noch nach »trial-and-error« arbeitenden Vorfahren erst zum Erfahrungsschatz werden. Für die Archäometallurgie ergibt sich daraus die notwendige Untersuchungsregel: Bei Bleischlacken ist die bloße Bestimmung des Bleigehaltes nicht aussagekräftig genug. Es muß das Verhältnis von Bleimetall zu Bleisilikat ermittelt werden. Ferner schließen die oft inhomogenen frühen Schlacken manchmal nichtaufgeschmolzene Primärerz- oder Ganggesteinsrelikte sowie metallische Tröpfchen ein, die wegen hoher Viskosität und/oder niedriger Ofentemperatur nicht absinken konnten. Diese Einschlüsse sind in vielen Fällen interessante Agglomerate u. a. aus Metallen, Sulfiden, intermetallischen Verbindungen und festen Lösungen. Licht- und elektronenoptische Untersuchungen erschließen die mannigfaltigsten Verwachsungen und verraten auch häufig, wo und wie die Edelmetalle verteilt werden<sup>14</sup>. Für die pauschale Beurteilung der Prozeßführung dürfen solche isolierten Mikro-Relikte jedoch nicht überbewertet werden.

#### 4. Treibprozeß (Abb. 2)

Jeder Einzelschritt im Ablauf der Gewinnung von Metallen ist ein fortschreitender Vorgang der Anreicherung. Das Aufbereiten trennt Erze von Gangmitteln und erhöht den Gehalt an Metallverbindungen, der Schmelzprozeß »befreit« durch Reaktionen (in der Regel Reduktionen) die Wertmetalle von den Verbindungspartnern, von denen die meisten verschlackt werden. Auch der Treibprozeß ist ein Konzentrationsvorgang, und zwar einer, der über mehrere Zehnerpotenzen hinweg anreichert.

Das Werkblei aus dem verbleienden Schmelzen hat die Edelmetalle aus dem Primärerz etc. gesammelt und von den »unedlen« Begleitern isoliert. Die Trennung vom Sammlermetall Blei wird in einem Prozeß vollzogen, den die Hüttenleute »Treiben« oder »Kupellieren« nennen. Es ist nichts anderes als das Aufschmelzen des Werkbleis und dessen Oxidation zu Bleioxid (Bleiglätte). Zusammen mit Blei werden auch alle Beimengen – mit Ausnahme der Edelmetalle – durch diesen Vorgang beseitigt, teils durch Verdampfen, teils durch gemeinsame Oxidation mit der Bleiglätte. Der Treibprozeß als läuterndes Schmelzen war den Menschen früherer Zeiten ein so geläufiger Vorgang, daß ihn schon die Propheten des Alten Testaments allegorisch verwendeten. So predigte Jeremia um 600 v. Chr. (Jer. 6,29–30): »Der Blasebalg schnaubte, das Blei wurde flüssig vom Feuer; aber das Schmelzen war umsonst, denn die Bösen sind nicht ausgeschieden. Darum heißen sie »verworfenes Silber«; denn der Herr hat sie verworfen.«

Wann der Treibprozeß entwickelt wurde, muß Vermutung bleiben. Wahrscheinlich wurde er schon im 4. vorchristlichen Jahrtausend beherrscht. Trotz zahlreicher Beschreibungen – von Plinius bis zu G. Agricola – harren für Archäometallurgen noch manche Fragen der Antwort. Überreste von Treibherden sind selten und oft nicht eindeutig als solche zu identifizieren. Bleiglättebrocken sind dagegen häufiger zu finden<sup>15</sup>. Frühe Treib- oder Kuppelationsherde sind aus bestimmten Gründen von besonderem Interesse. Wegen

14 Chr. LUTZ, Chemisch-mineralogische Untersuchungen an Schachtofenschlacke einer Edelmetall-Recyclinghütte. Diss. Mainz 1988, 99ff.

15 H.-G. BACHMANN, Bleiglättefund aus der Eifel. – Ein Hinweis auf Silbergewinnung in der römischen Rheinzone. Bonner Jahrbücher 177, 1977, 617–622.

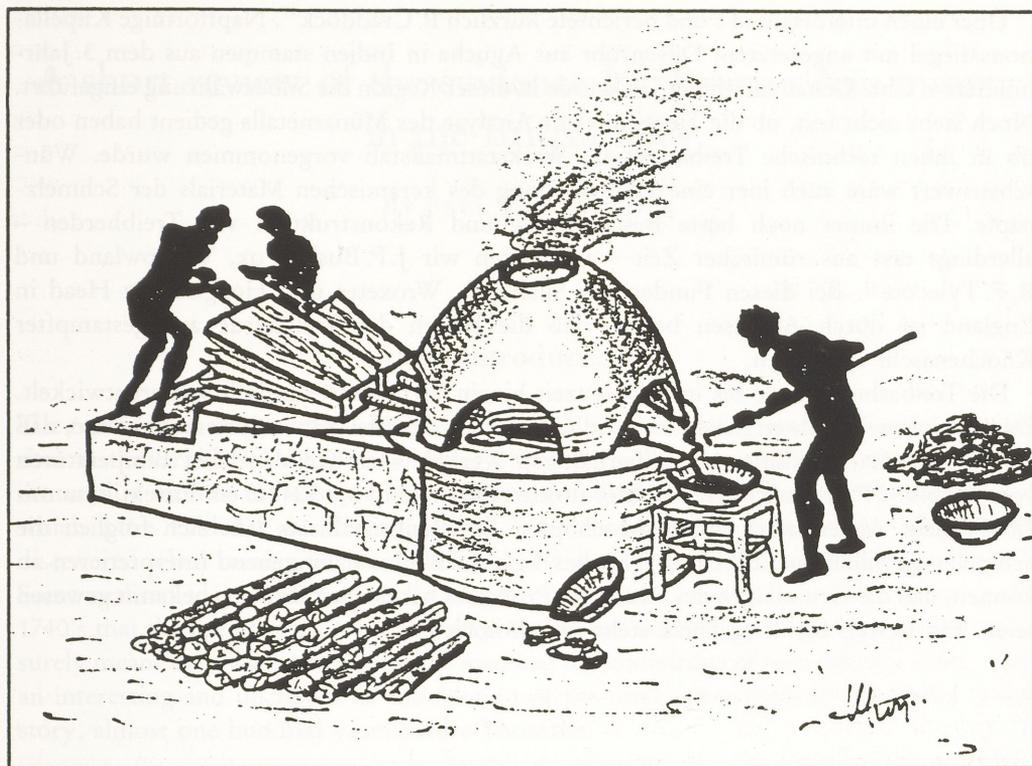


Abb.2 Rekonstruktion des »Treibprozesses mit Abstich der Bleiglätte« nach den Befunden in Laurion; 5./4. Jahrhundert v. Chr.; nach CONOPHAGOS (wie Anm. 2).

der Reaktion zwischen Blei/Bleioxid und Kieselsäure können für die Auskleidung von Treibherden oder die Herstellung von Treibschalen keine stark kieselsäurehaltigen Massen verwendet werden. Gebräuchlich waren deshalb gestampfte Knochenaschen (= Calciumphosphat) und kalkhaltige Mergel, gelegentlich mit Pottaschezusätzen. Dieser wichtigen Voraussetzung für das Funktionieren des Treibvorgangs wurde bereits in antiken Texten Rechnung getragen. Plinius spricht beim Erwähnen der Auskleidung von Treibherden von »tasconium«, worunter vielleicht eine kalkmergelhaltige Erde zu verstehen ist. Die uns von diesem Schriftsteller überlieferte Beschreibung der Kuppelation (Hist. Nat. XXXIII, 31) lautet in der Interpretation von H. C. Hoover (1874–1964; Bergbauingenieur, Agricola-Übersetzer, Technikgeschichtler, Altphilologe, 31. Präsident der USA und großer Philantrop): »Das Erz ist manchmal rot, manchmal aschfarben (Anmerkung des Verf.: Evtl. sind Jarosite gemeint). Es ist unmöglich, diese zu schmelzen, es sei denn mit Blei oder Bleierz »galena« genannt (Anmerkung des Verf.: Reduzierendes Schmelzen unter Bleizusatz, weil das Ausgangserz bleifrei oder -arm ist); letzteres findet sich häufig nahe bei den Siberadern. Die weitere Einwirkung des Feuers (Anmerkung des Verf.: Treibprozeß) trennt einen Teil des Bleis ab (Anmerkung des Verf.: Bleiglätte), das auf dem Silber wie Öl auf Wasser schwimmt (Anmerkung des Verf.: Dichte von Bleiglätte  $9,53 \text{ gcm}^{-3}$ , Dichte des Silbers  $10,5 \text{ gcm}^{-3}$ )«<sup>16</sup>.

16 H. C. HOOVER, L. H. HOOVER, Georgius Agricola »De Re Metallica«. Translated from the First Latin Edition of 1556 with Biographical Introduction, Annotations and Appendices upon the Development of Mining Methods, Metallurgical Processes, Geology, Mineralogy & Mining Law from the Earliest Times to the 16th Century (New York 1950) 464ff.

Über einen interessanten Fund berichtete kürzlich P. Craddock<sup>17</sup>. Napfförmige Kupellationsstiegel mit angesetztem Düsenrohr aus Agucha in Indien stammen aus dem 3. Jahrhundert v. Chr. Genau um diese Zeit wurde in dieser Region die Silberwährung eingeführt. Noch steht nicht fest, ob die Tiegel nur zur Analyse des Münzmetalls gedient haben oder ob in ihnen technische Treibarbeit im Werkstattmaßstab vorgenommen wurde. Wünschenswert wäre auch hier eine Untersuchung des keramischen Materials der Schmelznäpfe. Die immer noch beste Beschreibung und Rekonstruktion von Treibherden – allerdings erst aus römischer Zeit – verdanken wir J.P. Bushe-Fox, W. Gowland und R.F. Tylecote<sup>11</sup>. Bei diesen Funden aus Silchester, Wroxeter und Hengistbury Head in England ist durch Analysen belegt, daß die Böden der Treibherde aus gestampfter Knochenasche bestanden.

Die Treibarbeit wurde bis in die Neuzeit hinein verfahrenstechnisch weiterentwickelt. Das Pattinson-Verfahren macht sich die Eigenschaft des Blei-Silber-Systems zunutze, daß beim langsamen Abkühlen des silberhaltigen Werkbleis im Treibherd bei Temperaturen von 327 bis 304° C zunächst reines Blei auskristallisiert und bei 304° C ein Eutektikum mit 2,5 Prozent Ag erstarrt. Durch Abschöpfen des Bleikristallisats läßt sich folglich die Schmelze an Silber anreichern. R.J. Forbes<sup>18</sup> glaubt Plinius dahingehend interpretieren zu können, daß die Grundlagen des Pattinson-Prozesses bereits den Römern bekannt gewesen seien. Ein Beweis für diese These steht jedoch noch aus.

17 P.T. CRADDOCK, I.C. FREESTONE, L.K. GURJAR, A. MIDDLETON, L. WILLIES, The Production of Lead, Silver and Zinc in Ancient India. In: Archäometallurgie der Alten Welt. Der Anschnitt, Beiheft 7 (Bochum 1989) 51–69.

18 R.J. FORBES, Studies in Ancient Technology, Vol. VIII (Leiden 1971) 238.