

Silber aus etruskischem Blei

Gerhard Sperl, Leoben

Einleitung

Im Raume des etruskischen Populonia, von Volterra bis Vetulonia, sind Funde von Bleiobjekten in Gräbern der etruskischen Periode relativ häufig. Bis in die Neuzeit war dieser Teil der Toskana, die „Colline metallifere“ (Abb. 1), auch durch Münzprägungen in Silber bekannt, wozu die Ausgrabungen von R. Francovich auf der mittelalterlichen Burg „Rocca San Silvestro“ und dem

zugehörigen Bergbau auf Bleiglanz (12./14. Jahrhundert) eine wichtige Ergänzung bilden. Auch der Raum Massa/Marittima-Montieri ist historisches Zentrum der Silberproduktion aus Bleierzen.

Am Strand des Eisenhüttenzentrums von Populonia in der Bucht von Baratti, einem Stadtteil der Eisenhüttenstadt Piombino, wurden neben mehreren hunderttausend Tonnen Eisenschlacken am Strand, vom Meer freige-



Abb. 1: Karte der Etruria Mineraria nach A. Sestini 1979: Die Vorkommen von silberhaltigen Bleierzen sind in der Zone zwischen Campiglia und Massa Marittima konzentriert.

spült, Schlacken der Kupfererzeugung ebenso gefunden wie Bleiglätte, die einem Treibprozess zur Erzeugung des etruskischen Silbers entstammen dürfte (SPERL 1979). Naturwissenschaftliche Untersuchungen einiger Funde zur Blei-Silber-Metallurgie werden hier vorgelegt und diskutiert.

Zur Urgeschichte der Silbererzeugung aus Blei

Die Anfänge der Bleiverwendung wurden kürzlich dargestellt (SPERL 2007), sie sind dem 6./5. Jahrtausend zuzuordnen. Der früheste gesicherte Fund von aus Erzen geschmolzenem Blei stammt aus dem mesopotamischen Yarim Tepe (MERPERT et al. 1987): ein Armreif aus Bleiblech des 6. Jahrtausends v. Chr.; eine naturwissenschaftliche Untersuchung fehlt hier aber.

In einem grundsätzlichen Artikel zur frühen Metallurgie im Mittelmeerraum wird die Geschichte der Blei-Silber-Metallurgie kritisch dargestellt (PERNICKA 1987, S. 694): An der Wende vom 4. zum 3. Jahrtausend v. Chr. stellt man in der Ägäis eine bedeutende Produktion von Blei- und Silberobjekten fest. Die Technologie scheint ausgereift, wenn auch kaum archäologische Beweise für die Silbererzeugung vorliegen; lediglich einige Funde von Bleiglätte (PbO, litharge) wurden festgestellt (HESS et al. 1998). Während die Analysen eine Herkunft aus dem Westen (Rio Tinto, Cartagena, Sardinien) ausschließen, wird neben der allgemeinen Anschauung, dass die Bleimetallurgie aus dem Osten (Mesopotamien) gebracht wurde, auch der Balkan als möglicher Ursprung

Tabelle 1: Wichtige, in der Antike und im Mittelalter genutzte Silbererze.

Prozess in Abb. 2	Name und chemische Formel	Silbergehalt % Ag /ppm	Wichtige Vorkommen	Literatur dazu
I	Bleiglanz (Galenit) PbS	bis 1% Ag ¹⁾ theor. 86,6 % Pb	Lavriotiki (GR) u. a. Campiglia Mma. /Toskana	¹⁾ RAMDOHR1967
II	Argentojarosit $AgFe_3^{3+}[(OH)_6/SO_4)_2$ ²⁾	616-3110 ppm ²⁾	Rio Tinto, Spanien	²⁾ extraLAPIS 8(1995)
III	Fahlerze: Schwazit ³⁾ $(Cu,Fe,Ag,Hg)_{12}(Sb,As)_4S_{13}$	0,30-0,85 % Ag mit 35-41% Cu	Schwaz, Tirol	³⁾ IN 2

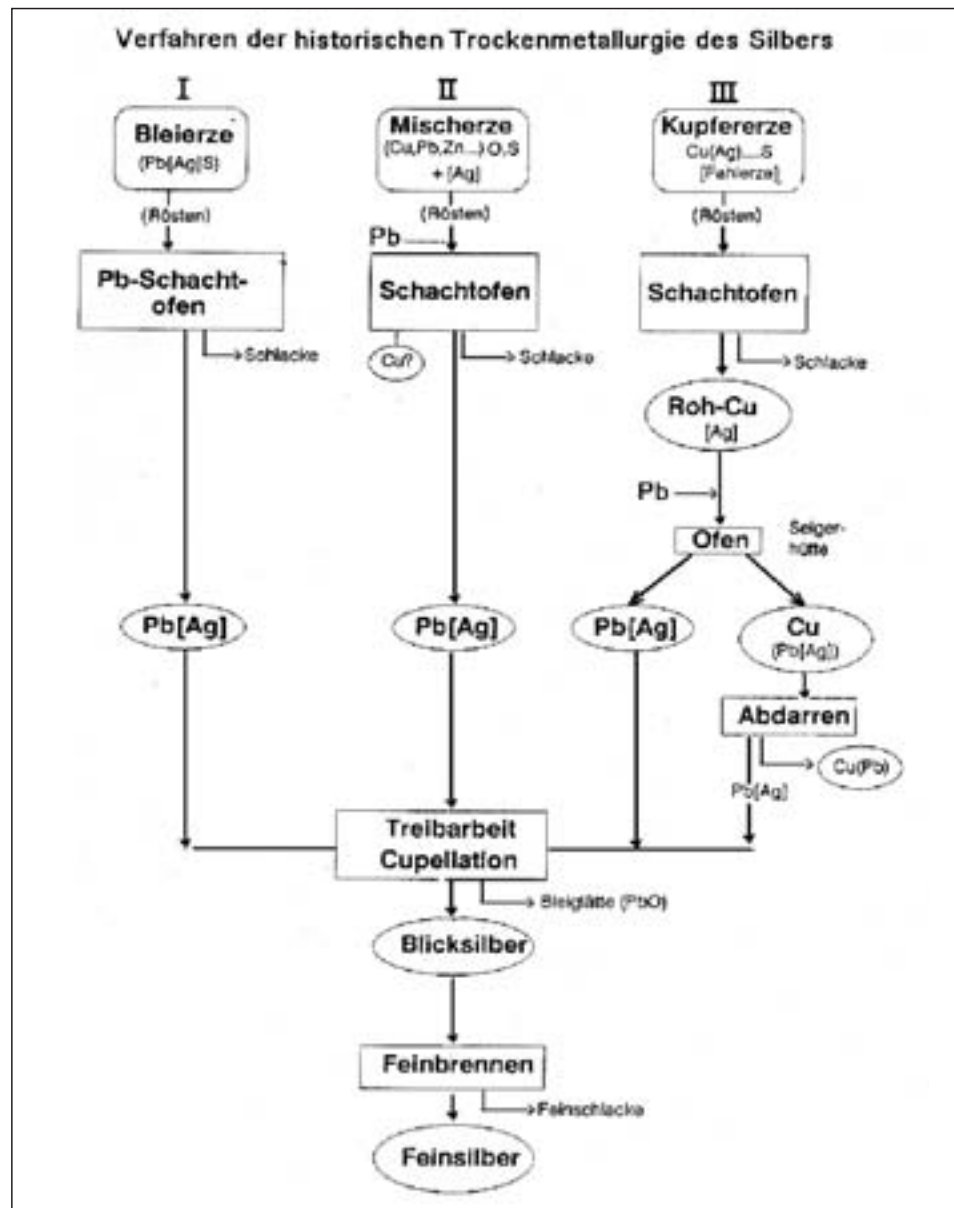


Abb. 2: Die drei historischen Wege der Silbererzeugung aus Erzen, mit der Treibarbeit (Kupellation) als gemeinsamer Endstufe.

der Technologie des Silbers aus Blei in die Diskussion gestellt. Bleihaltige Objekte sind einer Isotopen-Analyse zugänglich, die für Geologen eine Altersbestimmung der Lagerstätte ermöglicht (HOFMANN 2001), für den Archäologen und den Historiker aber die Möglichkeit einer Herkunftsbestimmung bietet (GALE 1989).

Die Erze des Silbers

Silberhaltige Erze sind zahlreich, bei LAPIS(1995) werden etwa 150 silberhaltige Mineralien aufgezählt; die historisch wichtigsten aber sind in **Tabelle 1** angeführt.

Grundsätzliches zur Blei-Silber-Metallurgie

Es gibt prinzipiell drei historische Verfahren (**Abb. 2**), aus Erzen Silber mithilfe von Blei zu gewinnen, das dann im Treibprozess zu „Blicksilber“ und Bleiglätte verarbeitet werden konnte:

I. Direkter Prozess im Lagerfeuer: Sicher die ursprüngliche und älteste Methode ist es, den Bleiglanz im Lagerfeuer (bei maximal 800° C) zu Blei zu verarbeiten (**Abb. 3**); hier fällt keine flüssige Schlacke an, vielmehr bleiben die Begleitgesteine fest und nur das Blei sammelt sich flüssig am Boden des Lagerfeuers. Dieses Verfahren ist bei Agricola (AGRICOLA 1556) als „Kärntner Verfahren“ bezeichnet (**Abb. 4**). Sinnvoll ist dies nur, wenn der Erzgehalt im Möller über etwa 30 % liegt, da die Bleiausbeute niedrig liegt.

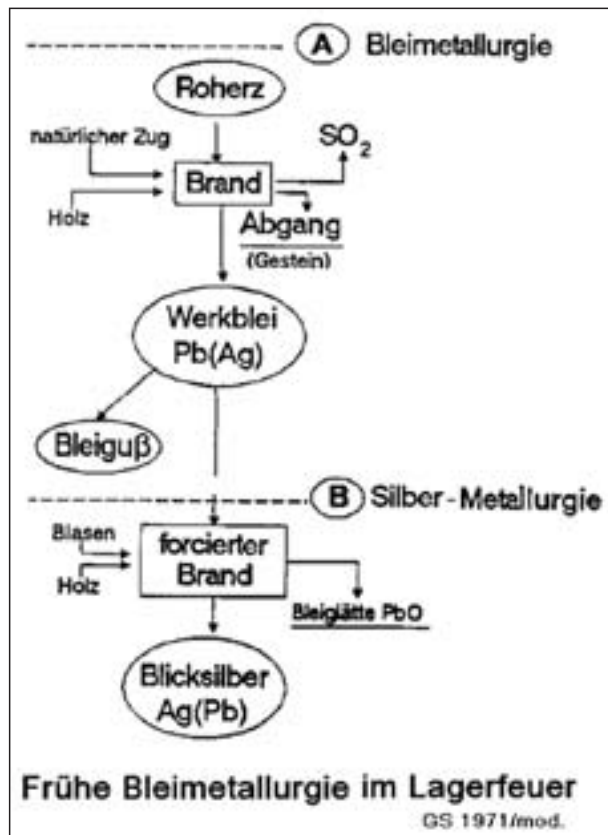


Abb. 3: Stammbaum der frühen Blei-Silber-Metallurgie: Im Lagerfeuer kann der Bleiglanz durch Rösten entschwefelt und dann zum Werkblei reduziert werden.



Abb. 4: In „de re metallica libri XII“ des Georg Agricola von 1556 wird ein einfaches Verfahren der Bleigewinnung aus dem Erz mit einem einfachen Feuer auf dem Rost (links) beschrieben. Das Blei sammelt sich in einer Grube unterhalb und wird daraus in runde Formen geschöpft.

Diese Lagerfeuer-Methode wurde auch Versuchen zugrunde gelegt, die das Institut für Mittelalter-Archäologie der Universität Siena (Prof. R. Francovich) im September 1991 neben der mittelalterlichen Burg „Rocca San Silvestro“ bei Campiglia Marittima (FRANCOVICH 1991) organisierte: In einem einfachen Lagerfeuer, das in einer vorbereiteten Grube mit Lehm Boden betrieben wurde (**Abb. 5**), konnte erfolgreich, nur durch einfaches Fächern mit belaubten Zweigen gesteuert, aus dem lokalen Bleiglanz direkt Blei gewonnen werden, das sich in der Grube sammelte. Berichten aus den USA zufolge ist dies noch vor kurzer Zeit auch die Methode



Abb. 5: Das Lagerfeuer in einer mit rotem, lokalem Lehm ausgekleideten Grube reduzierte den Bleiglanz der nahen Lagerstätte bei der Burg „Rocca San Silvestro“ 1991 zu metallischem Blei.

der Jäger in den Rocky Mountains gewesen, das Blei für Gewehrpatronen, gegossen in den mitgebrachten eisernen Gießformen, herzustellen.

Für die antike Silbergewinnung im Gebiet des antiken Laurion in Attika (Lavriotiki-Thorikos), wo die verarbeiteten Erze um 10% Blei enthielten, wurde von Conophagos (CONOPHAGOS 1980) ein Schachtofenprozess aufgrund der Schlacken- und Ofenfunde angenommen. Dies ist auch für die punische und die römische Blei-Silber-Metallurgie in Spanien (Carthago Nova, heute Cartagena) anzunehmen. Leider sind weder für Rio Tinto (SALKIELD 1987) noch für Cartagena Ofenreste gefunden worden, die eine Rekonstruktion des Verfahrens gestatten würden, sodass für die Antike keine genauen Auskünfte zur Blei-Silbererzeugung vorliegen. Auch C. Plinius Secundus der Ältere (gestorben 79 n. Chr. in Stabiae/Castellarmare bei Neapel) gibt hier keine erschöpfende Auskunft.

II. Verbleiendes Schmelzen: Für die Silbergewinnung aus Mischerzen, vor allem aus dem Jarosit, wie er in Rio Tinto vorliegt (BACHMANN 1993), wurde das Silber dadurch gewonnen, dass man das Erz zusammen mit Blei oder Bleiglätte aus dem Treibprozess, im Schachtofen (bei über 1000° C) reduzierend schmolz. Dabei sammelte das dünnflüssige Reichblei die Edelmetalle Gold und Silber, Kupfer fiel als Schwarzkupfer an. Der Bleigehalt der Schlacken hängt stark vom CaO/SiO₂-Verhältnis und dem Eisenoxidgehalt des Möllers ab: SiO₂ bildet bevorzugt ein Glas mit dem Bleioxid PbO, und das Eisenoxid verdrängt bei gleichzeitiger Senkung des Schmelzpunktes der Schlacken den Quarzanteil. Die Bleianteile der Schlacken können durchaus bei 30 % liegen, doch sind Werte um 5 % häufig und Zeichen guter Schlackenführung. Schlackenhalde der Bleiverhüttung fallen meist durch einen gewissen Anteil an schwarzen, glasigen Schlacken, die an Obsidian erinnern, auf.

III. Der Seigerhüttenprozess (liquation): Erst im 15. Jahrhundert lernte man, das im Kupfer der mittelalterlichen Hütten festzustellende Silber durch ein neuerliches verbleiendes Aufschmelzen zu gewinnen (SUHLING 1976). Der Prozess, der sich wahrscheinlich im Umkreis Venedigs entwickelte, hatte sein mengenmäßiges Zentrum im Tiroler Inntal, vor allem um Schwaz. Das dort aus dem Fahlerz erzeugte Kupfer enthielt etwa 0,5 % Silber, das durch die ausgeklügelte Metallurgie zu 90 % gewonnen werden konnte, sodass das Kupfer nur noch etwa 0,05 % Silber enthielt. Die Analysen der Figuren am Grabmal Kaiser Maximilians in der Hofkirche in Innsbruck, überwiegend aus Inntaler Kupfer des 16. Jahrhunderts hergestellt, zeigen dies eindrucksvoll (KNITTEL 1983).

Römische Silbererzeugung

Der Text von C. Plinius Secundus dem Älteren in seiner Naturkunde (Naturalis Historia) zur Silber-Blei-Gewinnung lautet (TUSCULUM 1984):

Ab his argenti metalla dicantur, quae sequens insania est. non nisi in puteis reperitur nullaque spe sui nascitur, nullis, ut in auro, lucentibus scintillis. terra est alias rubra, alias cineracea. excoqui non potest, nisi cum plumbo nigro aut cum vena plumbi, - galenam vocant -, quae iuxta argenti venas plerumque reperitur. et eodem opere ignium discedit pars in plumbum, argentum autem innatat superne, ut oleum aquis.

Übersetzung:

Nun soll noch von den Silbergruben gesprochen werden, dem nächsten (Gegenstand) der Tollheit. (Silber) findet sich nur in Schächten und kommt unverhofft vor, nicht, wie beim Gold, mit leuchtendem Funkeln. Das Erdreich ist bald rot, bald aschfarben. Man kann es nur mit Blei oder Bleierz - Bleiglanz genannt - ausschmelzen, das sich meistens neben den Silberadern findet. Im gleichen Arbeitsgang des Feuers scheidet sich auch ein Teil in Blei aus, das Silber aber schwimmt obenauf, wie das Öl auf dem Wasser.

Zur „Naturalis Historia“ des älteren Plinius ist zu bemerken, dass dieser sich offensichtlich eine Zettelkartei zu den vielfältigen Themen seines enzyklopädischen Werkes angelegt und dann – nicht alles wohlverstanden – zusammengefasst hat. Daher ist es notwendig, unter Betrachtung seiner Quellen und mit dem Verständnis der Archäometallurgie heute jeden seiner Texte zu kommentieren, wie dies die „Pliniusgruppe“ gemacht hat. Auch für das Blei-Silber-Problem liegt dafür eine Bearbeitung vor (PLINIUSGRUPPE 1989). Plinius stellt hier bunte Silbererze – gemeint sind wohl die Jarosite – dem Bleiglanz (galena) gegenüber; auch der Treibprozess ist (durchaus missverständlich) beschrieben.

Zur Blei-Silber-Metallurgie der Etrusker.

Antikes Blei wird häufig gefunden: vor allem die römischen Bleibaren mit den eingegossenen Aufschriften konnten aus gesunkenen Schiffen tonnenweise geborgen werden. Aber auch gegossene Figuren oder Blechstreifen, als Etiketten auf Handelswaren verwendet, sind nicht selten. Im Bauwesen wird Blei in der Antike für Wasserleitungen oder zum Vergießen der Eisenklammern verwendet. Plinius erwähnt auch zahlreiche medizinische Anwendungen von metallischem Blei und dessen Verbindungen.

Andererseits ist Silber schon in frühen etruskischen Gräbern gefunden worden: Das Bernardini-Grab (8./7. Jahrhundert. v. Chr.) in Palästrina weist mehrere Gefäße aus Silber auf, die allerdings aus stilistischen Gründen überwiegend dem Nahen Orient (Zypern, Syrien) zugewiesen werden. Aber auch in dem Gräberfeld von Populonia ist Silber nicht selten.

Über die Blei-Silber-Metallurgie der Etrusker gibt es bisher keine fundierte Darstellung. Nützlich ist die Arbeit von ATZENI (1991), die aber frühere, bronzezeitliche Bleifunde von Sardinien behandelt. Ebenfalls findet im Band „Etruria Mineraria“ im Jahr der Etrusker

1985 das Metall nur cursorisch Erwähnung, und auch das Silber ist unterrepräsentiert. Immerhin wird durch CAMPOREALE (1985) die Besonderheit der Kandelaber aus Blei vom Gräberbezirk in Populonia hervorgehoben. Diese Objekte sind sonst aus Bronze hergestellt, für die Bestattung aber reichte eine Ausfertigung in Blei aus.

In den Museen in Populonia Alta und Piombino finden sich mehrere Bleiobjekte (Abb. 6) aus dem Gräberfeld von Populonia/Baratti. Vom Fundort Le Grotte wurde ein Bleiband beprobt (Abb. 7) und davon ein metallographischer Schliff angefertigt (Abb. 8); das Gefüge ist ohne Besonderheiten und auch die Untersuchung im Rasterelektronenmikroskop mit dem System EDAX zeigt, dass alle eventuell enthaltenen Elemente (Sb, As, Sn, Cu) mit Gehalten unter der Nachweisgrenze (etwa 0,1 %) vorliegen – eine nicht erstaunliche Analyse, wie Vergleiche mit der Literatur ergeben.

Wie der Betriebsleiter des Bergbaues „Miniera di Campiglia“, Flavio DeCassai, etwa 1990 feststellte, enthält der durch Flotation aus dem Mischerz von Campiglia erhaltene Bleiglanz etwa 0,3 % Silber, ein Gehalt, der auch für die urzeitliche Metallurgie nutzbar war. Die



Abb. 6: Bleiobjekte aus dem Gräberfeld von Populonia aus dem 4./3. Jahrhundert v. Chr. Die spinnenförmigen Stücke sind Teile von Kandelabern (Foto 1992).

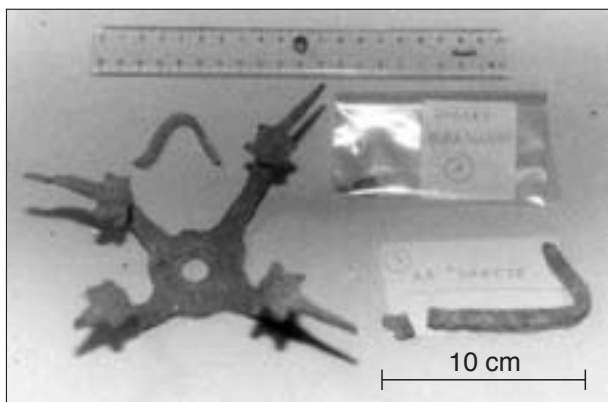


Abb. 7: Probenahme im Archiv des Museums von Piombino 1991: Kandelaber-Teil aus Blei, daneben ein Bleiband (Fundort Le Grotte/Populonia), dem eine Probe entnommen wurde.

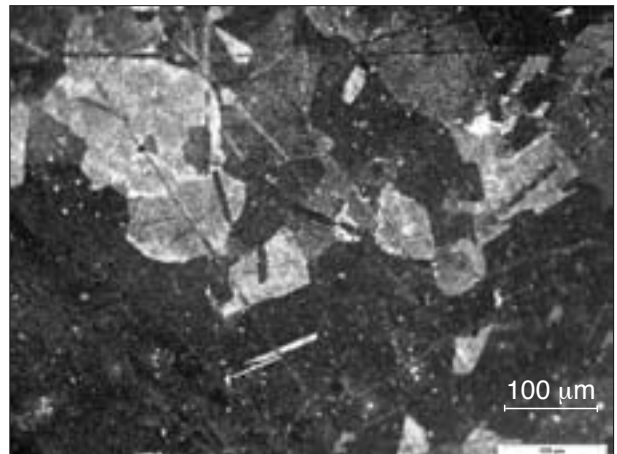


Abb. 8: Schliff der geätzten Probe „Le Grotte“ bei polarisiertem Auflicht: Die rekristallisierten Körner mit Zwillingen sind deutlich erkennbar, wahrscheinlich die Folge von Kaltverformung und Rekristallisation bei niedrigen Temperaturen.

untere Grenze in der Römerzeit dürfte unter 0,1 % Silber im Blei gelegen sein, wie Analysen römerzeitlicher Bleibarren nachweisen. Bei solchen Analysen taucht allerdings immer die Frage auf, ob es sich um das aus dem Erz erschmolzene primäre Rohblei oder das aus der Bleiglätte des Treibprozesses gewonnene sekundäre Fertigblei handelt, das immer unter 0,1 % (1000 ppm) Silber, meist unter 0,01 % (100 ppm) Silber enthält. So enthält sardisches nuraghezeitliches Blei von Santa Barbara (ATZENI 1991) nur 13 bis 68 ppm Ag (Fertigblei), während das lokale Erz 230 ppm Silber enthielt, das sich auch in Objekten aus Rohblei von Genna Maria mit Werten zwischen 130 und 320 ppm wieder findet. Dies sind die Maßstäbe, die man an die Analyse von Bleifunden allgemein zu legen hat.

Während die Bleiproduktion durch die besondere Dichte der Bleifunde aus dem Gebiet zwischen Populonia und Vetulonia indirekt nachgewiesen ist, kann man zur Silbererzeugung aus diesen Erzen schon etwas mehr sagen, da sich am Strand von Populonia/Baratti immer wieder Stücke von Bleiglätte finden, die durch ihre rot-gelbe Farbe und ihr hohes spezifisches Gewicht auffallen. Der Autor hat vor einiger Zeit zwei solcher Proben vom Kustos der Ausgrabungen erhalten (Abb. 9-11). Hellrot leuchtet im polarisierten Auflicht die Pb-Mennige auf, dazwischen oft Silikate (?); wichtige Informationen dazu sind in Tabelle 2 enthalten:

Tabelle 2: Zur Bleiglätte vom Strand bei Populonia/Baratti

- 1. Proben (vgl. Abb. 9):
 - A.) Bleiglätte/litargirio Baratti (SN 3365):
 - Farbe: rot, mit max. 5 % hellen Einschlüssen
 - $\gamma = 6,3 \text{ g/cm}^3$
 - B.) Bleiglätte/litargirio Baratti (erhalten am 25.5.1990)
 - Farbe: rot, mit 30-50 % hellem Anteil
 - $\gamma = 4,9\text{-}5,5 \text{ g/cm}^3$

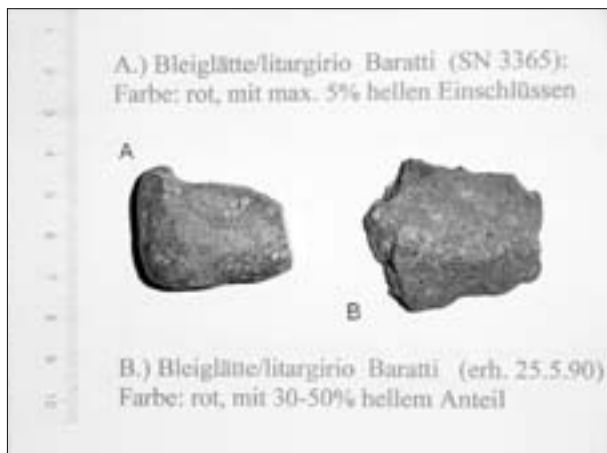


Abb. 9: die beiden Proben von Bleiglätte vom Strand von Baratti-Populonia sind leicht rötlich gefärbt. Probe A ist in einer eckigen Form mit gleichmäßiger Dicke von 28 mm erstarrt und hat gleichmäßige Dicke; Probe B ist ein „Gusszapfen“, der in einer Rinne mit rauem Boden erstarrte.

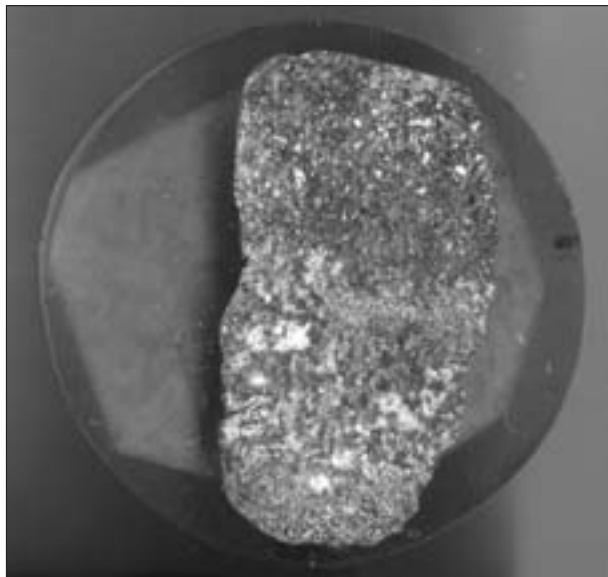


Abb. 10: Querschliff von Probe A: Dunkle Zonen von Bleioxid, einzelne weiße Quarz-Einsprengungen (polarisiertes Auflicht, Probenhöhe 28 mm, in runder Einbettung).

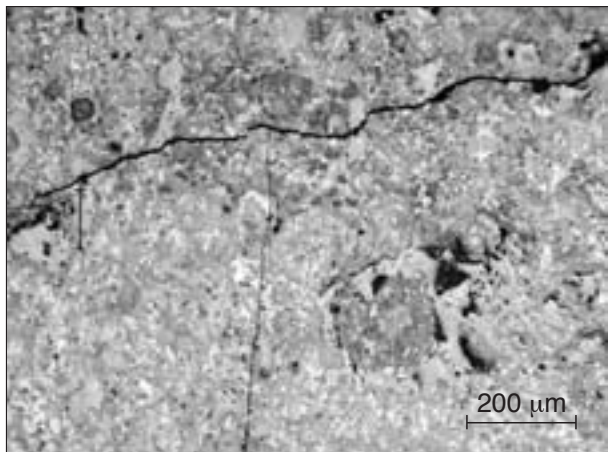


Abb. 11: Mikrostruktur in Bleiglätte A: Zweiphasiges Bleioxid und Silikat-Körner (teilmolarisiertes Auflicht).

2. Theoretisch (aus RAMDOHR 1967):
Bleiglätte PbO existiert in zwei Modifikationen, Umwandlung bei 488° C:
rot/tetragonal > gelb/orthorhombisch
a) Rotes α-PbO (Mennige, Saturnrot) $\gamma = 9,3 \text{ g/cm}^3$
b) Gelbes β-PbO (Massicot, Lithargit) $\gamma = 9,5 \text{ g/cm}^3$
3. Praktisch (IN 1)
Blei(II, IV)-Oxid, auch Mennige, Minium, ist ein leuchtend rotes Pulver mit der Summenformel $\text{Pb}_3\text{O}_4 = \text{Blei(II)-Orthoplumbat}$.
Als Pigment heißt es auch Pariser Rot, Bleirot, Goldsatinober, Goldzinnober, Kristallmennige, Mineralorange, Sandix, Saturnmennige, Saturnrot.

Zusammenfassung:

Es ist gesichert, dass schon in etruskischer Zeit (8.-2. Jahrhundert v. Chr.) im Gebiet von Campiglia/Marittima-Piombino aus den anstehenden Bleierzen, hauptsächlich Bleiglanz, über die Bleiverarbeitung durch Treibarbeit (Kupellation) Silber gewonnen wurde. Die wichtigsten Silberfunde aus etruskischer Zeit stammen aber aus dem Orient (**Abb. 12 und 13**), und lediglich die bedeutsame Münzprägung Populonias könnte Hinweise (durch Isotopenanalyse) für das toskanische Blei in der Antike nachzuweisen gestatten. Der metallurgische Prozess ist in den für Griechenland (Laurium) bekannten Rahmen zu stellen, wenn auch dafür Ofenfunde bisher fehlen.

Literatur

ATZENI (1991): C. ATZENI, L. MASSIDDA, U. SANNA, P. VIRDIS : Notes on lead metallurgy in Sardinia during the Nuragic period., in: *Historical Metallurgy* 24 (1991) (24, 2) S. 97-105

BACHMANN (1993): H.-G. BACHMANN, Zur frühen Blei- und Silbergewinnung in Europa; in: *Montanarchäologie in*



Abb. 12: Großer Kessel aus der Tomba Bernardini in Palestrina (Lazio), Silber, vergoldet, 8./7. Jahrhundert v. Chr. (CANCIANI 1979).



Abb. 13: Silber-Amphore aus dem Meer zwischen Populonia und S.Vincenzo, 1968 gefunden, Höhe 61 cm, Volumen 22 Liter; mit Darstellungen in Medaillons, die dem östlichen Mittelmeerraum zugeordnet werden, 4. Jahrhundert n. Chr. (GUIDA 2003).

Europa, Berichte zum internationalen Kolloquium »Frühe Erzgewinnung und Verhüttung in Europa« in Freiburg/Breisgau vom 4. bis 7. Oktober 1990, Archäologie und Geschichte – Freiburger Forschungen zum ersten Jahrtausend in Südwestdeutschland, Bd. 4, S. 39-36; siehe auch ders. S. 153-160

C. PLINIUS SECUNDUS d. Ä., *Naturalis Historia*, Ausgabe Tusculum, Artemisverlag München-Zürich 1984, Cap. XXXI, § 95,

CAMPORALE (1985): G. CAMPORALE, *L'Etruria Mineraria*, (Katalog der Ausstellung im Jahr der Etrusker) Regione Toscana/Electa 1985, S. 117

CANCIANI (1979), F. CANCIANI, F.-W. VON HASE, *La tomba Bernardini di Palestrina, Latium-Vetus II*, CNR 1979

CONOPHAGOS (1980): C. E. CONOPHAGOS, *Le Laurium antique et la technique grecque de la production de l'argent*, Athen 1980

FRANCOVICH (1991): R. FRANCOVICH, *Rocca San Silvestro*, Leonardo-De Luca, Roma 1991

GALE (1989): N. H. GALE, Lead Isotope analysis applied to provenance studies: a brief review, in: *Archaeometry, Proceedings of the 25th international symposium*, Athen 1986, S. 469-502

GUIDA (2003): GUIDA ARCHEOLOGICA della Provincia di Livorno, Nardini Ed. 2003, S. 157

HESS et. al. (1998): K. HESS, A. HAUPTMANN, H. T. WRIGHT, R. WALLON, Evidence of fourth millennium BC silver

production at Fatmalı-Kalicek, East Anatolia, in: *Metallurgia Antiqua, Der Anschnitt, Beiheft 8* (1998), S. 57-67

HETHERINGTON (1980): R. HETHERINGTON, *Aspects of Early Metallurgy*, British Museum Occasional Paper No 17, S. 27-40

HOFMANN (2001): A. W. Hofmann, Lead Isotopes and the Age of the Earth – a geochemical accident; in: *The Age of the Earth from 4004 BC to AD 2002*, Geological Society Special Publication No. 190, Geological Society London 2001, S. 223-235

IN-n: (Internet-Quellen):

IN1: <http://kremer-pigmente.de/43010.htm>

IN2 :<http://www.silberbergwerk.at/geology/Fahlerz/>

KNITEL 1983: O. KNITEL, *Die Gießler zum Maximiliansgrab, Handwerk und Technik*, Selbstverlag Innsbruck 1983

LAPIS 1995: extraLAPIS Nr. 8 (1995), *Gediegen Silber*, S. 94-95

MERPERT et al. (1987): N. MERPERT, R. M. MUNCHAEV, The Earliest Levels at Yarim Tepe I and Yarim Tepe II in Northern Iraq, in: *Iraq 49*(1987), S. 1-36

PERNICKA 1987 : E. Pernicka, *Erzlagerstätten in der Ägäis und ihre Ausbreitung im Altertum: Geochemische Untersuchungen zur Herkunftsbestimmung archäologischer Metallobjekte*, in: *Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums Mainz* 34 (1987), Teil 2, S. 607- 714

PROJEKTGRUPPE PLINIUS (Hrsg.) (1989), *Plinius der Ältere über Blei und Zinn*, Attempato Verlag Tübingen 1989, S. 20; Kommentare dazu S. 45-48 (Lit. 68-82)

RAMDOHR (1967): RAMDOHR, H. STRUNZ, *Klockmanns Lehrbuch der Mineralogie*, Ferdinand Ende Verlag, Stuttgart (1967)

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

SESTINI A. (1979), *Introduzione all'Etruria mineraria: il quadro naturale e ambientale*. In: *L'Etruria Mineraria, Atti del convegno di Studi Etruschi ed Italici*, Firenze-Populonia-Piombino 1979, OLSCHKI-Firenze MCLXXXI, S. 3-21

SPERL (1979): G. SPERL, *Untersuchungen zur Metallurgie der Etrusker*, in: *L'Etruria Mineraria, Atti del convegno di Studi Etruschi ed Italici*, Firenze-Populonia-Piombino 1979, OLSCHKI-Firenze MC;LXXXI, S. 29-50

SPERL (2007): G. SPERL, *Die Urgeschichte des Bleies*, in: *res montanarum* 36/2007, S. 18-21

SUHLING (1976): L. SUHLING, *Der Seigerhüttenprozess, die Technologie des Kupferseigerns nach dem frühen metallurgischen Schrifttum*, Dr. Riederer Verlag Stuttgart 1976

TUSCULUM (1984): C. Plinius Secundus d.Ä., *Naturkunde, Lateinisch-Deutsch, Buch XXXIII (Metallurgie)*, Artemis Zürich 1984, S. 70/71 (XXXI, 95)

UNOERRE (Ed.) (1990), *Ori e argenti nelle collezioni del Museo Archeologico di Firenze*, Unoaerre Firenze 1990

Der Autor dankt Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. rer. nat. Gerhard Dehm, Erich-Schmid-Institut der Österreichischen Akademie der Wissenschaften für Materialphysik, für die Möglichkeit, mikroskopische Untersuchungen auf den Geräten des Institutes durchzuführen.