

GEOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUR FRÜHEN METALLURGIE IN NW-ANATOLIEN

GEOLOGICAL INVESTIGATION ON THE EARLY-METALLURGIE IN NW-ANATOLIA

G.A.WAGNER*; E. PERNICKA*; T.C. SEELIGER*; Ö. ÖZTUNALI**; I. BARANYI***;
F. BEGEMANN**** und S. SCHMITT-STRECKER****

ABSTRACT. — During summer 1983 a geologic campaign to Northwestern Anatolia was undertaken in order to investigate remains of early metallurgical activities in this important region. The purpose of this study is to find early mining and smelting sites, to reconstruct the metallurgical processes and to establish the role of the various copper, lead-silver and gold production centres. The field work was kindly supported by the MTA and Etibank authorities. Altogether about 75 sites, mostly on the Biga peninsula, were visited. Among them are the silver-lead mines of Balya, which were repeatedly exploited since prehistoric times, and the ancient gold mines of Astyra near Troy. Reports on early tin production at Madenbelenitepe near Bursa could not be confirmed. Some of the sites were dated with thermoluminescence and radiocarbon techniques. Lead isotope values interpreted with the samples from other parts of the Aegean region in the isochron diagrams. Apart from the results obtained in few samples from Lesvos, Samos and Chios islands, even though all the samples show different mineralization environment, phase and genesis, it is determined that they have similar isotopic constituents. The ore and the slag samples were analyzed by neutron activation, atomic absorption, X-ray fluorescence and lead-isotope mass spectrometry. In order to establish the importance of the various raw metal sources in antiquity the analytical data of the ores were compared with analyses of bronze artefacts from Troy and other archaeological sites. On the base of these data it appears that the analyzed EBA metal artefacts of Troad were predominantly produced from ores of other regions.

ZUSAMMENFASSUNG. — Im Sommer 1983 wurde im NW-Anatolien eine geologische Erkundungsarbeit durchgeführt, um die Überreste alter Verhüttungsaktivitäten dieser wichtigen Region zu erforschen. Die Aufgabe dieser Arbeit war die Aufsuchung der Stellen mit vermuteten Überresten alter Bergbau- und Verhüttungsaktivitäten, die Rekonstruktion des Metallgewinnungsprozesses und die Feststellung der Rolle verschiedener Kupfer-Blei-Silber- und Goldproduktionszentren. Die Geländearbeit wurde seitens zuständigen Behörden von MTA und Etibank freundlich unterstützt. Im NW-Anatolien, meistens im Gebiet der Biga-Halbinsel, wurden ca. 75 Stellen besichtigt. Darunter waren die Blei-Silber-Grube von Balya, welche seit prähistorischen Zeiten mehrmals in Abbau genommen wurde, und die Antik-Goldgrube von Astyra in der Nähe von Troja. Die Berichte über die frühe Zinn Gewinnung in Madenbelenitepe in der Nähe von Bursa konnten nicht bestätigt werden. Einige der Fundstellen wurden mit Methoden der Thermolumineszenz und Radiokarbon datiert. Die Erzen- und Schlackenproben wurden durch Neutronenaktivierung, Atomabsorption, Röntgenfluoreszenz und Blei-Isotopen-Entwicklungsdiagramm analysiert. Um die Bedeutung der verschiedenen antiken Rohmetallquellen der Reihe nach festzustellen, wurden die analytischen Daten der Erze mit Analysen der Bronzen von Troja und anderen archäologischen Fundstellen verglichen. Auf Grund dieser Daten scheint es, dass die analysierten FBZ-Metalle von Troja vorwiegend aus Erzen anderer Regionen hergestellt wurden.

EINLEITUNG

Anatolien ist die Wiege der Metallurgie genannt worden (Przeworski, 1939). Diese Bezeichnung beruht auf den frühesten Nachweisen urzeitlicher Metallurgie, die im anatolischen Raum in die Zeit des 9. bis 7. Jahrtausends v. Chr. zurückreichen. Es sind vereinzelte Kupfergegenstände aus Çayönü Tepesi und Çatal Hüyük, darunter auch eine Kette mit Gliedern aus Kupfer und Blei. Seit der 2. Hälfte des 6. Jahrtausends haufen sich die Kupferfunde in Anatolien. Erste Kupferlegierungen

mit Beimengungen, vor allem von Arsen ("Arsebronzen"), sind aus dem 4. Jahrtausend bekannt, insbesondere am oberen Euphrat und in Kilikien. Zinnbronzen treten erstmals um 3000 v. Chr. auf. Zu diesem Zeitpunkt, am Beginn der Frühen Bronzezeit, sind die Vorzüge der Zinnzumischung, vor allem die erhöhte Härte der Legierung im gegossenen Zustand, erkannt worden. Interessanterweise wird dieser Schritt nicht im eigentlichen Kernland der frühen Metallurgie, in Zentralanatolien, vollzogen, sondern in einem ausgesprochenen Randgebiet, das in der bisherigen metallurgischen Entwicklung bedeutungslos war, nämlich in NW-Anatolien und auf den vorgelagerten agaischen Inseln Lesbos und Lemnos.

Die frühe metallurgische Entwicklung war aber nicht nur auf Kupfer und seine Legierungen beschränkt. Auch Gold, Silber und Blei waren im 4. Jahrtausend schon bekannt. Gegen Ende des 4. Jahrtausends nimmt die Zahl der Silber- und Bleigegegenstände stark zu. Erste Eisenfunde in Anatolien treten in Schichten des 3. Jahrtausends auf, obwohl die eigentliche Eisenproduktion erst am Ende des 2. Jahrtausends einsetzt.

Mit dieser skizzierten Abfolge des Auftretens der Metalle in Anatolien sind vielfältige Fragen an die Montangeologie und die Metallurgie verbunden:

- a. Wo befanden sich die in der Urzeit ausgebeuteten Lagerstätten und Bergwerke?
- b. Was war die Erzbasis für die Metallgewinnung? Wurden gediegene, oxidische oder sulfidische Erze abgebaut?
- c. In welchen Schritten vollzog sich die Verhüttungstechnologie? Wurden gediegene Metallvorkommen durch Hammern oder Ausschmelzen verarbeitet? Wie wurde das Metall aus oxidischen und sulfidischen Erzen erschmolzen?
- d. Wo und wann hat sich die metallurgische Entwicklung vollzogen?
- e. Woher stammt das Rohmetall, aus dem ein Metallobjekt hergestellt wurde? Wohin wurden die Metalle verhandelt?

Untersuchungen, die nur auf die archaologischen Metallfunde beschränkt bleiben, vermögen diese Fragen nicht zu lösen. Metallobjekte sind das Endglied einer Produktionskette, die von der Lagerstätte über das Bergwerk, die Verhüttung, die Werkstatt zum Fertigprodukt reicht. Die Frage nach dem Wo und Wie der einzelnen technologischen Schritte aus Metallanalysen allein zu beantworten, d.h. die Rekonstruktion der Produktionskette, muß zwangsläufig lückenhaft bleiben. Erforderlich ist die Einbeziehung der einzelnen Stationen, also der Lagerstätten, Bergwerke und Verhüttungsplätze, in die Untersuchungen. Ein solcher breiter Ansatz ist in der archaometallurgischen Forschung bisher nicht nur in Anatolien vernachlässigt worden. Aufgrund lückenhafter Überlieferung ist es nicht in jedem Fall möglich, Art, Umfang und Alter der Metallgewinnung zu bestimmen. Die Bedeutung eines archaometallurgischen Platzes läßt sich vor allem aus vergleichenden Analysen, insbesondere der Spurenelemente und der Bleiisotope, mit denen der Metallobjekte erkennen.

Im Hinblick auf die Archaometallurgie ist NW-Anatolien dadurch ausgezeichnet, daß hier verschiedene Lagerstättentypen konzentriert auftreten. Andererseits hat dieses Gebiet seit der Frühen Bronzezeit zusammen mit dem benachbarten agaischen Raum eine wichtige Rolle in der Entwicklung der Metallurgie gespielt, wie z.B. die reichen Metallfunde Trojas belegen. Man kann daher annehmen, daß die Metallvorkommen NW-Anatoliens seit rund 5000 Jahren ausgebeutet wurden.

Im Gebiet der Biga-Halbinsel haben wir im August/September 1983 in enger Zusammenarbeit mit den Dienststellen von MTA und Etibank eine große Zahl von Erzvorkommen aufsuchen und auf alte Bergbau- und Verhüttungsspuren überprüfen können. Ein Teil davon ist bereits in der Literatur erwähnt worden (Ryan, 1960; MTA No. 133, 1972; de Jesus, 1980). Einige Erzvorkommen (TG 12 bis TG 19) sind von uns auch schon im Frühjahr 1975 aufgesucht worden (Centner

et al., 1978). Neben einer möglichst vollständigen Übersicht der vorhandenen archaometallurgischen Plätze konzentrierten sich die Untersuchungen auf folgende Aspekte:

- a. Mineralogisch-chemische Zusammensetzung der Erzvorkommen
- b. Spurenelement- und Bleiisotopencharakterisierung der Erze
- c. Rekonstruktion des Verhüttungsprozesses, vor allem durch Schlackenanalysen
- d. Zeitliche Einstufung des Bergbaus und der Verhüttung.

Im Folgenden wollen wir über unsere im Sommer 1983 gemachten Geländebeobachtungen an zahlreichen archaometallurgisch interessanten Plätzen in NW-Anatolien und unsere bisherigen Untersuchungen an Erzen- und Schlackenproben berichten.

AUFGESUCHTE METALVORKOMMEN

Im August und September (1983) haben wir in NW-Anatolien ca. 75 Stellen mit vermuteten Überresten alter Bergbau- und Verhüttungsaktivitäten aufgesucht. Die meisten dieser Stellen waren uns aus den Berichten von Ryan (1960), den MTA Publikationen No. 129 (1970) und No. 133 (1972), von de Jesus (1980) - der im wesentlichen die Informationen aus den vorhergehenden MTA Publikationen wiederholt - den unveröffentlichten MTA Berichten für die Provinzen Çanakkale und Balıkesir und durch mündliche Mitteilungen von Dr. Haude, Prof. v.d. Kaaden und N. Pehlivan bekannt geworden. Weitere Stellen sind im Gelände erfragt worden. Die besuchten Lokalitäten sind in der Karte (Abb. 1) mit ihrer (TG)-Nummer eingetragen. Die wichtigsten Beobachtungen an den einzelnen Stellen sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Zum Verständnis der Tabelle sei noch erwähnt, dass benachbarte Lokalitäten durch dieselbe TG-Nummer gekennzeichnet sind, sich aber durch die auf die Nummer folgenden Grobbuchstaben unterscheiden. Bei den Angaben über das Alter des Bergbaus bedeuten «aufgelassen» (abgekürzt: aufgel.) stillgelegten Bergbau aus dem 19. und 20. Jh. und "alt" älteren, mit Schlagel und Eisen vorgetriebenen Bergbau.

GEOLOGIE UND LAGERSTÄTTEN

Das älteste geologische Bauglied der Bigahalbinsel ist das Kazdağ Kristallin. Es ist der Nordanatolischen Kristallin-Schwelle zuzuordnen (Brinkmann, 1968), einer breiten Zone kristalliner Komplexe, die sich in ganz Nordanatolien von Osten nach Westen verfolgen lässt. Das Kazdağ Kristallin, dessen Kern der Kazdağ nördlich von Edremit aufbaut, setzt sich zusammen aus Paragneisen, Marmoren und Amphibolith-Schiefern. Diese Gesteinsserie zeichnet sich durch den höchsten Metamorphosegrad auf der Bigahalbinsel aus. Das Kazdağ Kristallin wird von einer Serie von Phylliten, Grünschiefern und Marmoren (Kalabak Serie) diskordant überlagert, die einen geringeren Metamorphosegrad als das Altkristallin aufweist (v.d. Kaaden, 1956, 1959). Granodioritische Intrusionen liegen z.T. mit einem tektonischen Kontakt an ihrer Basis auf den Phylliten und Marmoren. Die metamorphen Kristallinfolgen werden diskordant von Grauwacken-Schiefersequenzen, den Orhanlar-Schichten (Brinkmann, 1966) überlagert, die ihrem Fossilinhalt nach in das Permokarbon zu stellen sind. Bei Balya folgen konkordant Kalke des mittleren und höheren Perm. Das Mesozoikum baut sich aus Konglomeraten, Silt- und Sandsteinen und gerollführenden Arkosen auf. Als Folge jüngerer submariner Intrusionen sind den jungpaläozoischen, schwachmetamorphen Schieferungen oft Spillite eingeschaltet. Tertiäre Granodioritintrusionen bauen den Eybekdağ, nördlich von Edremit auf. Dieser Granodiorit stellt einen großen Intrusivkörper auf der Bigahalbinsel dar. Die Intrusion hat am Kontakt zum Nebengestein zu einer breiten Kontaktzone geführt. Verstärkte vulkanische Tätigkeiten im Neogen bringen eine Anhäufung von Andesiten, Dazit, Tuffen und vulkanischen Lockerprodukten.

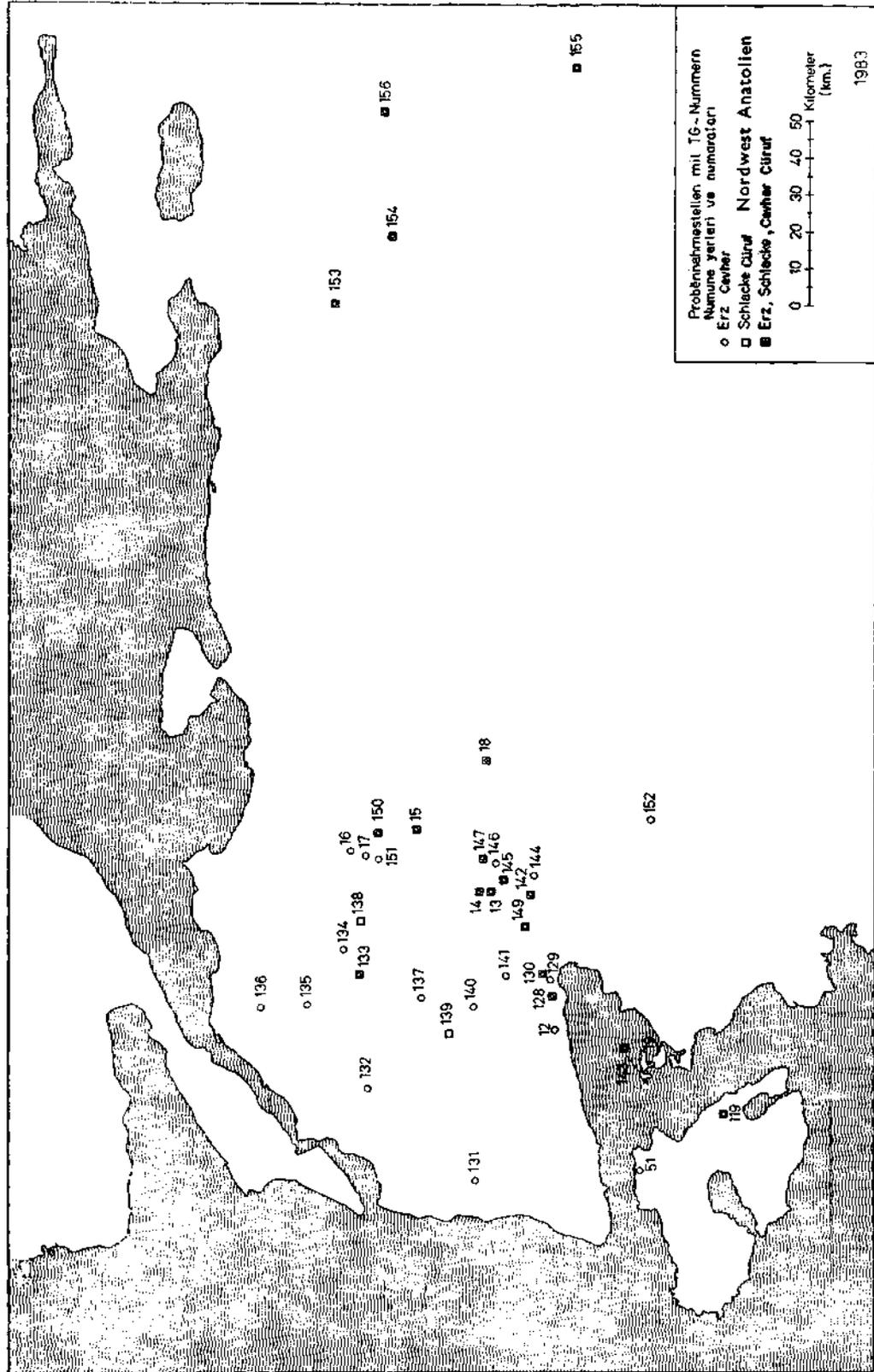


Abb. 1 - Probenahmestellen für archäometallurgische Untersuchungen in Nordwestanatolien.

Tabelle I - Aufgesuchte Metallvorkommen in NW Anatolien

	<i>Vererzung/Nebengestein/Genese</i>	<i>Bergbau</i>	<i>Verhüttung</i>
TG 12 Alınoluk/Balıkesir	Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies, Pyrit, Quarz, Calcit, Sekundäre Kupferminerale/Amphibolit-Schiefer, Marmor/hydrothermal, schichtgebunden.	mehrere aufgelassene Stollen und Schächte, alte Gruben angeschnitten (antik?, byzantinisch?) C-14: 1800±95 a BP	—
TG 13 Handeresi/Balıkesir	Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies, Quarz, Calcit, Granat, Baryt/Glimmerschiefer, Phyllit/ kontaktmetasomatisch.	betriebene Grube	Schlackenhalde, einige t
TG 14B Karaaydın Köy/Balıkesir	—	—	Schlackenhalde 500 t (byzantinische, C-14: 340±45 a BP).
TG 14C Karaaydın-Burçaktaşlı	—	—	Schlackenstreufrunde (hellenistisch)
TG 14D Karaaydın/Gavurkaçı	—	—	Schlackenstreufrunde
TG 14E Karaaydın-Bıçkıyeri	Bleiglanz, Zinkblende, Pyrit, Magnetkies, Arsenopyrit, Baryt, Limonit, sekundäre Kupferminerale/Marmor, Schiefer/Gänge und Linsen im Marmor, schichtgebunden, hydrothermal	aufgelassener Stollen, alte Gruben angeschnitten, 9 alte Mündlöcher (antik, byzantinisch)	—
TG 15 Gümböler/Çanakkale	Bleiglanz, Kupferkies, Zinkblende, Bornit, Fluorit, Pyrit, Covellin, Malachit, Azurit, Quarz/Phyllitschiefer/gangförmige Vererzung im Schiefer, hydrothermal	4 aufgelassene Stollen, 2 Schächte, 1 alter Stollen(?)	Schlackenstreufrunde im Bachbett
TG 16 Kurttaş/Çanakkale	Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies, Pyrit, Bornit/Schieferbrechie/hydrothermale Vererzung	aufgelassener Tagebau, 3 alte Stollen (?)	—
TG 17 Sofular/Çanakkale	Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies, Malachit, Azurit, Calcit/Schiefer / hydrothermale Gang im Schiefer	aufgelassener Gangabbau	—
TG 18 Balıza/Balıkesir	Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies, Fahlerz, Galmei, Realgar, Auripigment, Malachit, Azurit/Kalkstein, Dazit, Andesit/hydrothermal-metasomatisch, gangförmig, linsen-u. nestenförmig.	ausgedehnter, aufgelassener Bergbau, viele alte Gruben angeschnitten, alter Tagebau, 37 alte Schachtlöcher (prähistorisch, antik, byzantinisch, osmanisch).	Rezene Schlacken 400 000 t, 8 alte Schlackenhalden mit ca. 1500 t u. Schlackenstreufrunde östl. u. süd. Kızıl Tepe TL: 25 v.Chr. ± 175a.

Tabelle - 1

	<i>Vererzung/Nebengestein/Genese</i>	<i>Bergbau</i>	<i>Verhüttung</i>
TG 19 Alibey Adası/Balıkesir	Eisenoxide, Bleiglanz, Zinkblende, Pyrit, Dazit, Andesit, Tuff/ gangförmige Vererzung, hydrothermal	2 aufgelassene Schächte, Schürfgräben	—
TG 128A Avcılar-Horozaşı/Balıkesir	Galenit, Zinkblende, Magnetit, Kupferkies, Pyrit, Tremolit/Hornfels, Kalkstein, Granodiorit/kontakt-metasomatisch?	aufgelassener Stollen	—
TG 128 B Avcılar-Atandros Deresi	Bleiglanz, Zinkblende, Pyrit Schiefer, Marmor, Hornfels/konkordante Vererzung im Schiefer-Marmor Bereich/metasomatisch	2 aufgelassene Stollen	—
TG 128C Avcılar-Karakazandere	—	—	Schlackenhalde u. Streufunde ca. 3000 t
TG 129 Tahtaköy-Kaynarca/Balıkesir	Bornit, Kupferkies, Malachit, Hämatit, sekundäre Kupferminerale/ Hornfels/metasomatisch, Eiserne Hut-Bildung	aufgelassener, kurzer Stollen	—
TG 130A Güre Köy / Balıkesir	—	—	Schlackenhalde und Streufunde ca. 30 000 t (apok spätbyzantinisch)
TG 130B Güre-Baklaçukuru	Limonit, Hämatit, Pyrit/Kontaktgestein?/Vererzung im Eisernen Hut	Pinge	—
TG 130C Güre-Yarendede Tepesi	Limonit, Hämatit, Pyrit, Arsenopyrit/Glimmerschiefer/kontaktmah. Vererzung im Eisernen Hut	altes Stollensystem, verzweigt, ca. 20 m lang	—
TG 130D Kızılkeçili-Beyoba	Eisenoxide, Pyrit, Granat, Scheelit, Epidot, Diopsid, Quarz, Calcit/Marmor, Granat-Diopsidfels/Vererzung im Bereich Marmor-Granatfels, kontaktmetasomatisch?	altes Stollensystem, verzweigt, ca. 20 m lang	—
TG 130E Kızılkeçili-Camaltbeyin yeri	Eisenoxide, Pyrit, Granat, Scheelit, Epidot/Marmor, Granatfels, Hornfels/Vererzung im Bereich Marmor-Hornfels, metasomatisch	mehrschligiges altes Stollensystem	—
TG 131 Bergaz (Göktepeyırı)/ Çanakkale	Magnetit, Pyrit, Limonit, Bleiglanz, Zinkblende, Malachit/Andesit, Granodiorit/hydrothermale Gänge	10 aufgelassene Schächte	—

Tabelle - 1

	<i>Vererzung/Nebengesteine/Genese</i>	<i>Bergbau</i>	<i>Verhüttung</i>
TG 132A Asıya-Kablaş Tepe/ Çanak kale	Pyrit, Quarz/Schiefer, Dazit, Quarzbrekzie/hydrothermal	aufgelassener Stollen	—
TG 132B Asıya-Kartalkaya	Pyrit, gediegenes Gold, Quarz/Dazit, Tuff/ gangförmig, hydrothermal	aufgelassener Tagebau, tiefer, alter Gangabbau u. Stollen (prähistorisch, antik, byzantinisch, C-14: 2455 ± 70 a BP)	—
TG 133A Doğancılar-Bakırlık/Çanak kale	Eisenoxide, Pyrit, Malachit, Kupferkies, Bleiglanz, Zinkblende, Quarz/Dazit/Eiserner Hut in verquarzier Zone, hydrothermal	alter Tagebau, kurzer alter Stollen	Schlackenthalde 20 000 t
TG 133B Doğancılar-Küçük Burun	—	—	Schlackenthalde 36 000 t
TG 133C Doğancılar-Maralayınnı	—	fünf Stollenmundlöcher, aufgelassen	—
TG 133D Kadılar	Hämatit/Andesitporphyr/hydrothermal	—	—
TG 133E Kadılar-Söterese	Bleiglanz, Zinkblende/Gang	Schachteingang, aufgelassen	—
TG 133F Kadılar-Maden	Hämatit/Andesitporphyr/hydrothermal	—	kleine Schlackenthalde, 500t
TG 133G Doğancılar-Madenevleri	Limonit, Zinkblende, Pyrit	Schurf	—
TG 134 Kocayayla-Madeniçi/Çanak kale	Bleiglanz, Zinkblende, Pyrit, Kupferkies, Malachit, Bornit, Azurit/ Basalt, Dazit/hydrothermal vererzte Gänge	6 aufgelassene, kurze Stollen	—
TG 135 Bacılar/Çanak kale	Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies/Dazit, Tuiffe	2 Schächte, betrieben	—
TG 136 Çamyurt-Bakırlık/Çanak kale	—	—	Schlackenthalde 800 t (hellonistisch)

Tabelle - 1

	<i>Vererzung/Nebengestein/Genese</i>	<i>Bergbau</i>	<i>Verhüttung</i>
TG 137A Hacbekirler-Maden Deresi/Çanakale	Bleiglanz, Pyrit, Quarz/Andesit, Basalt/hydrothermal	kurzer, aufgelassener Stollen	—
TG 137B Hacbekirler-Suduran	Eisenoxide/verquartzter Andesit/hydrothermal	verstärkter Schacht	—
TG 138 Yuvalar-Balarbaşı Beleni/Çanakale	—	Pingen	7 große Schlackenhalde, 100 000 t (TL: 70 n.Chr. ±170 a)
TG 139 Kursunlu/Balıkesir	—	—	2 kleine Schlackenstreufrunde, 3 t
TG 140A Dağoba-Taşgöl Sirt/Çanakale	Bleiglanz, Zinkblende, Pyrit, Kupferkies, Quarz/Sericit-Schiefer, Amphibolit, Marmor/hydrothermal Erzgang	Schurf	—
TG 140B Dağoba-Harmantepe	Bleiglanz, Pyrit, Kupferkies, Quarz/Hornfels, Granatfels/Vererzung im Störungsbereich, kontaktmetasomatisch?	2 aufgelassene Schächte	—
TG 140C Dağoba-Taşgöl Sirt	Magnetit, Magnetkies, Pyrit, Arsenopyrit, Scheelit, Calcit/Marmor, Hornfels/Vererzung am Kontakt Marmor-Hornfels, metasomatisch	Tagebau	—
TG 141 Kuştepe/Çanakale	Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies, Aktinolith, Granat, Calcit/Marmor, Amphibolit-Schiefer/Vererzung am Kontakt Marmor-Schiefer, schichtgebunden, metasomatisch	aufgelassene Stollen	—
TG 142A Kozcağz-Bodur Çeşme/Balıkesir	Magnetit, Kupferkies, Bornit, Granat, Epidot, Malachit, Scheelit/Marmor, Schiefer, Granodiorit/Vererzung im Kontaktbereich, metasomatisch	aufgelassene Stollen, verschüttete Stollenmundlöcher	—
TG 142 B Kozcağz-İsmailağzı	Kupferkies, Granat, Hornblende, sekundäre Kupferminerale/Hornfels Schiefer/Vererzung im Kontaktbereich, metasomatisch	kurzer, aufgelassener Stollen	Schlackenstreufrunde, 200 t
TG 142 C Kozcağz-Katranyalığı	Magnetit, Granat, sekundäre Kupferminerale/Kontaktgestein/kontaktnah	alter Tagebau, Pingen	—

Tabelle - 1

	<i>Vererzung/Nebengestein/Genese</i>	<i>Bergbau</i>	<i>Verhüttung</i>
TG 142D Kozcağız-Kocapınar	—	—	Schlackenhalde 10 000 t (TL: 435 n.Ch. ± 130 a)
TG 142 E Kozcağız-Kazandere	Bleiglanz/Hornfels	kurzer, aufgelassener Stollen	—
TG 142F Kozcağız-Mahmudun Pınarı	Magnetit, Azurit, Malachit, Eisenoxide/Marmor, Hornfels	verschütteter Stollen	—
TG 142G Kozcağız-Somakh Çeşme	—	—	Schlackenhalde 3000 t
TG 142H Kalabak-Karaburun	Bleiglanz, Zinkblende, Pyrit, Kupferkies/Schiefer	verschütteter Stollen	—
TG142 I Kalabak-Ebeleşmesi	Bleiglanz, Pyrit, Kupferkies, Eisenoxide/Schiefer, Marmor	aufgelassener, kurzer Stollen	—
TG 143 Maden Adası/Balıkesir	Bleiglanz, Zinkblende, Pyrit, Bornit, Kupferkies, Boulangerit, Epidot, Opal, Siderit, sekundäre Kupferminerale, Eisenoxide/Dazit, Andesit, Tuff/hydrothermale Vererzung in Vulkaniten	aufgelassene Schächte, Stollen, Tagebau, alter (genuesischer) Bergbau?	wenige Streufunde
TG 144 Halılar/Balıkesir	Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies, Pyrit, Bornit, Magnetkies, Malachit, Azurit, Quarz/Schiefer, Arlossen, Granodiorit/gangförmige Vererzung, z.T. an Störungen gebunden, hydrothermal	mehrere aufgelassene Stollen und Schächte	—
TG 145 Küserlik/Balıkesir	Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies, Pyrit, Epidot, Granat, Calcit/Schiefer, Marmor, Hornfels/Vererzung im Kontakt Schiefer-Marmor, metasomatisch	2 aufgelassene Stollenmundlöcher	2 Schlackenhalden und Streufunde, 7000 t (TL: 480 n.Ch. ± 140 a)
TG 146 Bağırcaç/Çanakkale	Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies, Pyrit, Magnetkies, Malachit/Schiefer, Marmor, Hornfels/Vererzung am Kontakt Schiefer-Marmor, z.T. linsenförmig	mehrere aufgelassene Stollen	—

Tabelle - 1

	<i>Vererzung/Nebengestein/Genese</i>	<i>Bergbau</i>	<i>Verhüttung</i>
TG147 Kırşoban- Deliftaş/Çanakkale	Bleiglanz, Zinkblende, Pyrit, Kupferkies, Quarz/neogene Vulkanite /gangförmige Vererzung, hydrothermal	kurzer aufgelassener Stollen	Schlackenstreufrunde, 0,3 t
TG 148 Ahmetler-Suucü Dere	—	—	Schlackengerüll im Bach
TG 149A Yasyer- Tagebau/Bahkesir	Limonit, Hämatit, Magnetit, Pyrit, Kupferkies, Magnetkies/Sandstein, Quarzit, Schiefer/hydrothermal	großer Tagebau alte Stollen u. Schächte angeschnitten	—
TG 149B Yasyer- Dervişahmed Tepe	Eisenoxide, Pyrit, sekundäre Kupferminerale/Marmor/metamatisch mit Karstüberprägung	alter Bergbau in Karsthöhle (byzantinisch)	Schlackenstreufrunde
TG 150 Arapuçandere/Çanakkale	Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies, Pyrit, Malachit, Azurit/Arkosen, Schiefer, Grauwacken, Tuffe/gangförmig, linsenförmig, hydrothermal (antik, mittelalterlich?)	betriebener Bergbau, alte Stollen angeschnitten	Schlackenstreufrunde
TG 151 Bekten/Çanakkale	Bleiglanz, Zinkblende, Pyrit, Kupferkies, Malachit/Kalkstein/Karst	alter Bergbau in Karsthöhle (C-14: 2220±45 BP)	—
TG 152 Menteşdere/Bahkesir	Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies, Pyrit, Calcit, Quarz/Dazit/Tuffe/Vererzte Gänge und Spalten in Vulkaniten, hydrothermal	10 aufgelassene Stollen, 1 alter Stollen?, Pinge?	1 Schlackenfragment
TG 153 Madenbelcimitepe/Bursa	Bleiglanz, Zinkblende, Arsenopyrit, Pyrit, Fahlerz/Schiefer, Arkosen/Greisen	Schürfe, 2 kurze alte Stollen (osmanisch?)	2 Schlackenhalden, einige 100 t (C-14: 205±30a BP)
TG 154A Keles-Kendir Yayla/Bursa	—	—	Schlackenhalde 15 000 t (antik?)
TG 154B Keles-Yayla Kod 21	—	—	Schlackenhalde 4000 t
TG 154C Keles-Geleniç Bahçe Dere	Pyrit, Limonit, Kupferkies, Bleiglanz, Molybdänit, Malachit, Azurit/Granit, Kalkstein/Skarnvererzung	aufgelassene, verschüttete Grube alter Bergbau?	—

Tabelle - 1

	<i>Vererzung/Nebengestein/Genese</i>	<i>Bergbau</i>	<i>Verhüttung</i>
TG 154D Keles-Geleniç Mağara	Limonit, Malachit/Kalkstein	alter Bergbau in Karsthöhle (prähistorisch?)	—
TG 154E Keles-Geleniç Yayla	—	—	Schlackenhalde 1000 t
TG 155A Gümüşküy-AG2/Kütahya	Antimonit, Realgar, Pyrrargyrit, Freibergit, Silber, Proustit, Baryt, Auripigment/ver kies. Tuffe	neuer Prospektionsstollen, alte Gruben angeschnitten (prähistorisch, antik) C-14: 3700±65 a BP	—
TG 155B Gümüşküy-Tavuk Kiran Tepe	Antimonit-Oxide, Baryt/Schiefer	Kurzer, alter Stollen	—
TG 155C Gümüşküy-AG1	Bleiglanz, Zinkblende, Pyrit, Kupferkies/ver kies. Tuff	—	—
TG 155D Gümüşküy-Köy	—	—	Schlackenhalde unter dem Dorf
TG 156A Tahtaköprü-Kazmut Tepe/Bursa	Kalchosit, Bornit, Kupferkies, Covellin, Malachit/Wollastonitfels/Kontaktvererzung	aufgelassener Tagebau, alte Stollen angeschnitten C-14: 1580±35 a BP	—
TG 156B Tahtaköprü-Demirboku Dere	—	—	Schlackenhalde 10 000 t
TG 158 Assos/Çanakkale	—	—	Schlackenstreu funde

Die geologische Entwicklung der Biga-Halbinsel hat hauptsächlich zu einer Anreicherung von Pb-Zn-Vorkommen geführt. Hierbei handelt es sich jedoch meist um kleinere Vorkommen mit Ausnahme von Balya Maden, das einst die größte und bedeutendste Pb-Ag Mine der Türkei war (1880-1935). Ziel der lagerstättenkundlichen Untersuchungen ist es, einen Einblick in die genetische Entwicklung der Pb-Zn-Vorkommen auf der Biga-Halbinsel zu bekommen, die Beziehung der Vererzung zu granodioritischer Intrusivfazies und andesitisch-dazitischer Extrusivfazies darzulegen, den Einfluß großtektonischer Elemente, wie z. B. die Nordanatolische Hauptverwerfung, auf die Lagerstättenbildung zu beleuchten (Seeliger, in Vorbereitung).

Die Untersuchung des gesamten Probenmaterials beinhaltet eine Spurenelementanalytik mit der Neutronenaktivierungsanalyse, der Atomabsorptionsspektrometrie und der Röntgenfluoreszenzanalyse. Ferner werden Blei- und Schwefelisotopenuntersuchungen durchgeführt. Die Spurenelementbestimmung wird hauptsächlich an abgetrennten, monomineralischen Präparaten von Bleiglanz, Zinkblende, Pyrit und Kupferkies vorgenommen. Mikroskopische Untersuchungen schließen Auflicht- und Durchlichtmikroskopie, sowie Analysen mit dem Rasterelektronenmikroskop ein. Die Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen. Die hier vorgelegten Ergebnisse zeigen den bisherigen Stand der Untersuchungen. Im Folgenden soll an ausgewählten Beispielen der Unterschied zwischen den einzelnen Vorkommen deutlich gemacht werden.

Nordlich von *Altınoluk* befindet sich eine Pb-Zn-Grube (TG 12) in einer Serie von Amphibolit-Schiefern und Marmor, die den metamorphen Gesteinen des Kazdağ-Kristallins zuzuordnen sind. Als Haupterzminerale treten Bleiglanz, Zinkblende und Pyrit auf, untergeordnet etwas Kupferkies und Malachit. Die Vererzung ist hauptsächlich an den Kontakt Amphibolit-Schiefer-Marmor gebunden. Doch treten auch dünne Erzbandchen schichtparallel im Schiefer auf. Linsenförmige Vererzungen im Schiefer sind starker verquarzt. Das Kristallin wird von Quarzgängen diskordant durchzogen. Eine stellenweise Auslaugung der Erzgänge ist zu beobachten. Der Bleiglanz zeigt hier einen dünnen limonitischen Überzug. Geochemisch ist der Bleiglanz in der Grube Altınoluk recht einheitlich zusammengesetzt (s. Tab. 4). Die Vererzung ist auf eine Zufuhr hydrothormaler Lösungen zurückzuführen, wobei die zeitliche Einordnung des Vorganges schwierig ist, jedoch scheint es sich hierbei um Vererzung am ältesten Nebengestein auf der Biga-Halbinsel zu handeln.

**Tabelle 2 - Goldgehalte in Erzen von Astrya (TG 132 B)
und Kızılkeçili (TG 130)**

<i>Probe</i>	<i>Au (g/t)</i>
TG 132 B-2	0.62
TG 132 B-4	8.1
TG 132 B-7	1.1
TG 132 B-9	4.6
TG 132 B-14	12.1
TG 130 C-2	0.10
TG 130 D-1	0.023
TG 130 D-3	0.027
TG 130 E-3	0.014
TG 130 E-5	0.024

Tabelle 3 - Zinngehalte in Erzen von Madenbelenitepe (TG 153)

Probe	Sn (%)
TG 153 B-2.1	0.96
TG 153 B-2.2	0.22
TG 153 D-1	< 0.05
TG 153 E-1.1	0.26
TG 153 E-1.2	0.15
TG 153 F-1	0.17
TG 153 F-2	0.09

Tabelle 4 - Spurenelementgehalte in Bleiglanzen aus verschiedenen Vorkommen in der Troas (alle Angaben in g/t)

Probe	Lokalität	Cu	Zn	As	Se	Ag	Sb	Au	Bi
TG 12 C-4	Altınoluk	126	< 50	< 0.01	—	366	139	0.19	< 1
TG D-2	Altınoluk	2 900	—	1.8	—	220	138	0.4	< 1
TG 12 D-1	Altınoluk	2 000	—	< 1.5	—	383	203	0.4	< 1
TG 12 D-7	Altınoluk	657.0	~ 1 000	< 1	—	255.0	157	0.08	< 1
TG 12 D-1-1	Altınoluk	1 950	—	< 1.4	—	404	156	0.62	< 1
TG 18 D-2	Balya	66.3	7 000	1 000	—	1 340	1 640	1.05	9.6
TG 18 E	Balya	754	13 000	545	—	1 190	1 800	0.08	111
TG 18 D-1	Balya	246	12 000	6.2	—	1 360	655	1.9	11.7
TG 18 E-1	Balya	690	4 300	336	—	1 400	1 250	—	726
TG 48 A-3	Samos/Zestor	73.0	—	15.7	—	933	504	< 0.04	9.1
TG 50 B-2-1	Samos/Drakei	4 500	—	18.8	60	883	1 600	< 0.08	75
TG 51	Lesbos	356	—	1.7	—	339	278	< 0.03	< 1
TG 134 A-1	Kocayayla'	396	3 650	27.7	—	133	52	0.12	3.8
TG 142 H-1	Kozcağız	195	29 000	0.23	—	2 180	1 255	< 0.05	10.2
TG 143 B-2	Maden adası	480	6 150	29.1	89	993	1 030	< 0.05	24
TG 144 D-1	Hahlar	80.8	—	< 0.3	68	643	600	0.25	201
TG 146 A-1	Bağırkaç	76.3	3 300	< 1.7	85	245	210	< 0.03	4.5
TG 147 A-1	Kıraçoba	700	4 600	7.94	59	560	522	< 0.04	196
TG 150 A-1	Arapuçandere	390	1 300	< 0.03	—	600	215	0.09	267
TG 151 -1	Bekten	275	1 350	~ 0.1	—	2 140	12.8	< 0.02	4 040
TG 152-1	Menteşdere	—	—	< 0.95	12.5	162	83.9	0.08	146
TG 155 C	Gümüşköy	51.3	< 71.0	4.85	n. b.	1 235	1 090	< 0.05	3.5
TG 157 A-3	Chios	740	2 400	8.3	60	951	1 450	< 0.08	1.3

Eine geologisch ähnliche Situation bietet die Lagerstätte *Kuştepe* (TG 141). In einer Amphibolit-Schiefer-Marmor-Serie tritt am Kontakt Marmor-Schiefer konkordant eine Vererzung von hauptsächlich Bleiglanz und Zinkblende auf. Auch hier sind im Schiefer schichtparallel vererzte Bereiche zu beobachten, die manchmal linsenförmig ausdünnen. Jedoch fehlen die für eine reine hydrothermale Entstehung charakteristischen Merkmale, so daß die Erzbildung als metasomatisch angesehen wird. Zwischen Avclar und Güre haben Granodioritintrusionen zur Bildung einer Kontaktzone geführt. Es sind diopsidführende Granatfelse und Hornfelse entstanden. Die Intrusion hat bei Kızılkeçili zu einer unbedeutenden Scheelitvererzung geführt. Magnetit und Pyrit sind hier Begleitminerale. Das Eindringen neogener Dazite in den Granodiorit hat bei *Avclar* (TG 128) die Bildung kleiner Pb-Zn-Vorkommen hervorgerufen. Dünne vererzte Bandchen bis max. 10 cm führen Bleiglanz, Zinkblende und Pyrit, untergeordnet etwas Kupferkies und Bornit.

Ausgedehnte vulkanische Tätigkeiten im Neogen haben auf der Biga-Halbinsel vielerorts eine Pb-Zn-Mineralisation mit sich gebracht. Über die Insel *Maden Adası* (TG 143) sind mehrere solcher Vorkommen verstreut. Die Förderung hauptsächlich andesitischer und dazitischer Extrusiva hat hier zur Erzbildung geführt. Die wichtigsten Erzminerale sind: Bleiglanz, Zinkblende, Pyrit, Kupferkies, Bornit, untergeordnet sekundäre Kupferminerale.

Die Lagerstätte *Bekten* (TG 151) unterscheidet sich grundlegend von den bisher erwähnten Typen. Hier sind blaugraue, feinkörnige Kalke vererzt mit Bleiglanz, Zinkblende, Pyrit, untergeordnet Kupferkies und Malachit. Das Vorkommen befindet sich in einer Karsthöhle. Das Erz zeigt einen rhythmischen Aufbau in kalkiger Matrix. Die genetische Entstehung wird als Karstbildung gedeutet. Geochemisch zeigt hier der Bleiglanz auffallend hohe Bi-Werte und geringe As-, Sb-Konzentrationen.

Die bedeutendste Lagerstätte der Biga-Halbinsel ist *Balya Maden* (TG 18). Hier stehen permotriassische Kalksteine, Sandsteine, Tonsteine und Arkosen im Kontakt zu mesozoischen Daziten. Neogener Vulkanismus förderte erneut Dazite und Rhyolite und hat wesentlich zu einer hydrothermal-metasomatischen Vererzung beigetragen. Die neuerdings näher untersuchten Erzminerale sind Bi-Sb-As-Sulfosalze (in einer bestimmten Reihenfolge), Ag-Mineralien, gediegenes Gold, Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies, Fahlerze, Bournonit, Auripigment, Realgar und sekundäre Minerale. Der Bleiglanz zeigt sich geochemisch recht unterschiedlich. Die As-Gehalte sind stark schwankend. Die Au-Gehalte erreichen Werte bis 1,9 ppm. Diese Analysen bestätigen die bereits beschriebene Mehrphasigkeit (Öztunalı, 1984) bei der Erzbildung. Jedoch ergeben Bleiisotopenmessungen an Bleiglanzen der Grube Balya einheitliche Werte. Eine genetische Interpretation der Vererzung von Balya Maden wird zu einem späteren Zeitpunkt vorgenommen.

BEOBSACHTUNGEN ZUM FRÜHEN BERGBAU

Wie aus der Zusammenstellung in Tab. 1 ersichtlich ist, sind an vielen Erzvorkommen Nordwestanatoliens Spuren aufgelassenen Bergbaus noch vorhanden. Die wichtigsten davon, insbesondere solche mit frühem Bergbau, an denen zusätzlich auch Schlacken vorkommen, sollen hier kurz beschrieben werden.

Altınoluk (TG 12). — Der Bergbaudistrikt von Altınoluk liegt ca. 2 km nordwestlich vom gleichnamigen Dorf. Er wird erreicht von Doyran über die Forststraße hangaufwärts. Drei Stollenmundlöcher, eine Erzhalde, Gebäude und Gleisreste sind die Überreste des hier vor wenigen Jahren aufgegebenen Abbaus auf Blei. Während des rezenten Bergbaus wurden zahlreiche alte Kriechstrecken angefahren. Eine davon ist im südlichsten der drei Stollenmundlöcher (TG 12c) nach 7 m verstürzt an der linken Stollenwand angeschnitten. Diese alte Strecke verläuft Nord-Süd, besitzt rechteckigen Querschnitt mit 0,6-1,0 m Breite und bis 1,5 m Höhe und ist nach 10 m verstürzt. An den Werkzeugspuren erkennt man, daß sie vom verstürzten Ende entlang des Kontaktes Amphibolit/Schiefer vorgetrieben wurde. Am Kontakt sind in der Vererzung (Bleiglanz) Abbaunischen angelegt. Diese Strecke setzt sich in einer tieferen Sohle des rezenten Abbaus fort. Ein ausgedehntes altes Grubensystem erreicht man durch die südliche Querstrecke des Hauptstollens. Es besteht aus mehreren verwinkelten Kriechstrecken mit dicker Kalkversinterung. Es wurde über 50 m weit begangen. An einer Ortsbrust wurde Holzkohle unter dem Sinter der Sohle gefunden (Abb. 2). Bezüglich des Alters des Abbaus von Altınoluk belegen die rechteckigen Streckenquerschnitte und ein C-14 Alter von 1800±95 a BP an Holzkohle (HD 8847-8817) antiken Abbau, der durch mindestens eine spätere Phase (byzantinisch?) überprägt ist. Wegen der niedrigen Silbergehalte im Bleiglanz muß der frühe Abbau auf Blei gerichtet gewesen sein. Schlacken wurden in der Umgebung des Bergwerkes trotz intensiver Suche nicht gefunden. Die Befragung eines ehemaligen Steigers nach solchen Vorkommen war ebenfalls ergebnislos.



Abb. 2 - Altınoluk, Ortsbrust einer alten Strecke, stark versintert
(Maßstab 50 cm).

Balya (TG 18). — Balya ist der größte Erzbergwerksdistrikt in Nordwestanatolien. Hier wurden zwischen 1880 und 1935 etwa 400 000 t Blei, 1000 t Silber und 3 t Gold gewonnen (MAT No. 133, 1972). In jener Zeit wurde ein ausgedehntes Grubennetz angelegt. Die bis zu 300 m tiefen Gruben sind größtenteils erschaffen. Schlackenhalde von 400 000 t und verfallene Werksanlagen zeugen von dieser Blütezeit Balyas. Aber auch Spuren früherer Metallgewinnung sind hier unübersehbar. Wiegand (1904) vermutet im heutigen Balya den antiken Bergwerksort Pericharaxis. Er berichtet von groben Schlackenhalde, zahlreichen alten Stollen und stellt aufgrund von Münzfunden die Hauptepeche des Abbaus in das 2. und 1. vorchr. Jahrhundert. Ryan (1959) vermutet sogar, daß das trojanische Blei aus Balya kam. Alte Gruben sind auch heute noch zahlreich vorhanden. Im Stollen Sarsu, der fast unter die Stadt Balya reicht, gelangt man nach 1500 m in einen groben ausgesprengten Dom, in dem alte Gruben angefahren sind, darunter einen äußerst präzise gehauenen Schacht (0,9 X 1,9 m und ca. 7 m hoch), eine Strecke (0,6 m breit und 0,9 m hoch) und ein ca. 20 m hoher gangförmiger Abbau. Diese alten Gruben, die aufgrund ihrer regelmäßigen Querschnitte wahrscheinlich in die griechisch-römische Antike zu datieren sind, liegen ca. 50 m untertage. Im Stollen Melisse,

der in den Hang des Kızıl Tepe vorgetrieben ist, gelangt man ca. 200 m in ein unregelmäßiges altes Grubensystem. Neben dom- und gangartigen Weitungen finden sich auch rechteckig gehauene Strecken (Abb. 3). Verschiedene Typen von Abbauspuren sind erhalten. Hier sind neben der antiken auch ältere, prähistorische und jüngere, wahrscheinlich byzantinische Abbauphasen zu vermuten. Weiter oberhalb, im Kalk am Südhang des Kızıl Tepe, wurden 37 alte Stollenmundlöcher gezählt. Außerdem befinden sich hier gangartig in Winkeln zueinander angelegte Tagebaue und Pingen (Abb. 4). An den Tagebauwänden sind wiederum ältere Gruben angeschnitten, die z.T. korkenzieherartig in den Kalk vorgetrieben sind (Abb. 5). Interessant ist, daß sich die alten Gruben zum Kontakt gegen den Dazit häufen.

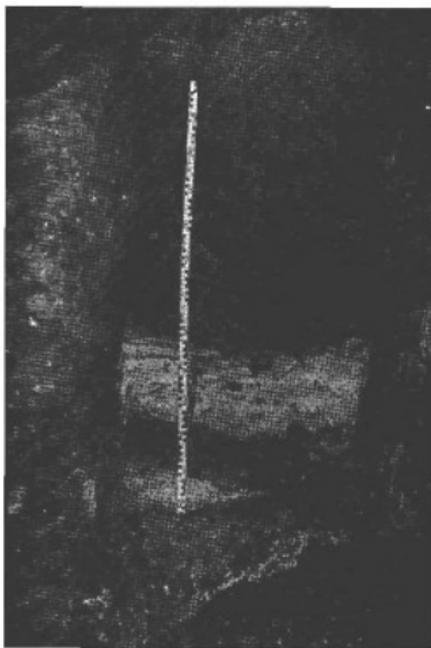


Abb. 3 = Balya-Melisse, antike Strecke, rechteckig gehauen, z.T. mit Sediment verfüllt.

Die zahlreichen Bergbaureste aus verschiedenen Epochen belegen, daß Balya seit prähistorischer Zeit ein außerordentlich bedeutendes Rohstoffzentrum für Silber und Blei gewesen sein muß. Mehrere Vorkommen alter Schlacken in der näheren Umgebung, besonders im Tal von Bahçeler, östlich des Kızıl Tepe, stützen diesen Schluß. Ein Keramikscherben, der am N-Hang des Acık Tepe gefunden wurde, ergab ein TL-Alter von 25 v. Chr.+175a (K420, kombiniertes Feinkorn- und Quarzeinschlushalter).



Abb. 4 - Balya-Kizil Tepe, Tagebaue und Pingen.



Abb. 5 - Balya-Kizil Tepe, prähistorische Grube an Tagebauwand angeschnitten.

Astyra (TG 132).— In der Nähe des antiken Ortes Astyra liegen die beiden Gruben Kaletaş und Kartalkaya. Man erreicht sie über einen Forstweg, der von der Strabe Çanakale-Çan bei Çiftlikdere nach Süden abzweigt, Kaletaş nach 5 km von der Abzweigung in 300 m Höhe und Kartalkaya nach 10 km in 400 m Höhe. Bei Strabo (Buch XIII und XIV) wird Astyn in Zusammenhang mit Troja als Goldbergwerk genannt. Aufgrund dieser Angaben wurden hier im 19. Jahrhundert die alten Gruben von Calverl wieder geöffnet. Am Anfang des 20. Jahrhundert wurde der Goldbergbau wieder eingestellt. In Kaletaş wurden außer den Stollen, Erzhalden und Gebäuderesten der rezenten Aktivitäten keine früheren Bergbauspuren festgestellt. Auch in den verldeselten Dazituffen des Bergrückens Kartalkaya zeugen ein großer Tagebau (Abb. 6) und eine tiefe Untertagegrube vom Bergbau der Jahrhundertwende. Daneben finden sich hier auch zahlreiche Spuren früherer Aktivitäten: Abbaunischen mit Arbeitsspuren an der Tagebauwand und im Untertagebau, ein antiker Stollen mit rechteckigem Querschnitt 0.70-0.85 m breit und 1,0 m hoch. Der gangförmige Untertagebau (Abb. 7) mit mehr als 50 m Tiefe geht wahrscheinlich im wesentlichen aufantiken Bergbau zurück. Die hier abgebaute Goldmenge wird auf einige Hundert kg geschätzt. Ein C-14 Alter von 2455±70 a BP (HD 8347-8459) an Holzkohle aus Sohlenhaufwerk stellt den Untertagebau mindestens in archaisch/klassische Zeit. In Kartalkaya ist möglicherweise auch in prähistorischer, mit Sicherheit aber in byzantinischer Zeit Gold abgebaut worden.

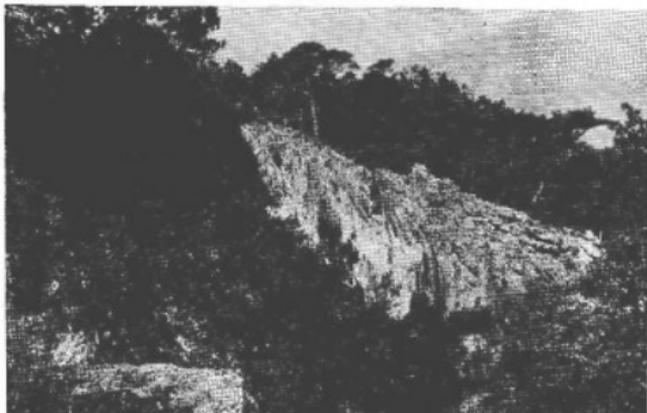


Abb. 6 - Astyra-Kartalkaya, Tagebau.

Doğancılar (TG 133).— Doğancılar erreicht man von der Strabe Çanakale-Çan. Das Bergbauebiet liegt ca. 7 km nördlich vom Dorf am Bakırlık. Hier befinden sich am Hang (500-560 m Höhe) ausgedehnte Erzhalden. An Bergbauspuren wurde neben einem kurzen Kriechstollen (Abb. 5) ein etwa 300 m langer Pingenzug am oberen Rand einer Erzhalde beobachtet. Weiter hangwärts in 450-510 m Höhe und 2 km weiter westlich befinden sich große Schlackenhalden, die insgesamt auf 50 000 t geschätzt werden. Das Alter dieses bedeutenden Kupfergewinnungsplatzes muß vorläufig noch offen bleiben.

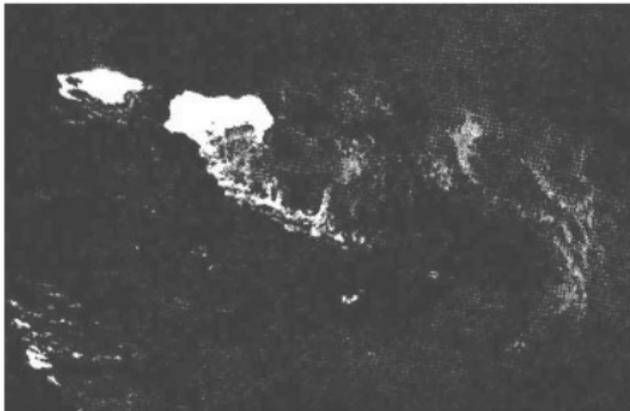


Abb. 7 - Astyra-Karalkaya, alter Gangabbau auf Gold.



Abb. 8 - Doğançılar-Bakırık, altes Stollenmundloch.

Kozcağız (TG 142). — In einem mehrere Quadratkilometer großen Gebiet auf der Hochebene nördlich und nordwestlich des Dorfes Kozcağız (Fazlica) gibt es zahlreiche Überreste aufgelassenen Bergbaus und Schlackenvorkommen. Man erreicht das Dorf von der Fahrstraße Havran-Kalkım aus. Verstürzte Stollen und Erzhalde gibt es bei Bodur Çeşme, İsmailağzı Kazandere, Kalabak und Mahmudun Pınarı, grobe Fingen mit mehr als 20 m Durchmesser bei Katranyalağı und Schlackenvorkommen von insgesamt einigen Tausend Tonnen bei Kocapınar (Abb. 9). Somaklı Çeşme und İsmailağzı. Die gemeinsamen Vorkommen von Bergbau- und Verhüttungsspuren sprechen für bedeutende Kupfergewinnung in dieser Gegend. Eine Thermolumineszenzdatierung an Ofenkeramik aus dem größten Schlackenvorkommen von Kocapınar ergab 480 n. Chr. + 140 a (Abb. 10).



Abb. 9 – Kozcağız-Kocapınar, alte Schlackenhalde.

Küserlik (TG 145). - Das Gebiet von Küserlik liegt an der Stelle, an der die Fahrstraße Havran-Kalkım das Handere Tal erreicht. Es erstreckt sich ca. 500 m talaufwärts. Im Talgrund wurden zwei Schlackenvorkommen mit insgesamt ca. 10 000 t, zwei verschüttete Mundlöcher und zwei Erzhalde beobachtet. Diese kleine Bleigewinnungsstelle ist aufgrund einer TL-Datierung (Ofenkeramik aus westlichem Schlackenvorkommen: 435 n. Chr. + 130 a) in die spätromische, frühbyzantinische Epoche zu stellen.

Bekten (TG 151). — Das Dorf liegt 7 km nördlich Yenice. Die Gruben liegen ca. 2 km südöstlich des Dorfes in 500 m Höhe auf einem dichtbewaideten Hang. Durch ein 2 m tiefes Schachtloch gelangt man in eine Karsthöhle, die an den Wänden Vererzungen trägt. Künstliche Durchschläge zwischen den Höhlenräumen, gehauene Strecken, Abbaunischen mit guterhaltenen Gezähspuren und Gesteinsersatz sind vorhanden. Die Überreste ehemaliger Bergbauaktivitäten sind dick vereintert (Abb. 11). Das hohe Aller wird auch durch eine C-14 Datierung an Holzkohle, die unter der Sinterkruste aus dem Ersatz entnommen wurde, belegt. Das Alter von 2220;M5 a BP (HD 8279-8457) spricht für hellenistische Blei-Silbergewinnung.

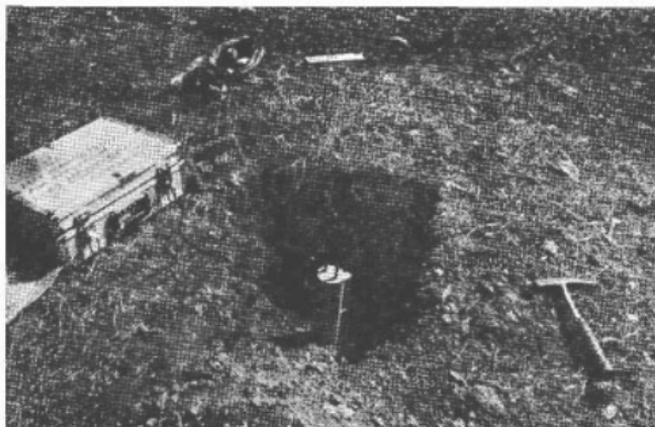


Abb. 10 - Kozcağz-Kocapınar, Dosisleistungsmessung für Thermolumineszenzdatierung.

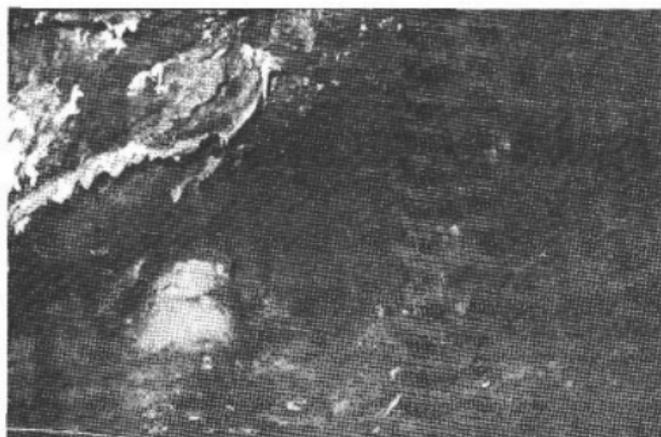


Abb. 11 - Bekten, alte Grube, unregelmäßiger Querschnitt, stark versinter.

Soğukpınar-Madenbelenitepe (TG 153).— Madenbeleni tepe liegt südlich des Ulu Dağ Massivs, 3 km westlich der Abzweigung Bağlı von der Straße Bursa-Soğukpınar. An dieser Stelle wurden kürzlich Zinnkies vorkommen beschrieben (Çağatay et al., 1980). Kaptan (1983) vermutete hier eine Rohstoffquelle für die frühe Bronzeherstellung Nordwestanatioliens. Am Nordhang der

Verebnungsfläche des Madenbelenitepe, zum Handere Tal hin, wurden zwei Schlackenvorkommen von insgesamt einigen Hundert Tonnen, zwei Schrägschächte und mehrere Erzhalden beobachtet. Abbildung 12 zeigt einen der ca. 10 m langen Schrägstollen (JTG 153 C), der im unteren Teil runde Querschnitt und vierkantige Gezähspuren aufweist. Die zweite Grube (TG 153 F) ist von ähnlicher Größe, unregelmäßiger Form und zeigt keine Gezähspuren. In den Schlacken des oberen Vorkommens (TG 153 A) kommen häufig Holzkohlebrocken vor, die ein C-14 Alter von 205+30 a BP (HD 8348-8458) ergaben. Aufgrund unserer Erz- und Schlackenanalysen und der Datierung muß die Deutung dieses Vorkommens als frühe Kupfer-Zinn-Gewinnungsstätte skeptisch beurteilt werden. Sie sprechen eher für osmanische Silbergewinnung des 17. Jahrhunderts.



Abb. 12 - Madenbelenitepe, Ortsbrust eines Schrägstollens, runder Querschnitt
(Maßstab 50 cm).

Gümüšköy (TG 155). — Dieser Bergbaudistrikt liegt sw des Dorfes, unweit Köprüören westlich von Kütahya. Er wurde kürzlich von Demirok (1982) beschrieben, der auch ein C-14 Alter von 3900 a an Holzkohle aus einer alten Grube erwähnt. An derselben Stelle wurde erneut eine Holzkohleprobe genommen, die ein C-14 Alter von 3700+65 a BP (HD 8845-8808) ergab. Auf einem Gebiet von mehreren Quadratkilometern liegen hier riesige Abraumhalden (Abb. 13) mit Überresten von Gebäuden, Gefäßkeramikscherben und Erzaufbereitungsgeräten (Mühlen, läufersteine, Armbofsteine, Klopisteine) (Abb. 14). Bei rezenten Prospektionsarbeiten wurden am N-Hang des Aktepe alte Galerien 36 m unterläge angetroffen, aus denen die Holzkohleproben stammen. Am Tavuk Kıran Tepe wurde ein 3 m langer alter Stollen beobachtet. Das Dorf Gümüšköy ist auf Schlacken gebaut. Eine Mengenabschätzung dafür konnte nicht durchgeführt werden. Aufgrund der Funde, der C-14 Datierung und der groben Ausdehnung dieses Distrikts ist es sehr wahrscheinlich, daß Gümüšköy während der Frühen Bronzezeit und in der Antike ein außerordentlich wichtiges Zentrum der Silber-Blei-Gewinnung war, das noch eingehender archäometallurgischer Bearbeitung bedarf.

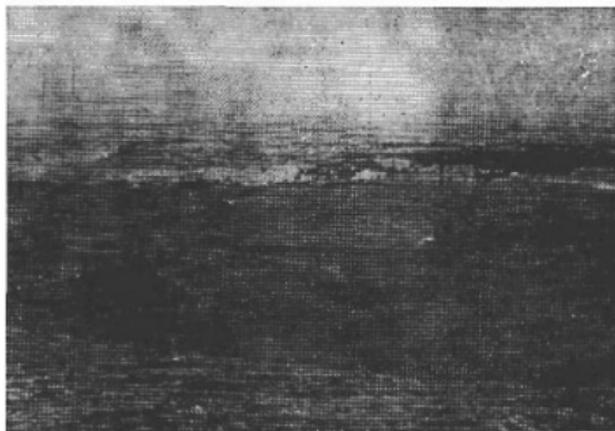


Abb. 13 - Gümaşköy, alte Halden.

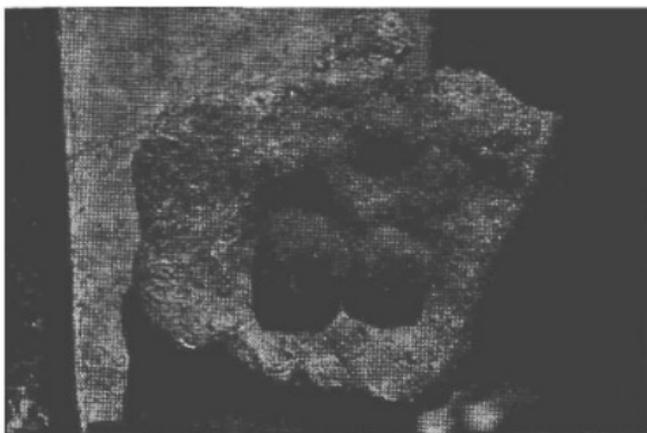


Abb. 14 - Gümaşköy, Steinamböß und Klopfsleine zur Erzzufbereitung.

Tahtaköprü (TG 156). — Dieses Vorkommen befindet sich ca. 5 km nordwestlich vom Pab Kocayaylar, der südlich von Tahtaköprü an der Strabe İnegöl-Tavşanlı liegt. In einem rezenten, auf Wollastonitabbau angelegten Tagebau sind mehrere alte Strecken und Schächte aufgesprengt worden (Abb. 15), die Chalkosinadern im Wollastonit folgen. Auf den Sohlen und Wänden der alten Strecken ist Versatz festgesintert, der sehr häufig Holzkohlebrocken enthält (Abb. 16). Wahrscheinlich mußte der außerordentlich zähe und harte Wollastonitfels im Altertum durch Feuer setzen zermürbt werden, wobei viel Holzkohle angefallen ist. Hangabwärts im Demirboku Dere ist vom Bach eine Schlackenhalde von ca. 10 000 t mit sekundären Kupferkarbonataushlühungen angeschnitten. Die C-14 Datierung der versinterten Holzkohle ergab 1580+35 a BP (HD 8844-8816).

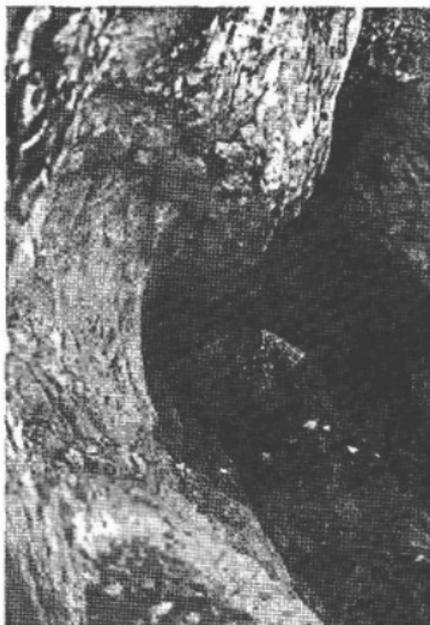


Abb. 15 – Tahtaköprü-Kazımtepe, aufgesprengte alte Strecke.

BEOBACHTUNGEN ZUR VERHÜTTUNG

Schlacken sind-da sie als unbrauchbarer Abfall weggeworfen werden-oft die einzig übriggebliebenen Anzeiger von ehemaligen metallurgischen Prozessen. Um diese frühe Metallurgie zu studieren, haben wir von 42 Plätzen, meistens von ausgedehnten Halden, Schlackenproben gesammelt. Die Untersuchung dieser Proben zeigte, daß an den Orten Avçılar, Doğancılar, Çamyurt, Yuvalar, Kozcağız, Keleş und Tahtaköprü Kupfer, an den Orten Karaaydın (14D), Balya Maden, Güreköy, Arapucandere, Madenbelenitepe und Gümüşköy Blei, sowie an den Orten Karaaydın (14 D) und Küserlik (145 C) Eisen verhüttet wurde.

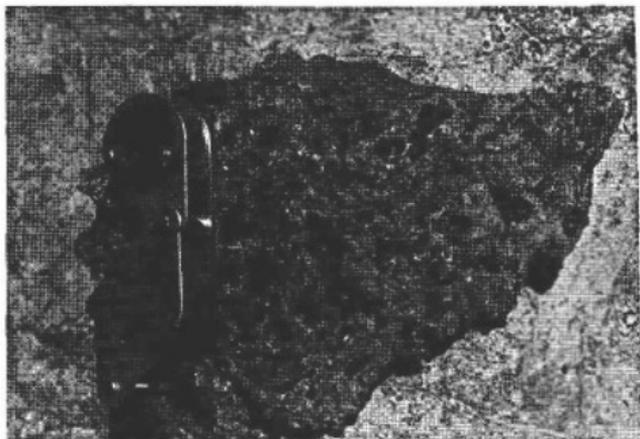


Abb. 16 - Tahtaköprü-Kazmutepe, versinterter Versatz mit Holzkohle.

Die Kupferschlacken sind überwiegend fayalitisch und nur in geringem Maße glasig. Sie sind mehr klumpig als plattig, und oft stark blasig ausgebildet. Beim Vorhandensein von rötlichen metallischen Kupferkügelchen sind sie in dem Gelände leicht zu erkennen. Malachitüberzüge sind dagegen kein eindeutiger Beweis für Kupferverhüttung, da diese auch bei geringen Kupferspuren entstehen können. Das Vorkommen von Kupferstein in der Schlacke ist ein Indiz für die Verhüttung sulfidischer Kupfererze. Zwar kommen immer wieder die oxidisch-karbonatischen Kupfererze Malachit und Azurit vor, doch sind sie Produkte der Verwitterung. Aufgrund der gefundenen Erzbuchstücke auf den Schlackenplätzen und auf den nahegelegenen Erzhalde kommen in erster Linie Kupferkies (Avcılar, Doğançılar, Yuvalar, Keleş, Tahtaköprü), daneben Bornit (Avcılar) und Chalkosin (Tahtaköprü) als Ausgangserz in Betracht. Wegen des hohen Schwefelgehaltes (35%) des Kupferkieses ist, um Kupfer anzureichern und Schwefel abzureichern, eine Röstung erforderlich (Fabian, 1978). Vom anschließenden Schmelzvorgang bleiben Reste vom Kupferstein, in dem sich Kupfer- und Eisensulfide, wie Chalkosin, Neudigmet, Bornit, Kupferkies und Magnetkies bilden (Çamyurt, Yuvalar, Kozcağız: siehe Abb. 17, Tahtaköprü), in den Schlacken erhalten. Die Steinbildung läuft bei 1050-1200 °C ab, d.h. bei Temperaturen, die in den frühen Schmelzöfen mit Blasebalgbelüftung erreicht werden konnten (Bachmann, 1982). Das Vorhandensein von Kuprit (Cu_2O) im Kupferstein zeigt, daß die Reaktion der Kupferstein-Bildung ($\text{Cu}_2\text{O} + \text{FeS} \rightarrow \text{Cu}_2\text{S} + \text{FeO}$) nicht immer vollständig in der gewünschten Richtung von links nach rechts abließ, denn Kupferoxid hat sich oft aus Kupfersulfid rückgebildet (Çamyurt, Yuvalar: siehe Abb. 18, Kozcağız). Gleichzeitig mit dem Stein bildete sich aus den Silikaten und aus dem überschüssigen Eisen die Schlacke, die sich bald, aufgrund der Dichteunterschiede, von der sulfidischen Schmelze trennte. Mit der Zeit reicherte sich die sulfidische Schmelze mit Kupfer an, das sich tröpfchenförmig abschied. Stationen dieses Prozesses der Abreicherung von Eisen und Anreicherung von Kupfer in der sulfidischen Schmelze lassen sich in den Kupfersteineinschlüssen der Schlacken erkennen. Schlacken vom Çamyurt, Yuvalar, Kozcağız und Tahtaköprü enthalten eisenreichen Kupferstein mit mehr oder weniger reichen Anteilen von Magnetkies. Der Stein in der Schlacke von Doğançılar ist angereichert mit Kupfer, enthält keinen Magnetkies mehr, nur Chalkosin und metallisches Kupfer, und schließlich der Kupferstein der Schlacke vor. Avcılar nur noch metallische Kupferkügelchen.

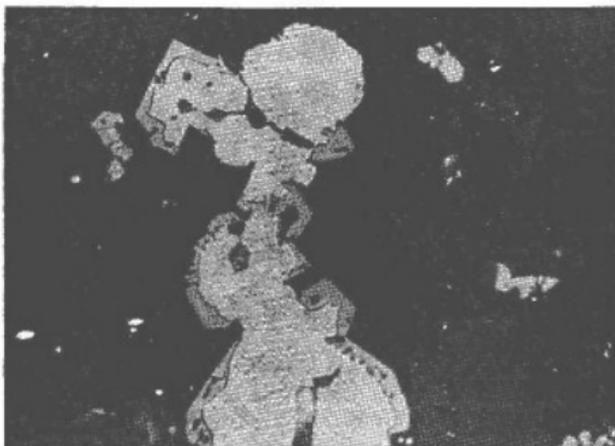


Abb. 17 - Kozcağız: TG142 G-1, Magnetitumwachsener (hellgrau) Kupferstein (Magnetkies, weiß und Neodigenit, hellgraues Muster) in der Fayalitschlacke (dunkelgrau), Bildbreite 0,125 mm.

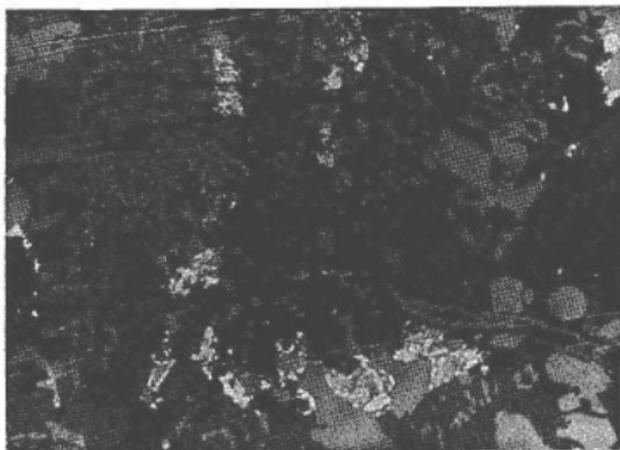


Abb. 18 - Yuvalar: TG138 A-4, Kuprit-Ader und Kupferstein-Reste (Kupferglanz, grau und Magnetkies, weiß und Covellin) in der magnetitreichen (hellgrau) Schlacke (dunkelgrau), Bildbreite 0,275 mm.

Um den Schmelzpunkt der Erze herabzusetzen und die Viskosität der Schlacke günstig zu beeinflussen (CaO z.B. senkt die Viskosität), setzt man der Ofentüllung (=Charge) einen Zuschlag zu. Dafür werden Gangmittel der Erze, wie Quarzit (Çamyurt) oder nahe dem Schmelzplatz anstehendes Nebengestein, wie Kalkstein (Avcılar, Yuvalar, Tahtaköprü) oder Granodiorit (Kozcağız), bzw. nahe anstehende Eisenerze wie Hämatit (Doğançılar), Limonit (Yuvalar) verwendet. Dementsprechend wurden die Schlacken beim vorwiegend eisenreichen Zuschlag magnetitreich (Yuvalar), beim Kalkzuschlag pyroxenhaltig (Avcılar, Yuvalar, Tahtaköprü) oder beim quarzhaltigen Zuschlag fayalitreich (Çamyurt, Kozcağız).

Die ca. 7-10 kg schweren «Schlackenkuchen» sprechen für öfen von geringerem Fassungsvermögen (Yuvalar, Kozcağız). Als Ofenwandmaterial wurden Tone und Gesteinsbruchstücke der direkten Umgebung verwendet (Avcılar, Doğançılar, Çamyurt, Yuvalar, Kozcağız). Als Brennstoff und Reduktionsmittel diente Holzkohle, wie zahlreiche Einschlüsse in Schlacken belegen.

Die Bleischlacken sind, ähnlich den Kupferschlacken, auch mehr fayalitisch als glasig, doch im Unterschied zu jenen öfter als Platten ausgebildet. Sie sind oft reich an Blasen, können mit Bleiweiß überzogen sein, oder in den Hohlräumen sekundär gebildete Cernsit-Nadeln enthalten.

Das Blei wurde vorwiegend aus Bleiglanz (fast immer Zinkblende führend) gewonnen, doch weist das Vorkommen von Speis (Balya Maden, Güreköy, Madenbelenitepe) auch auf die Verwendung As- und Sb-haltiger Erze hin. Die beobachteten Blei-, Kupfer- und Eisen-Sulfide der Schlacke von Madenbelenitepe sind Reste eines sog. «Bleisteins» (s. Abb. 19), der durch die Verhüttung hochschwefelhaltiger Erze entstand. Das Rösten des Bleiglanzes ist wegen seines relativ niedrigen Schwefelgehaltes (24%) nicht unbedingt erforderlich. Vermutlich wurden die Erze von Balya Maden und Güreköy, die Speis-Stücke in beträchtlicher Anzahl lieferten, auch nicht geröstet, da bei der Rostreaktion die leichtflüchtigen As- und Sb-Mineralien weitgehend verschwunden wären. Nach Tylecote (1962) wird im obersten Teil eines Blei-Schmelzofens in der oxidierenden Atmosphäre Bleisulfid zu Bleioxid umgewandelt und reagiert mit dem darunterliegenden Bleisulfid zu metallischem Blei, wobei Schwefeloxid frei wird. Die meisten Schlacken enthalten reichlich metallische Bleitropfen, die nach Bachmann (1977) auf die rasch hintereinander folgenden Abstiche, die das Abseigern des Bleis verhinderten, hinweisen. Als Zuschlag wurden Kalkstein und Marmor (Balya Maden, Güreköy), granitische Gesteine (Karaaydın, Balya Maden), Andesit (Arapuçandere), Quarzit (Güreköy, Madenbelenitepe, Arapuçandere), Eisenoxide (Madenbelenitepe, Gümüşköy) und Manganoxide (Madenbelenitepe) verwendet.



Abb. 19 - Madenbelenitepe: TG153 B-1.2, Bleistein (Chalkosin, dunkelgrau und Magnetkies, hellgrau und Magnetit, mittelgrau), Speis (Arsenoferrit, hellgrau und Magnetkies) und Bleikügelchen (metall. Blei, schwarz und metall. Eisen, weiß) in der Schlacke, Bildbreite 0,690 mm.

Die Erze zertrummerte man auf einem Steinambob mit Klopstein (Gümüşköy: siehe Abb. 14) und schmolz sie in kleinen Schamottofen (Balya Maden). Für vermehrte Luftzufuhr sorgten Blasebälge mit Keramikdüsen (Arapuçandere). Obwohl der Bleiglanz in erster Linie für die Silbergewinnung verhüttet wurde, hat man nur an einer Stelle Hinweise auf die Kupellation gefunden (Bleiglatte in der Nahe von Balya Maden). Die grauen bis graubraunen Eisenverhüttungsschlacken von Karaaydın und Küserlik sind klumpig oder flach-wulstig ausgebildet, oft blasenreich und randlich stark limonitisiert. Sie enthalten metallisches Eisen und Wustit (Magnetit) in dendritischer Form, die in einer fayalitischen Matrix eingebettet liegen (Küserlik). Die Grundmasse kann mehr oder weniger auch glasig ausgebildet sein. Diese mikroskopische Struktur und die hohen Eisengehalte (66-62 Gew. %) sind charakteristische Merkmale früher Rennfeuerofenschlacken (Bachman, 1967).

CHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN

Da sowohl für archaometallurgische als auch lagerstättenkundliche Fragestellungen Durchschnittsanalysen an Handstücken wenig aussagekräftig sind, wurden vorwiegend Mineralseparate analysiert. Ausnahmen bildeten die Proben, bei denen nur Gold oder Zinn bestimmt wurde. In diesen Fällen wurden 10-20 g der Probe gepulvert (<50 µm) und homogenisiert. Die Analyse wurde jeweils an einem Aliquot von 100-500 mg vorgenommen.

Elementkonzentrationen wurden in Erzen im allgemeinen mittels instrumenteller Neutronenaktivierungsanalyse durch Vergleich mit pipettierten Standards bestimmt. Nur Wismut wurde nach Auflösen eines Aliquots in Königswasser, anschließender Verdünnung und Abtrennung von der Matrix als Hydrid mit einem Atomabsorptions-spektrometer gemessen.

Tabelle 5 - Spurenelementgehalte in Kupfererzkonzentraten von verschiedenen Vorkommen in der Troas (Angaben in g/t, falls nicht anders angegeben)

<i>Probe</i>	<i>Lokalität</i>	<i>Fe (%)</i>	<i>Cu (%)</i>	<i>Zn (%)</i>	<i>Co</i>	<i>As</i>	<i>Se</i>	<i>Ag</i>	<i>Sb</i>	<i>Au</i>
TG 15 B-1	Gümüşler	29.7	36.1	0.26	<0.8	3	<8	149	—	<0.01
TG 16 A-2	Kurttaş	27.9	34.1	0.43	10	8	92	257	<2	0.05
TG 129 A	Tahtaköy	23.3	17.1	0.10	70	727	9	28	33	0.80
TG 133 A-2	Doğancılar	19.9	12.3	0.21	12	3 000	~1	20	275	0.70
TG 153 B-2.2	Soğukpınar	0.8	3.9	0.87	—	1 000	—	3 500	3 500	0.36
TG 153 D-1	Soğukpınar	12.8	29.5	3.8	—	6 100	—	14 500	15 800	—
TG 153 E-1.2	Soğukpınar	21.4	18.8	13.7	—	10 %	—	144	500	1.2
TG 156-1	Tahtaköprü	8.6	51.5	0.04	18	—	186	564	—	4.0

Die Schlacken wurden mittels Röntgenfluoreszenzanalyse charakterisiert, wobei etwa 1g Aliquots der Probe nach der Methode von Norrish und Hutton in Lithiumboratglas eingeschmolzen wurde. Die Summe der Bestandteile erreicht oft nicht 100 %. Das liegt zum einen daran, daß noch einige Elemente wie Na, Mn, As und Sb mittels Neutronenaktivierungsanalyse bestimmt werden müssen und andererseits Kohlenstoff, Sauerstoff und Schwefel nicht direkt bestimmt werden können, obwohl sie einen großen Gewichtsanteil an der Probe haben können. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 2-6 zusammengestellt.

Tabelle 6 - Zusammensetzung von Schlacken verschiedener Lokalitäten in der Troas in Prozent

Probe	Lokalität	SiO ₂	FeO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	ZnO	CuO	PbO
TG13 C-1	Handeresi	47.9	13.3	3.2	19.4	4.2	0.1	—	0.11	1.6
TG14 B-3	Karaaydın	32.3	48.4	2.4	1.9	—	—	1.9	0.24	2.3
TG14 C	Karaaydın	46.4	3.5	4.8	21.4	13.9	0.5	—	—	—
TG14 D	Karaaydın	9.8	66.1	2.5	5.8	—	0.2	—	—	—
TG15 C-1	Gümüşler	23.6	53.0	2.3	7.1	—	0.5	—	—	—
TG18 H	Balya	21.5	20.3	2.6	5.4	—	0.5	30.3	—	7.3
TG18 L-2	Balya	27.0	22.3	5.9	10.4	—	2.0	11.2	0.20	8.1
TG18 M	Balya	25.6	33.2	5.5	5.2	—	1.4	8.5	0.14	5.9
TG18 N-1	Balya	32.4	30.3	6.4	10.6	—	1.1	3.2	—	3.0
TG18 P-1	Balya	24.4	32.2	5.2	6.7	—	1.3	7.5	0.19	7.3
TG18 Q-1	Balya	29.1	32.1	6.1	8.8	—	2.3	7.0	0.11	1.8
TG18 T	Balya	29.0	31.7	5.6	7.8	—	1.8	9.5	0.19	2.8
TG18 U-1	Balya	29.4	29.3	4.6	4.2	—	1.9	5.7	0.38	12.1
TG18 V	Balya	30.9	29.8	6.9	8.2	—	2.6	7.6	0.23	1.9
TG18 W	Balya	18.4	39.2	4.1	15.8	—	1.2	—	—	—
TG128 C-8.1	Avclar	39.3	37.7	7.7	3.6	1.9	1.3	0.02	1.13	—
TG130 A-2	Güre	50.6	3.5	6.6	15.2	4.2	2.8	—	—	—
TG130 A-4.1	Güre	45.6	28.9	5.7	10.2	0.2	1.6	0.2	0.09	6.6
TG133 B-1	Doğancılar	43.2	39.1	2.8	0.9	2.8	—	0.3	1.6	—
TG133 B-2	Doğancılar	39.4	40.7	3.3	1.4	3.3	0.4	0.8	2.1	0.05
TG133 F	Doğancılar	42.8	32.0	7.3	7.0	—	2.2	0.04	1.3	—
TG136	Çamyurt	45.0	26.2	9.4	4.2	2.5	0.3	0.04	2.1	—
TG138 A-4	Yuvalar	18.4	60.3	1.5	0.3	—	—	1.4	1.6	—
TG139 A-1	Kurşunlu	15.8	58.2	3.5	5.1	0.1	0.1	—	—	—
TG142 B-2	Kozcağız	30.2	48.1	3.8	15.1	—	0.5	—	0.38	—
TG142 D-4	Kozcağız	32.8	41.9	2.4	19.9	—	0.5	0.02	0.63	—
TG142 G	Kozcağız	31.7	42.0	3.4	16.0	3.9	0.5	—	0.59	—
TG145 C-2	Küserlik	16.0	61.7	3.3	4.2	—	0.2	—	—	—
TG147 B	Kıraçoba	19.9	54.3	5.6	0.3	—	0.1	—	—	—
TG149 B-4	Yaşyer	44.4	7.2	12.8	19.3	3.2	1.5	—	—	—
TG150	Arapuçandere	43.9	9.2	5.3	6.0	—	1.5	0.4	0.8	21.4
TG153 B-1	Soğukpınar	38.7	20.9	3.4	19.3	2.2	1.1	7.6	0.2	1.8
TG154 A	Keles	42.6	24.9	2.7	19.7	—	0.1	0.02	0.8	—
TG154 E-1	Keles	43.1	34.7	4.7	6.6	—	0.9	0.3	1.6	0.07
TG155 D-1	Gümüşköy	25.8	36.7	2.9	1.4	—	0.9	1.5	—	2.8
TG156 B	Tahtaköprü	37.5	28.0	3.4	24.0	—	0.1	—	0.7	—

BLEI-ISOTOPISCHE UNTERSUCHUNGEN

Beim Versuch einer geologischen Deutung der isotopischen Zusammensetzung des Bleis ist zu bedenken, daß die Proben nicht primär mit dem Ziel ausgewählt worden sind, einen Beitrag zur Geologie der westlichen Türkei zu leisten. Trotzdem sei auf einige bemerkenswerte Aspekte hingewiesen, die vielleicht auch in diesem Zusammenhang von Interesse sind.

Wie alle pisher aus edem agaischen Raum gemessenen Blei-Erze (Barnes et al., 1974; Gale, 1979; Gale et al., 1980; Vavelidis et al., 1984) fallen auch die hier analysierten Proben (Tab. 7) ausnahmslos in den «verbotenen» Bereich des Blei-Isotopen-Entwicklungsdiagramms (Abb. 20); ihre Einstufenmodellalter sind somit negativ. Die isotopische Zusammensetzung ist sehr konstant; die Variationsbreite für die ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb-, ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb- und ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb- Verhältnisse ist kleiner als 0,6 %.

Tabelle 7 - Isotopische Zusammensetzung von Bleierzzen aus Nordwestanatolien sowie einiger ausgewählter Proben aus der Ägäis. Die Häufigkeitsverhältnisse sind für instrumentelle Massenfraktionierung korrigiert; der Gesamtfehler ist ≤ 1 Promille.

Lokalität	Probe	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Türkei				
Altınoluk	TG 12 C-1	18.75	15.68	38.82
Altınoluk	TG 12 D-2	18.74	15.68	38.80
Handeresi Maden	TG 13 A-2	18.77	15.68	38.91
Karaaydın	TG 14 E-1	18.73	15.67	38.81
Kurttaş	TG 16 A-2	18.76	15.68	38.92
Sofular	TG 17 A-2	18.75	15.67	38.87
Balya*	TG 18 C	18.82	15.70	38.97
Balya*	TG 18 D-1	18.81	15.69	38.93
Balya*	TG 18 D-2	18.81	15.69	38.93
Balya*	TG 18 D-3	18.81	15.69	38.92
Balya*	TG 18 E	18.80	15.69	38.94
Avclar	TG 128 B-2	18.79	15.66	38.81
Doğancılar	TG 133 E	18.76	15.63	38.72
Kocayayla	TG 134 A-1	18.75	15.64	38.74
Hacıbekirler	TG 137 A-1	18.81	15.68	38.85
Dağoba	TG 140 A-1	18.77	15.65	38.78
Kuştepe	TG 141-12	18.79	15.69	38.74
Kozcağız	TG 142 H-1	18.77	15.67	38.89
Maden adası	TG 143 B-2	18.76	15.65	38.76
Hahlar	TG 144 D-1	18.76	15.68	38.90
Küserlik	TG 145 A-1	18.77	15.69	38.95
Bağırkaç	TG 146 A-1	18.74	15.66	38.85
Kıraçoba	TG 147 A-1	18.75	15.67	38.87
Arapuçandere	TG 150	18.75	15.67	38.89
Bekten	TG 151-1	18.76	15.67	38.89
Menteşdere	TG 152-1	18.74	15.67	38.91
Madenbelenitepe-				
Soğukpınar	TG 153 D	18.72	15.69	38.85
Gümüşköy	TG 155 C	18.74	15.69	38.91
Kemalpaşa**	TG 9	18.39	15.65	38.46
Kurudere**	TG 10	18.39	15.65	38.49
Limni				
Argenos*	51	18.59	15.66	38.91
Sakız				
Agrilia	TG 157 A-3	18.24	15.64	38.38
Sisam				
Spathrei	TG 46	17.87	15.62	37.94
Sikia	TG 47	17.85	15.62	37.92
Zestor	TG 48	18.88	15.68	38.91
Amphelos	TG 49	18.91	15.69	38.96
Drakei	TG 50 A	18.94	15.69	38.94
Drakei*	50 B	18.86	15.70	39.01
Makedonya				
Metallikon	TG 37	18.30	15.64	38.40
Sifnos				
Aspros Pargos*	TG 92-4	18.56	15.65	38.60
Antiparos				
Vening Meinesz**	SA 23 a	18.97	15.81	39.46

* Daten aus Vavelidis et al. (1984).

** Daten aus Gale (1979).

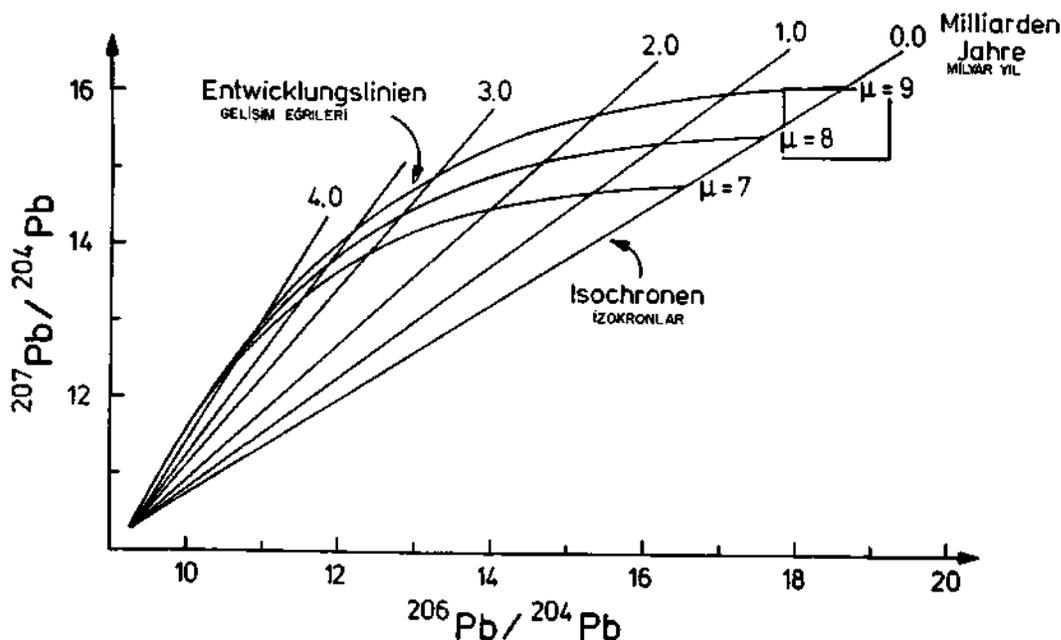


Abb. 20 - Blei-Isotopen-Entwicklungsdiagramm für die zeitliche Änderung der isotopischen Zusammensetzung auf grund des radioaktiven Zerfalls von ^{235}U und ^{238}U . $\xi = (^{238}\text{U} / ^{204}\text{Pb})$ heute. Das eingezeichnete Rechteck zeigt den in Abb. n+1 gezeigten Ausschnitt. Alle bisher aus dem agaischen Raum analysierten Proben - fallen in den Bereich rechts der $t = 0$ - Isochrone, haben somit ein negatives Ein-Stufen-Modellalter.

Alle Proben fallen weiterhin in das enge Feld, in dem auch die überwiegende Zahl der agaischen Proben liegt (Abb. 21) - von Milos im Süden bis Makedonien im Norden und von Laurion im Westen bis Samos im Osten. Dasselbe gilt übrigens auch für drei von vier PbS-Proben aus dem Menderes-Massiv, die in der Datensammlung von Doe und Rohrbough (1977) aufgeführt sind sowie für je eine Erzprobe aus Gümüldür (TG 5) und Gümüşler (TG 15) von Gale (1979). Die wenigen «Ausreißer» aus diesem Feld sind in Tabelle 7 mitaufgeführt, ebenso wie einige bisher noch nicht veröffentlichte Analysendaten, die in diesem Zusammenhang von Interesse sind. Bei den «Ausreißern» handelt es sich zum Teil um Proben, die bereits von Gale (1979) gemessen wurden (Lesbos TG 51; Samos TG 46, 47; Makedonien TG 37), die wir aber wegen ihrer ungewöhnlichen isotopischen Zusammensetzung noch einmal analysiert haben, um eine Probenverwechslung im Labor mit Sicherheit ausschließen zu können. In allen Fällen konnten die ungewöhnlichen Isotopenverhältnisse bestätigt werden.

Auffällig ist, daß die Proben mit ungewöhnlich kleinen $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnissen von den dem Festland vorgelagerten Inseln Lesbos, Chios und Samos stammen. Zwei Proben von den kleinen Inselchen Alibey Adası (TG 19, Gale, 1979) und Maden Adası (TG 143 B-2) zwischen Lesbos und dem Festland zeigen dagegen bereits die Isotopie der Biga-Halbinsel. Es wäre in einer ausführlicheren Studie zu prüfen, ob dieser Befund geologisch signifikant ist, zumal von Samos bereits drei weitere Ergebnisse vorliegen (TG 48, 49, 50), die in das «normale» Agais-Feld fallen.

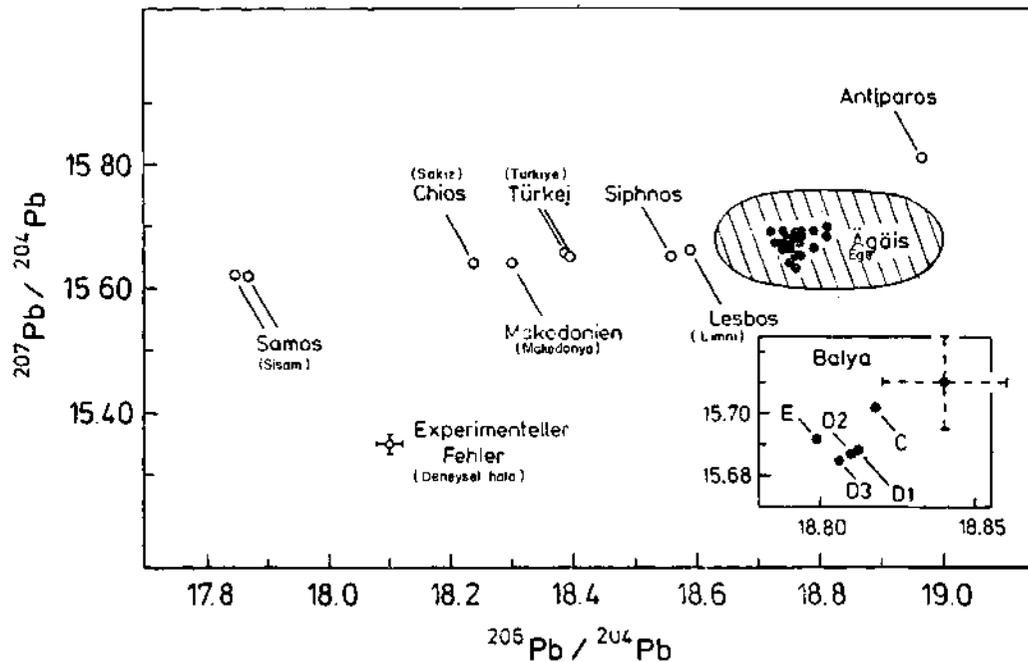


Abb. 21 - Die Proben Nordwestanatoliens fallen in einem $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Diagramm in einen engen Bereich innerhalb des durch die überwiegende Zahl aller bisher analysierten Erze aus dem agaischen Raum definierten Feldes. Analysen für Erze mit derselben TG-Nummer sind zu einem einzigen Datenpunkt zusammengefasst. Alle bisher gemessenen «Ausreißer» sind ebenfalls eingetragen. Das Insert zeigt im vergrößerten Maßstab die verschiedenen Proben der Lagerstätte Balya (TG 18).

Die aus dem Lagerstättenbefund geschlossenen grundlegenden Unterschiede zwischen den Lagerstätten Bekten (TG 151) und etwa denen von Altınoluk (TG 12) und Kuştepe (TG 141) spiegeln sich in der Bleiisotopischen Zusammensetzung nicht wider. Ob die Vererzung auf eine Zufuhr durch hydrothermale Lösungen zurückzuführen (TG 12) oder metasomatischen Ursprungs ist (TG 141), ob sie auf die vulkanische Förderung andesitischer und dazitischer Extrusiva zurückgeht (TG 143) oder als bei Karstbildung entstanden gedeutet werden muß (TG 151), das Blei unterscheidet sich in seiner isotopischen Zusammensetzung nur geringfügig.

Dasselbe gilt auch für die vermuteten verschiedenen Vererzungsphasen in Balya. Die Isotopie aller fünf Proben aus möglicherweise (mindestens) drei verschiedenen Vererzungsphasen ist innerhalb der Fehlergrenzen dieselbe. Wie das vergrößerte Insert der Abb. 21 zeigt, ist am ehesten noch ein Unterschied zwischen der dritten (E) und den beiden früheren Phasen vorhanden. (Probe C wurde bereits 1975 genommen, ohne zu versuchen, sie in eine Vererzungssequenz einzuordnen). Man beachte aber die angedeutete experimentelle Unsicherheit in den Isotopenverhältnissen, die übrigen nach der sehr viel kleineren Streuung der Punkte von derselben Lagerstätte zu schließen sehr großzügig bemessen zu sein scheint. Das Blei der möglicherweise verschiedenen Erz-Phasen stammt somit aus einem Reservoir, dessen isotopische Zusammensetzung sich zwischen der ersten und letzten Phase nicht meßbar-signifikant geändert hat; ob lediglich eine Remobilisierung von Blei derselben Lagerstätte stattgefunden hat, wird eine detaillierte Untersuchung zeigen müssen.

Die abweichenden Werte von Samos, Lesbos und Makedonien stellen vermutlich die originalen Bleiisotopenverhältnisse dar, die nicht durch den jüngeren Vulkanismus überprägt wurden.

BEDEUTUNG DER ERZVORKOMMEN FÜR DIE FRÜHZEITLICHE METALLPRODUKTION

Der ägäische Raum ist in der Frühen Bronzezeit (FBZ) durch eine weitgehend einheitliche Kulturerscheinung gekennzeichnet (Branigan, 1974), die sich von der Troas (im wesentlichen die Biga-Halbinsel) und Makedonien bis Kreta und sogar bis zur Westküste Griechenlands erstreckt. Diese Einheitlichkeit beruht auf charakteristischen Formen von Tongefäßen, Marmoridolen, Siedlungsstrukturen, Obsidianwerkzeugen und nicht zuletzt auf der Metallverarbeitung. Es wurden Gold, Silber, Blei, Kupfer, Zinn und Zinnbronzen verwendet.

In der ersten Phase der FBZ, etwa um 3000 v. Chr., tauchen erstmals Metallgegenstände in größerer Zahl in der Ägäis auf. Die Funde sind aber geographisch keineswegs gleichmäßig verteilt, sondern in zwei Teilregionen konzentriert: Der Troas und den benachbarten Inseln Lesbos und Lemnos einerseits und Kreta andererseits. Dieser Befund und die Tatsache, daß die Metallartefakte der Nordostägäis und Kretas typologisch verschieden sind, führten zu der Hypothese, daß es in dieser Phase zwei unabhängige metallurgische Zentren in der Ägäis gegeben habe (Branigan, 1974). In der zweiten Phase der FBZ, etwa um die Mitte des dritten Jahrtausends v. Chr., gelangten diese Zentren zu einer frühen Blüte, die am augenfälligsten durch die Funde in Troja repräsentiert wird. Um diese Zeit entstanden nach Branigan sekundäre Metallurgiezentren auf den Kykladen und dem griechischen Festland. Der Ursprung der beiden primären Zentren ist noch ungeklärt, aber zumindest für die Nordostägäis nimmt man heute meist eine autochthone Entwicklung an. Dies scheint durch die geographische Verteilung von Erzvorkommen in Anatolien unterstützt zu werden: Eine grobe Zahl von Kupfer-, Blei- und Goldvorkommen ist auf der Biga-Halbinsel und entlang der anatolischen Westküste bekannt. Bisher war aber über das Alter deren Ausbeutung fast nichts bekannt.

Ein wichtiger Aspekt der frühen Metallurgie in der Nordostägäis ist das Auftreten von Zinn und Zinnbronze. Fast die Hälfte der aus Kupferlegierungen gefertigten Gegenstände in der Troas besteht aus Zinnbronze. Später, in der Mittleren Bronzezeit ging der Gebrauch von Zinnbronze wieder deutlich zurück, um erst in der Späten Bronzezeit wieder aufzuleben. Deshalb wurde die Vermutung geäußert, daß es in der Troas ein relativ kleines Zinnvorkommen gegeben haben könnte, das gegen Ende der FBZ schon weitgehend abgebaut war (Renfrew, 1967).

In diesem Zusammenhang ist der Bericht über die Entdeckung eines Zinnvorkommens gemeinsam mit Kupfer und Blei bei Soğukpınar (Çağatay et al., 1980) von besonderem Interesse, weil die Herkunft des Zinns in der FBZ nach wie vor ungeklärt ist (Muhly, 1973). Um die Bedeutung Soğukpınars für die Metallurgie der FBZ zu klären, führten wir zusätzlich zu den oben beschriebenen Untersuchungen Analysen an FBZ Kupfer- und Bronzeartefakten aus der Troas durch. Die Proben erhielten wir vom Württembergischen Landesmuseum in Stuttgart, wo früher spektroskopische Analysen durchgeführt worden waren (Esin, 1967). Wir wendeten die Neutronenaktivierungsanalyse und die massenspektrometrische Bleiisotopenbestimmung an, mit dem Ziel, die chemische und isotopische Zusammensetzung der Metallartefakte mit einer oder mehreren Lagerstätten in Verbindung zu bringen. Dies sollte möglich sein, da sich die Bleiisotopenverhältnisse und gewisse Elementverhältnisse während der Schmelzprozesse nicht ändern. Die bisherigen Ergebnisse sind in Abb. 22 und 23 dargestellt. Da die Messungen noch nicht-abgeschlossen sind, sei hier nur erwähnt, daß die Artefakte eine im Vergleich zu Erzen aus der Troas weite Streuung sowohl in ihren Bleiisotopenverhältnissen als auch in ihren Spurenelementkonzentrationen zeigen. Dies deutet zunächst darauf hin, daß wir es mit Metall aus mehreren verschiedenen Lagerstätten zu tun haben. Ein Vergleich der Bleiisotopendaten mit dem Vorkommen von Soğukpınar zeigt, daß dieses im Gegensatz zur Vermutung Kaptans, (1983) in der FBZ keine Bedeutung für die Bronzherstellung gehabt haben kann, denn bei der Verwendung von zinnhaltigen Sulfiderzen, wie sie in Soğukpınar vorkommen,

würde das Blei dieser Erze zusammen mit dem Zinn in das Kupfer gelangen. Ebenso wird die Vermutung von Wertime (1967), daß die früheste Bronze durch die Verhüttung von Kupfererzen mit Zinnkiesbeimengungen hergestellt wurde, durch unsere Ergebnisse nicht gestützt. Im Gegenteil, Abb. 23 zeigt, daß gerade die Zinnbronzen zum größten Teil nicht aus Erzen der Troas hergestellt wurden. Wenn man davon ausgeht, daß in der FBZ vorwiegend Zinnstein, der praktisch kein Blei enthält, zur Herstellung von Bronze verwendet wurde, bedeutet dieser Befund, daß nicht nur Zinn, sondern auch Kupfer auf Handelswegen, die derzeit noch unbekannt sind, in die Troas gelangte. Es spricht vieles dafür, daß die Handelsware nicht aus Zinn, sondern aus Zinnbronzen in Form von Barren oder Fertigobjekten bestand. Unsere bisherigen Ergebnisse sprechen nicht dafür, daß die Bronze-technologie in NW-Anatolien ihren Ausgang nahm.

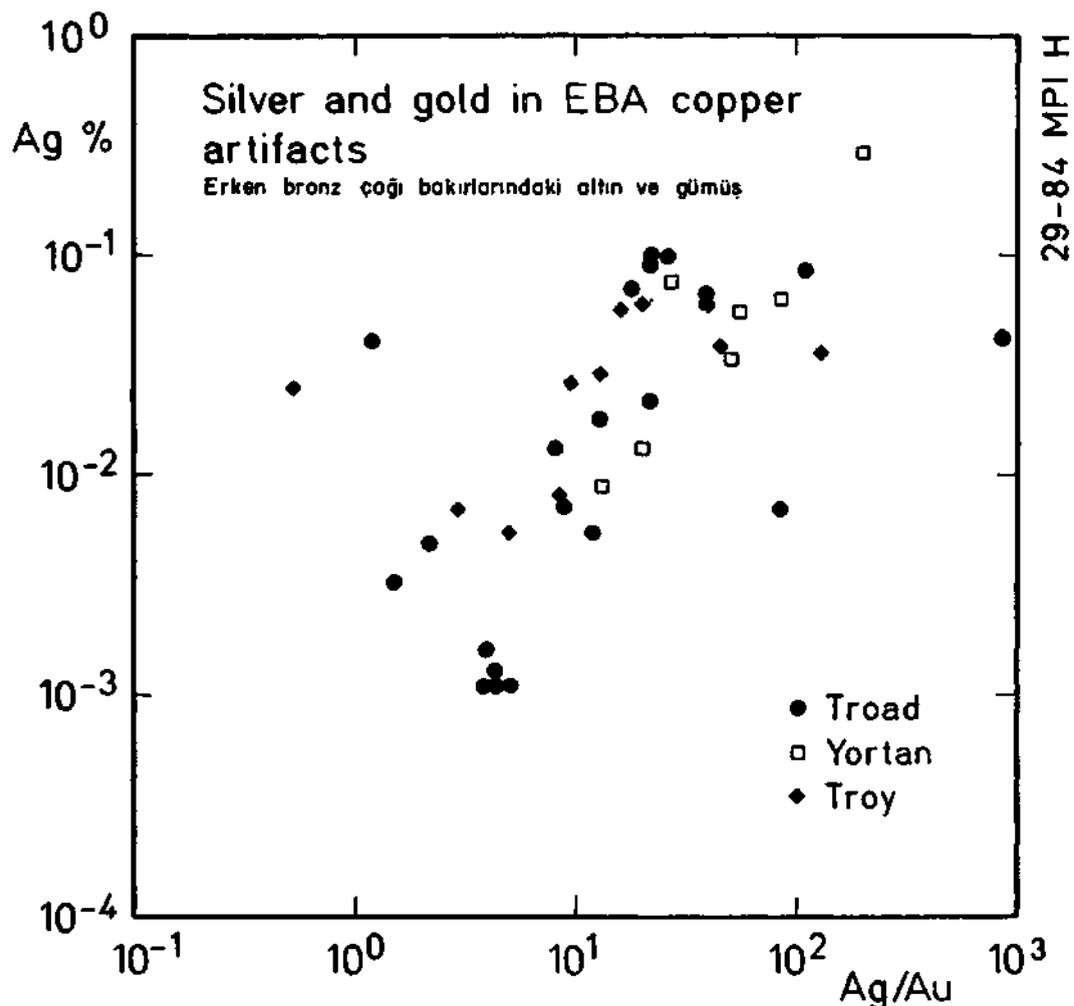


Abb. 22 - Gold- und Silbergehalte in frühbronzezeitlichen Kupfer- und Bronzeartefakten aus der Troas.

DANKSAGUNG

Für die Genehmigung und Unterstützung unserer Geländearbeiten danken wir dem MTA Generaldirektor, Herrn M. Sitki Sancar und dem Etibank Generalmanager, Herrn Muammer Öcal. Im Gelände wurde uns von den Herren Dr. T. Ercan, MTA-Ankara, Dr. A.N. Pehlivan, MTA-Balıkesir, Dipl.-Ing. T. Daner, Etibank-Balya und Dr. H. Demirok, Etibank-Kütahya, geholfen.

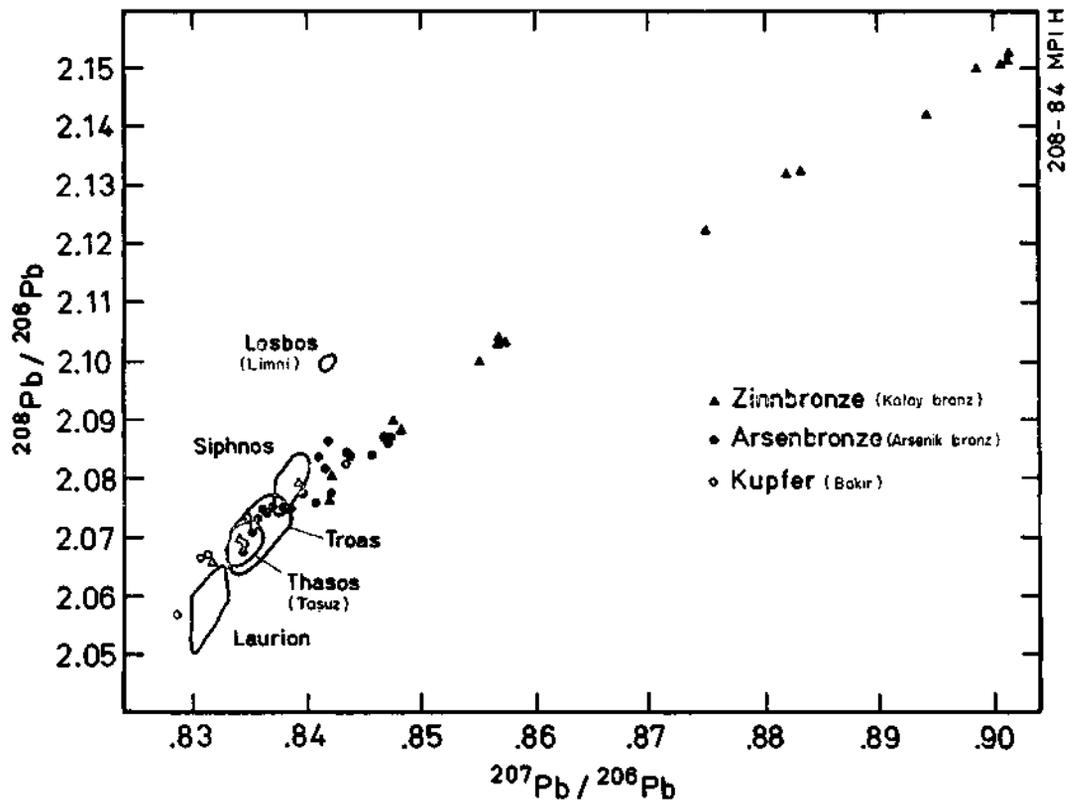


Abb. 23 - Bleisotopenverhältnisse in frühbronzezeitlichen Kupfer- und Bronzeartefakten aus der Troas.

Bei der Vorbereitung der Exkursionen haben uns Herr Professor G. van der Kaaden, Hilversum, und Herr Dr. H. Haude, BGR Hannover wichtige Hinweise zum alten Bergbau und Schlackenvorkommen auf der Biga Halbinsel gegeben. Für archäologische Beratung danken wir Herrn Professor Ch. Eibner, Professor H. Hauptmann, beide Universität Heidelberg, Professor M. Korfmann, Universität Tübingen und Frau Dr. A. Kossatz, Universität Frankfurt.

Die Bronzeproben wurden von Herrn Dr. H. Schickler, Württembergisches Landesmuseum, aus der Sammlung der Arbeitsgemeinschaft für Metallurgie des Altertums zur Verfügung gestellt.

Die C-14 Datierungen wurden von Herrn Dr. B. Kromer und Frau M. Münnich, Universität Heidelberg, durchgeführt. Für die Hilfe bei den bleisotopischen Messungen danken wir Frau C. Sudek und Herrn E. Werner, MPI Chemie, Mainz. Die Exkursion wurde aus Mitteln der Stiftung Volkswagenwerk, Hannover, und der Max-Planck-Gesellschaft, München, gefördert.

ANMERKUNG BEI DRUCKLEGUNG

Bei Drucklegung stellte uns Dr. Y. Altın freundlicherweise einen Anschliff von dem durch Çağatay et al. (1981) bearbeiteten Probenmaterial der Lagerstätte Madenbelenitepe (TG 153) zur Verfügung. Im Gegensatz zu unseren Proben konnte hier das Vorhandensein von Stannin bestätigt

werden. Das untergeordnete Auftreten von Stannin in den wenigen Proben ändert unsere Aussage (s. S. 14, 15) nicht.

Manuscript received October 1, 1984

LITERATUR

- Bachmann, H.G., 1967, Untersuchung einer vermutlich hethitischen Eisenschlacke aus Sirzi (Malatya), Türkei: Arch. Eisenhüttenw. 38 (11), 809-812.
- , 1977, Charakterisierung antiker Blei-Verhüttungs-schlacken aus Lauriori/Griechenland. Vortragsmanuskript.
- , 1982, The identification of slags from archaeological sites: Occ.Publ. Inst. Archaeol. Univ. London, 6, 1-37.
- Barnes, I.L.; Shields, W.R.; Murphy, T.J. and Brill, R.H. 1974, Isotopic analysis of Laurion lead ores: Archaeol. Chemistry, editor: C.W. Beck, Amer. Chem. Soc.
- Branigan, K., 1974, Aegean metalwork of the Early and Middle Bronze Age. Oxford Monographs on Classical Archaeology.
- Brinkmann, R., 1966, Geotektonische Gliederung von Westanatolien: N. Jahrb. f. Geol. u. Paläon., Monatshefte.
- , 1968, Einige geologische Leitlinien von Anatolien: Geologica et Palaeontologica. 2.
- Çağatay, A.; Altun Y. and Arman, B. 1981, Mineralogy of the Madenbelenitepe (Soğukpınar-Bursa) tin mineralization: MTA Bull., 92, Ankara-Turkey.
- Demirok, M.H., 1982, Kütahya Gümüşköy Maden Yatağı, MTA Haberleri, 1, 3-4.
- Doe, B.R. and Rohrbough, R. 1977, Lead isotope data bank: 3458 samples and analyses cited: U.S. Geol. Survey, Open-File Report, 77-418.
- Esin, U., 1967, Kuantitatif Spektrel Analiz Yardımıyla Anadolu'da Başlangıcından Asur kolonileri çağına kadar bakır ve tunç madenciliği, İstanbul.
- Fabian, H., 1978, Kupfer: Ullmanns Encykl. techn. Chem., 15, 487-545.
- Gale, N.H., 1979, Some aspects of lead and silver mining in the Aegean: Miscellanea Graeca, Fase., 2, 9-60.
- ; Gentner, W. and Wagner, G.A. 1980; Mineralogical and geographical silver sources of archaic Greek coinage: Metallurgy in Numismatics 1, 3-49.
- Gentner, W.; Müller, O.; Wagner, G.A. and Gale, N.H., 1978, Silver sources of archaic Greek coinage. Naturwiss. 65, 273-284.
- de Jesus, P.S., 1980, The development of prehistoric mining and metallurgy in Anatolia: BAR International Series, 74 (H), 208-276.
- v.d. Kaaden, G., 1956, Geologische und lagerstättenkundliche Forschungen im Räume von Edremit (Balıkesir): MTA Bericht, Unveröff, Ankara.
- , 1959, Age relations of magmatic activity and of metamorphic processes in the northwestern part of Anatolia-Turkey: MTA Bull., 52 (Foreign Edition) Ankara-Turkey.
- Kaptan, E., 1983, The significance of tin in Turkish mining history and its origin: MTA Bull., 95/96, 106-114, Ankara-Turkey.
- Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Publ., 1970, Arsenic mercury antimony and gold deposits of Turkey: MTA Publ., 129, Ankara.
- Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Publ., 1972, Lead, copper and zinc deposits of Turkey: MTA Publ., 133, Ankara.

- Muhly, J.D., 1973, Copper and tin. Archon Books, Hamden, Connecticut.
- Öztunalı, Ö., 1984, Balya Kurşun-Çinko Madeni, An Orta Sahası Etüdü: İ.Ü. Mühendislik Fakültesi D.S.R. 39, 1-84.
- Przeworski, S., 1939, Die Metallindustrie Anatoliens in der Zeit von 1500-700 v. Chr., Rohstoffe, Technik und Produktion, Brill Leiden.
- Renfrew, C., 1967, Cycladic Metallurgy and the Aegean Early Bronze Age: *Am.J. Archaeology* 71, 1-20.
- Ryan, C.W., 1960, A guide to the known minerals of Turkey: MTA Publ., Ankara.
- Tylecote, R.F., 1962, Metallurgy in Archaeology: E.Arnold Publ., London.
- Vavelidis, M.; Bassiakos, J; Begemann, F.; Patriarcheas, K.; Pernicka, E; Schmitt-Strecker, S. und Wagner G.A., Geologie und Erzvorkommen von Sifnos. In: Wagner, G.A. und Weisgerber, G. (Hrsg.) Silber, Blei und Gold auf Sifnos-Prähistorische und antike Metall-produktion. *Anschnitt Beiheft 2* (im Druck).
- Wertime, T.A., 1973, The beginnings of Metallurgy: A new look. *Science* 182, 875-887.
- Wiegand, Th., 1904, Der antike Bergwerksdistrikt Periaraxis. *Mitt. Kaiserl. Deutsch. Arch. Inst.* 29, 268-272.