

VII. Diskussion

VII.1. Spurenelement- und Bleisotopenanalyse

VII.1.1. Spätchalkolithikum

Die spätchalkolithischen Arsenkupfergegenstände vom Çukuriçi Höyük korrelieren in ihrer Zusammensetzung gut mit den später datierten frühbronzezeitlichen Funden und deuten eine kontinuierliche Versorgung mit Kupfer aus denselben Versorgungsnetzwerken an. Da der kleine Kupferquader (Kat. Nr. 87) wahrscheinlich als Ausgangsmaterial für den ebenfalls untersuchten Pfriem (Kat. Nr. 59)⁷⁵² diente, können wir daraus schließen, dass bereits am Ende des 4. Jahrtausends v. Chr. Kenntnisse der Metallverarbeitung auf dem Siedlungshügel vorhanden waren. Die ebenfalls in den spätchalkolithischen Schichten ausgegrabenen verschlackten Lehmstückchen können als Überreste eines metallurgischen Schmelzprozesses gedeutet werden, etwa als Ofenbauteile. Dies würde die Annahme einer spätchalkolithischen Metallverarbeitung auf dem Tell zusätzlich unterstützen. Es ist jedoch anzumerken, dass nur kleine Flächen mit spätchalkolithisch datierten Befunden freigelegt worden sind. Trotzdem können wir annehmen, dass wir mit diesen Gegenständen Repräsentanten der ersten auf dem Siedlungshügel produzierten Metallobjekte vor uns haben. Ihr Kupfer stammt wahrscheinlich aus regionalen westanatolischen Lagerstätten, deren genaue Lage aber derzeit noch unbekannt ist.

VII.1.2. Frühbronzezeit

Unter Zuhilfenahme der vorhergehenden Diskussionen ist es möglich, ein umfassendes Bild über die chemische Zusammensetzung und die Bleisotopenverhältnisse der auf dem Tell produzierten Artefakte zu gewinnen und die unstratifizierten Funde mit den gut kontextualisierten Stücken in Bezug zu setzen. Der Umstand, dass die Spurenelementkonzentrationen und Bleisotopenverhältnisse der frühbronzezeitlichen Objekte nur in Einzelfällen exakt miteinander übereinstimmen, kann dadurch erklärt werden, dass sich die Schichten, in denen sie gefunden wurden, über einen Zeitraum von ca. 150 Jahren – ca. 2900–2750 v. Chr. – verteilen. Es ist logisch, dass während dieser 15 Dekaden Kupfer nicht in der exakt derselben Zusammensetzung zu Verfügung stand, da diese nicht nur wesentlich von den verwendeten Ausgangserzen und in weiterer Folge von den erzeugten Gusschargen, sondern auch von der Verarbeitungstechnik abhängt. Dadurch lassen sich die Streuungen innerhalb einer ca. 75–50 Jahre dauernden Siedlungsphase schlüssig erklären.

Wenn wir die Spurenelementkonzentrationen der Arsenkupfergegenstände betrachten, so fällt auf, dass ihre Gehalte, abgesehen von den Waffen, nicht regelhaft mit den jeweiligen Artefaktklassen korrelieren. Zwar scheint es so zu sein, dass z. B. Nadeln tendenziell mehr Arsen enthalten, aber es haben sich auch andere Fertigprodukte und Nadeln gefunden, deren Konzentrationen in eine andere Richtung weisen. Gleiches gilt auch für die Bleikonzentrationen der Objekte, denn es gibt Artefakte, deren erhöhte Bleiwerte aufgrund der komplexeren Form oder Herstellungstechnik durchaus Sinn ergeben, während dies für andere Artefakte nicht behauptet werden kann. Dennoch zeigen sämtliche Objekte – seien es Gussreste, Halbfertigprodukte oder Endprodukte – grundsätzlich ähnliche Bleisotopenverhältnisse, obwohl sie unterschiedlich hohe Bleikonzent-

⁷⁵² Vgl. Kapitel VI.3. Schnitt N4: Die spätchalkolithischen Befunde – Tätigkeitszone A.

rationen von 0,08–11,1% aufweisen. Dies ist deswegen von Bedeutung, da ab einer Bleikonzentration von 1–2%⁷⁵³ überlegt werden kann, dass das Blei intentionell zugesetzt wurde, wodurch sich auch die natürliche Bleiisotopensignatur des Kupfers verändern würde. Es können aber keine gravierenden Unterschiede zwischen den Isotopenverhältnissen der niedrigbleihaltigen und der hochbleihaltigen Artefakte festgestellt werden. Ganz im Gegenteil, sie scheinen sich weitgehend zu gleichen, sodass man annehmen kann, dass das verwendete Kupfer, Arsen und auch Blei aus Lagerstätten mit ähnlichen Bildungsbedingungen kommen.

Eine Zusammenschau der analytischen Resultate lässt erkennen, dass sich die Arsen-, Antimon-, Bismut-, Nickel- und Silberkonzentrationen wie auch die Anteile der restlichen Spurenelemente im selben, relativ engen Schwankungsbereich bewegen. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass die Kupferversorgung während der Frühbronzezeit stabil gewesen ist und dass das Ausgangsmaterial/Erz vermutlich vorwiegend aus ein und derselben Bergbauregion bezogen wurde. Wäre Kupfer aus vielen verschiedenen Kupferlagerstätten mit unterschiedlicher geologischer Genese auf dem Çukuriçi Höyük verwendet worden, würde sich das wohl in einer größeren Streuung der Spurenelementwerte und Bleiisotopenverhältnisse widerspiegeln, wie es z. B. anhand der Funde vom Beşiktepe, von Poliochni oder Thermi beobachtet werden kann. Auch die Gegenstände aus dem „Königsgrab“ und dem „Palasthort“ vom Arslantepe können als anschauliches Beispiel für ein solches Phänomen dienen.⁷⁵⁴ Arslantepe übte als Machtzentrum natürlich nicht nur eine gewisse Kontrolle, sondern auch eine Anziehungskraft auf seine Umgebung aus. Deshalb ist es sehr wahrscheinlich, dass Metallartefakte aus verschiedenen Regionen in Form von Handelsware oder anderem „Tauschgut (im weitesten Sinne)“ dorthin gelangten. Der relativ große Einzugsbereich für unterschiedliche Metalle hätte dann auch seinen Niederschlag in weit gestreuten Spurenelementkonzentrationen und Bleiisotopenverhältnissen gefunden, wie anhand der Funde der Phasen V–VII vom Arslantepe ersichtlich ist. Die in Abb. 65 dargestellten Werte repräsentieren mit 68 untersuchten Funden (Metalle, Erz, Schlacken) vom Arslantepe nur geringfügig mehr Analysen als vom Çukuriçi Höyük, zeigen aber eindeutig eine breitere Streuung. Sogar die Funde vom Beşiktepe, die eine relativ große räumliche Nähe zu den nordwestanatolischen Lagerstätten haben, aus denen ihr Kupfer kommt, besitzen eine etwas größere Streuung der Spurenelementwerte und Bleiisotopenverhältnisse.⁷⁵⁵

Demnach demonstrieren die Analyseresultate vom Çukuriçi Höyük, dass auf dem Siedlungshügel während beider Siedlungsphasen hauptsächlich lokal vorhandenes bzw. lokal produziertes Arsenkupfer verarbeitet wurde. Metall aus anderen Bergbauregionen, zumindest solches mit offensichtlich differierenden geochemischen Mustern wie etwa aus Mittel- oder Ostanatolien, konnte nur in einem Fall (Kat. Nr. 331) festgestellt werden. Die relativ engen Streubreiten und Schwankungsbereiche der Spurenelementkonzentrationen und Bleiisotopenverhältnisse unterstützen diese Interpretation. Wir können festhalten, dass die analytischen Resultate der Tiegel, des Kupferstein-Speise-Fragments, der Gussreste, der Halbfertigprodukte und der Fertigprodukte gut miteinander korrelieren, sodass eine Erzeugung und Verarbeitung von Arsenkupfer zu Fertigprodukten auf dem Tell als erwiesen angesehen⁷⁵⁶ werden kann.

Es gilt außerdem zu bedenken, dass sich unter den Metallfunden der jüngeren Phase ÇuHö III auch Artefakte befinden könnten, die noch während der älteren Phase ÇuHö IV produziert und weiterverwendet oder umgeschmolzen wurden. Einen Hinweis auf einen solch sorgsamem Umgang mit Altmetall stellen die Meißelbruchstücke Kat. Nr. 62 und 63 dar, die sich in den Schichten 423 und 354 aus Werkstattareal 1 (Raum 1 und 2) fanden. Da ihre Schäfte abgebrochen sind, waren sie wahrscheinlich zum nochmaligen Einschmelzen vorgesehen. Dies belegt, dass immer wieder Metall in die Werkstätten gebracht, recycelt und mit neu produziertem Kupfer vermischt

⁷⁵³ Vgl. Kapitel VI.1. Analysemethoden.

⁷⁵⁴ Hauptmann et al. 2002.

⁷⁵⁵ Begemann et al. 2003, 182, Abb. 1–2; 184, Abb. 3–4; 185, Abb. 5.

⁷⁵⁶ Mehoffer 2014, 467.

wurde und dadurch wieder in die Verteilungsnetze eingespeist wurde. Die zuvor genannten Anreicherungs- und Umschmelzprozesse führen zu einer Vereinheitlichung und Homogenisierung der Spurenelement- und Bleiisotopenwerte und würden somit das beobachtbare Bild schlüssig erklären.

Auch die prähistorischen Siedlungsaktivitäten können zu einer Umverteilung und Umschichtung der Fertigprodukte beigetragen haben. Man muss bedenken, dass die Funde, mit Ausnahme von Schicht 354 in Werkstattareal 1 (Raum 1 und 2) und Schicht 827 in Werkstattareal 5, nicht aus Fundlagen kommen und somit auch durch Siedlungsaktivität oder als Teil von Aufschüttungen und Planierungen in einen Raum gekommen sein könnten. Bestes Beispiel für eine solche Verlagerung ist das vierkantige Halbfertigprodukt Kat. Nr. 83 aus Schnitt M1, das in dem West-Ost verlaufenden Weg, der die zwei Gebäude voneinander trennt, gefunden wurde. Offensichtlich ging es beim Transport verloren und lagerte sich an einer Mauer ab. Ähnliches ist wohl auch für die Funde aus dem als Hof/Straße (ehemals R 15) bezeichneten Bereich im Westen der Schnitt S1–4 anzunehmen. Die in den Nutzungshorizonten gefundenen Metalle, wie etwa das kleine Goldblechfragment Kat. Nr. 134, sind dort wohl zufällig abgelagert worden.

Es kann aber davon ausgegangen werden, dass die Entsorgung von metallurgischem Abfall, z. B. zerbrochenen Tiegel- oder Düsenfragmenten, absichtlich erfolgte. Die Schichten 881 und 925, die Teil der Fläche 1 sind, sind als Planierschichten anzusprechen, die zahlreiche metallurgische Abfälle enthielten. Da sich in diesem Bereich bis dato keine Haus- oder Werkstattstrukturen erkennen ließen, kann man annehmen, dass die Abfälle auf der freien Fläche entsorgt wurden. Diese und andere Prozesse führten schließlich zu einer größtenteils zufälligen Fundverteilung in der Siedlung, sodass eine Trennung oder Zuweisung einzelner Funde zu produzierenden Werkstätten innerhalb der Siedlung nur in wenigen Ausnahmefällen gelang.

VII.2. Arsenkupferproduktion

Die auffichtmikroskopischen Untersuchungen der untersuchten Tiegel lassen erkennen, dass ihre Innenflächen auf einer Stärke von 0,5–1,5 cm verschlackt sind. Dies lässt darauf schließen, dass diese über einen längeren Zeitraum auf eine Temperatur erhitzt wurden, die die Keramik aufschmelzen ließ und dadurch die Metallpartikel einschloss. Aufgrund der in den Tiegeln beobachtbaren Kupferarsenideinschlüsse und hocharsenhaltigen Arsenkupfereinschlüsse ist von einer Arsenkupferproduktion auszugehen.

VII.2.1. Das „Co-smelting“

Die Erkenntnis, dass auf dem Tell Arsenkupfer produziert und verarbeitet wurde, lässt die Frage aufkommen, wie dieses hergestellt wurde. Während die Forschung vergangener Jahre davon ausging, dass polymetallische Erze⁷⁵⁷ zur Herstellung von Arsenkupfer genutzt wurden, die sowohl eine Kupfer- wie auch eine Arsenkomponente aufweisen, zeigen die jüngsten Forschungen zu den Fundplätzen Çamlıbel Tarlası und Arisman (Iran), dass auch andere Varianten möglich sind. In der aktuellen wissenschaftlichen Literatur werden mehrere Möglichkeiten beschrieben, Arsenkupfer zu erzeugen:

Als erste Möglichkeit können wir das Schmelzen von arsenhaltigen Kupfererzen nennen, wie sie in der Verwitterungszone eines entsprechenden Erzkörpers auftreten können. Derartige Erzgemische entstehen, wenn sich z. B. im Oberflächenbereich einer kupferhaltigen Arsenopyritlagerstätte durch diverse verwitterungsbedingte Vorgänge ein „Eiserner Hut“ bildet, in dem auch

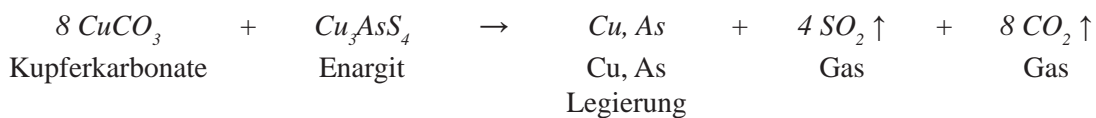
⁷⁵⁷ Zwicker 1980; Heskel 1983; Rostoker et al. 1989; Lechtman – Klein 1999; Özbal et al. 1999, 61; Hauptmann et al. 2002, 54, Tab. 1; Hauptmann et al. 2003, 211; Pigott 2008; Thornton et al. 2009, 314; Mehofer 2016.

karbonatische Kupfererze (Malachit)⁷⁵⁸ zusammen mit unterschiedlichen arsenhaltigen Erzen wie Enargit (Cu_3AsS_4) oder Löllingit (FeAs_2) bzw. deren Verwitterungsprodukte wie z. B. Olivenit [$\text{Cu}_2(\text{AsO}_4)(\text{OH})$] oder blau-grünliches Scorodit ($\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) in zufälligen Mischungen vorkommen.⁷⁵⁹ Sie ergeben Kupfer mit variierender Spurenelement- und vor allem Arsenkonzentration.

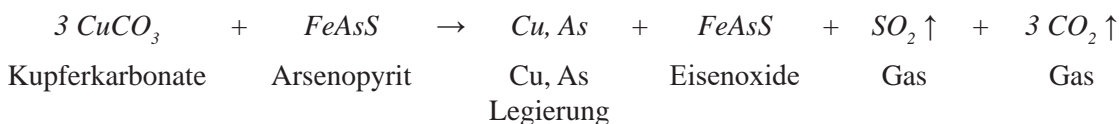
Die zweite Möglichkeit besteht in einer intentionellen Mischung von karbonatischen Kupfererzen und sulfidischen Arsenerzen.⁷⁶⁰ Dies bedeutet, dass bewusst Kupferlagerstätten und Arsenlagerstätten prospektiert und abgebaut wurden, um die gewonnenen Erze gemeinsam zu verhütten. Dieses zweite Verfahren ist unter dem Begriff „Co-smelting“⁷⁶¹ in die wissenschaftliche Literatur⁷⁶² eingegangen. Abhängig von der realen Erzzusammensetzung und den Prozessbedingungen können Kupferstein oder Speise, aber keine bis wenig Schlacke⁷⁶³ entstehen. Es wird z. B. für verschiedene späthalkolithische und frühbronzezeitliche Schmelzplätze wie etwa Tappeh Sialk (Iran), aber auch für İkiztepe oder Murgul in der Türkei postuliert.⁷⁶⁴

Beim „Co-smelting“⁷⁶⁵ kommt es bei der Verwendung von Derberz theoretisch zu folgender Reaktion:

Schmelzen mit Enargit



Schmelzen mit Arsenopyrit



Während des Verhütens kommt es zu einem Sauerstoffüberschuss (also einer oxidierenden Ofenatmosphäre), der dazu genutzt wird, den Schwefel als SO_2 abzuoxidieren. Dies ermöglicht, wie obige Formeln zeigen, in einem Arbeitsschritt Arsenkupfer zu erzeugen und alle nicht gewollten Begleitelemente wie Eisen oder Schwefel zu verschlacken oder abzuführen. Derartige Reaktionen finden allerdings nur unter idealisierten Bedingungen statt.

Verschiedene von Heather Lechtman und Sabine Klein durchgeführte Experimente⁷⁶⁶ konnten nachweisen, dass diese Hüttenprozesse in der Praxis funktionieren. Einschränkenderweise muss aber für ihre Versuche angemerkt werden, dass sie unter Laborbedingungen stattfanden⁷⁶⁷ und nochmals unter auf die jeweilige archäologische Situation angepassten

⁷⁵⁸ In Schnitt M1 wurde ein solches leicht arsenhaltiges Kupfererzstück (Kat. Nr. 140) gefunden. Vgl. Kapitel VI.6. Die Erzfunde.

⁷⁵⁹ Thornton et al. 2009, 309; Rehren et al. 2012, 1722, 1725–1726; Boscher 2016, 53–63.

⁷⁶⁰ Lechtman – Klein 1999.

⁷⁶¹ Lechtman – Klein 1999.

⁷⁶² Hessel 1983; Rostoker et al. 1989; Lechtman 1996; Lechtman – Klein 1999; Hauptmann et al. 2002, 211; Pigott 2008; Thornton et al. 2009, 314; Pernicka et al. 2011; Rehren et al. 2012.

⁷⁶³ Lechtman – Klein 1999, 499.

⁷⁶⁴ Lutz et al. 1994; Hauptmann et al. 2003, 211; Thornton et al. 2009, 309, 311, Tab. 1; 313; Pernicka et al. 2011; Rehren et al. 2012.

⁷⁶⁵ Lechtman – Klein 1999, 498.

⁷⁶⁶ Lechtman – Klein 1999.

⁷⁶⁷ Lechtman – Klein 1999, 517.

Bedingungen wiederholt werden müssten. Lechtman und Klein orientierten sich an Befunden von Batán Grande (Peru) und verwendeten lokal zugängliche Erze.⁷⁶⁸ Um für die Westtürkei anwendbare Ergebnisse zu erhalten, wäre es notwendig, lokal anstehende Erze mit denselben Arbeitstechniken zu verarbeiten, wie sie auch anhand der Befunde rekonstruiert werden konnten.

Thilo Rehren und seine Mitautoren⁷⁶⁹ bemerken, dass beim „Co-smelting“ der Schwefel mit dem vorhandenen Kupfer Sulfide bilden und somit Kupferstein entstehen kann. Der Arsenopyrit würde gleichzeitig zu Eisenarsenid reduziert werden. Hier sind aber vor allem die Menge des verfügbaren Schwefels und das Mischungsverhältnis ausschlaggebend, wie die Versuche von Bryan Earl und Anne Adriaens⁷⁷⁰ anschaulich belegen. In zwei Anordnungen wurde einmal metallisches Kupfer und einmal Kupfererz mit Arsenopyrit verhüttet.⁷⁷¹ Diese Experimente zeigten, dass bei der Zugabe von Arsenopyrit zu schmelzflüssigem Kupfer Arsenkupfer mit 5,1 bzw. 14% As und Kupfersulfide entstand. Die Ergebnisse sind für die hier vorliegende Studie insofern von Bedeutung, als sie zeigen, dass sich bei solchen Schmelzvorgängen Arsenkupfer bildet, das auch einen gewissen Kupfersulfidanteil und z. T. sehr hohe Arsenkonzentrationen enthält.⁷⁷² Selbiges lässt sich auch anhand der von Lechtman und Klein durchgeführten Experimente zur Arsenkupfererzeugung in Tiegeln erkennen. Das in den Tiegelexperimenten erzeugte Arsenkupfer enthielt bis zu 26% Arsen und ausschließlich Kupfersulfide.⁷⁷³ Bei der Durchführung beider Experimente entstand Arsenkupfer in einem einzigen Prozessschritt. Diese Experimente wurden in einem Tiegel durchgeführt, der in einfachen flachschüsselförmigen oder hufeisenförmigen Öfen⁷⁷⁴ von oben oder innen erhitzt wurde. Diese Resultate sind sehr gut mit den Messergebnissen der Tiegel vom Çukuriçi Höyük vergleichbar.

VII.2.2. Intentionelle Herstellung von Speise

Vor wenigen Jahren kam eine dritte Möglichkeit hinzu, die sich anhand der in Arisman (Iran)⁷⁷⁵ gefundenen umfangreichen metallurgischen Reste postulieren ließ. Dort wurde in Kontexten des 4. Jahrtausends v. Chr. ein Schmelz- und Verhüttungsplatz ausgegraben, der neben zahlreichen Resten der Verhüttung im Schachtofen auch große Schlackenhalde erbrachte. Diese Ofeninstallationen dienten, wie im Folgenden kurz umrissen wird, der separaten Herstellung von Speise – einem Eisenarsenid (FeAs), das anschließend dem Kupfer oder Kupfererz beigemischt wurde.⁷⁷⁶

Ziel dieses speziellen Prozesses ist es, den im Arsenopyrit (FeAsS) befindlichen Schwefel vorab zu entfernen, da er sich mit dem Kupfer zu Kupfersulfiden verbinden kann.⁷⁷⁷ Diese konnten mit den in der Frühbronzezeit gängigen Schmelzverfahren nicht mehr effizient weiterverarbeitet werden, sodass das darin gebundene Kupfer verloren war. Wenn aber der Schwefel schon vorher entfernt wird, verbessert sich die Qualität und Ausbeute des Arsenkupferproduktionsprozesses deutlich. Da Kupfersulfid aufgrund der Abwesenheit des Schwefels nicht mehr

⁷⁶⁸ Richter 1991; Vorlauf 1991; Fasnacht 1995; Herdits et al. 2001; Krenn-Leeb et al. 2010.

⁷⁶⁹ Pernicka et al. 1984, 597; Rehren et al. 2012, 1726.

⁷⁷⁰ Earl – Adriaens 2000, 15–16.

⁷⁷¹ Earl – Adriaens 2000, 15–16.

⁷⁷² Earl – Adriaens 2000, 16, Abb. 5a.

⁷⁷³ Lechtman – Klein 1999, 507, Tab. 6; 517.

⁷⁷⁴ Dies entspricht den Typen 1 und 2 der vom Çukuriçi Höyük bekannten Ofentypen. Ihre einfache Form kann wiederum über weite Strecken und Zeiträume beobachtet werden. Wir kennen z. B. einfache schüsselförmige Öfen mit gering aufgehender Wandung schon aus dem 4. Jahrtausend v. Chr. aus Abu Matar, Bir es-Safadi und Shiqmim, s. Shugar 2000; Golden et al. 2001.

⁷⁷⁵ Steiniger 2011, 78, Abb. 19.

⁷⁷⁶ Unter dem Terminus „Speise“ wird eine intermetallische Phase verstanden, die sich zum einen aus einem Übergangsmetall, wie etwa Eisen, Kupfer, Nickel, Silber u. v. m., und zum anderen aus einem Element der 5. Hauptgruppe im Periodensystem, wie etwa Arsen oder Antimon, zusammensetzt, s. Müller et al. 2004, 42, Anm. 31.

⁷⁷⁷ Rehren et al. 2012.

entstehen kann, muss „nur“ noch das Eisen, die zweite Komponente der Speis, oxidiert und in die Schlacke abgeführt werden.⁷⁷⁸ Wir kennen weitere Speisefunde vom Tepe Hissar (Nordiran), aus Shar-i-Sokhta (Iran), Poros Katsambas (Kreta) und Almizaraque (Spanien).⁷⁷⁹

In Arisman sind Schachtöfen ausgegraben worden, in die Tiegel eingebaut waren. Die gefundenen Ofenwandbruchstücke und Tiegelfragmente lassen erkennen, dass diese Öfen häufig ausgebessert und wiederverwendet wurden, da sie intensiv gebraucht und verziegelt waren.⁷⁸⁰ Die Öfen waren vermutlich so konstruiert, dass der Tiegel,⁷⁸¹ der sich unterhalb des Schachtes befand, nach erfolgreichem Schmelzvorgang entnommen und durch ein neues ungebrauchtes Exemplar ersetzt werden konnte.

Da diese Verhüttungsvorgänge in größerem Rahmen durchgeführt wurden, sind auch Schlackenhalde mit entsprechend großen Kubaturen vorhanden.⁷⁸² Diese Reste können verwendet werden, um die Hüttenprozesse zu rekonstruieren. Im Umkehrschluss können sie aber auch als Indikatoren für das Erkennen dieser speziellen Schmelztechnologie dienen. Solch ein mehrstufiger, spezialisierter Prozess produziert im Vergleich zur Tiegelmellurgie deutlich mehr Abfall in Form von Ofenbruchstücken, Tiegelfragmenten und Schlacken. Ihr Vorhandensein wie auch ihre chemische Zusammensetzung können als Anzeiger für diese Technologie gewertet werden.

Die archäometallurgischen Untersuchungen⁷⁸³ der Schlacken von Arisman machen es möglich, zwei Arten – die braunen und die grauen Schlacken – voneinander zu unterscheiden. Die braune Schlacke enthält neben den für sie typischen Elementen ausschließlich Arsen, während die graue Schlacke sowohl Kupfer- als auch Arsenanteile aufweist.⁷⁸⁴ Diese unterschiedlichen Zusammensetzungen erlauben es, einen mehrstufigen Prozess zu rekonstruieren, bei dem in zwei separaten Hüttenprozessen zum einen Speise⁷⁸⁵ und zum anderen metallisches Kupfer ohne Arsenanteil hergestellt wurde. Diese beiden Komponenten wurden in einem weiteren Schmelzvorgang in speziellen Ofeninstallationen und Aggregaten⁷⁸⁶ miteinander zu Arsenkupfer verschmolzen, wobei die Speise dem schmelzflüssigen Kupfer (oder Kupfererz) unter leicht oxidierenden Bedingungen zugesetzt wurde.⁷⁸⁷ Logischerweise sind eigene Schmelzaggregate oder Schmelzvorgänge notwendig, um die Speise mit dem Kupfer (oder Kupfererz) zu verschmelzen.

Als zweiten Fundort, für den dieses Verfahren postuliert wird, können wir Çamlıbel Tarlası nennen, wo sich anhand der Schlackenuntersuchungen von Thilo Rehren und Miljana Radivojević⁷⁸⁸ gezeigt hat, dass Kupfer produziert wurde. Es war sogar möglich, in der Nähe des Fundplatzes den Ausbiss einer Chalkopyritlagerstätte⁷⁸⁹ zu lokalisieren, die aber kein Arsen enthielt. Aus der Abwesenheit von Arsen in dieser Lagerstätte und den Schlacken und der gleichzeitigen Präsenz von Arsen in den Tiegeln und Metallen schlossen die Autoren, dass das Arsen nachträglich zugegeben worden sein muss.

Eine Interpretation, die lediglich auf vereinzelte, in Schlacken oder Tiegeln anzutreffende Reste von Speise fußt, scheint mit großen Unsicherheiten behaftet. Exemplarisch können wir auf ein analysiertes Stück aus Poros Katsambas⁷⁹⁰ auf Kreta hinweisen, das von Peter Day und Roger

⁷⁷⁸ Rehren et al. 2012, 1726.

⁷⁷⁹ Rehren et al. 1988; Lutz et al. 1994; Keesmann – Onorato 1999; Hauptmann et al. 2003, 201, 211; Müller et al. 2004, 42, 44, Abb. 5; Doonan et al. 2007; Thornton et al. 2009, 309.

⁷⁸⁰ Steiniger 2011, 77–78, Abb. 19.

⁷⁸¹ Steiniger 2011, 76.

⁷⁸² Steiniger 2011, 69.

⁷⁸³ Pernicka et al. 2011; Rehren et al. 2012.

⁷⁸⁴ Rehren et al. 2012, 1720–1721.

⁷⁸⁵ Thornton et al. 2009, 308.

⁷⁸⁶ Boscher 2016.

⁷⁸⁷ Rehren et al. 2012, 1726.

⁷⁸⁸ Rehren – Radivojević 2010, 209–214; Boscher 2016.

⁷⁸⁹ Marsh 2010, 207, Abb. 62.

⁷⁹⁰ Doonan et al. 2007, 109, Abb. 6.5.

Doonan als das Mineral Löllingit gedeutet wird, während Thilo Rehren dem widerspricht und es als Speise – also als artifiziell erzeugtes Schmelzprodukt – anspricht.⁷⁹¹

Nur wenn wir die gesamte oder zumindest große Teile der Prozesskette vor uns haben, ist es möglich, eine Entscheidung zugunsten einer der drei oben genannten Varianten zu treffen. Die detaillierte Beschreibung aller makroskopischen Reste, gepaart mit deren analytischen Untersuchungen, ist unter Einbeziehung des geologischen Umfeldes die einzig gewinnbringende Vorgehensweise, um eine Zuordnung zu einer der drei Produktionsmöglichkeiten von Arsenkupfer treffen zu können.

VII.2.3. Vergleich der metallurgischen Reste: Çukuriçi Höyük – Arisman

Die Forschungen zu den Lagerstätten im weiteren Umland des Tells machten es möglich, zwei Arsenopyritlagerstätten, die von Zeytinlik und die von Kemer, auszumachen.⁷⁹² Eine Kupferlagerstätte konnte nicht gefunden werden. Der Mineralbestand dieser Arsenopyritlagerstätten umfasst Arsenopyrit und Scorodit, Chalkopyrit (als kupferführendes Mineral), Pyrit und Markasit.⁷⁹³ Weiter oben wird beschrieben, dass die Probe aus der Lagerstätte von Kemer aus bleiisotopischer Sicht im selben Bereich liegt wie die Produktionsreste und die Metalle.⁷⁹⁴ Dies würde unter Berücksichtigung der Ergebnisse von Arisman (Iran) und Çamlıbel Tarlası die Vermutung aufkommen lassen, dass Arsenopyrit aus obigen Lagerstätten zu Speise verarbeitet und im Anschluss schmelzflüssigem Kupfer hinzulegiert wurde.⁷⁹⁵ Weiters ist zu erwähnen, dass ein auf dem Siedlungshügel gefundenes, schwach arsenhaltiges Malachitstück (Kat. Nr. 140) ähnliche Bleiisotopenverhältnisse wie eine Erzprobe aus der Arsenopyritlagerstätte von Zeytinlik aufweist, was ein gewisses Naheverhältnis vermuten lässt. Einschränkend muss jedoch angemerkt werden, dass sich die Bleiisotopenverhältnisse der genannten Kupfererzprobe (Kat. Nr. 140) und der korrespondierenden Arsenopyritprobe von denen der Fertigprodukte unterscheiden.

Um nun entscheiden zu können, welcher der drei oben genannten Varianten der Vorzug zu geben ist, seien im Folgenden einige Überlegungen angeführt:

Anhand der Ausgrabungsergebnisse können wir erkennen, dass in der Siedlung flach-runde und hufeisenförmige Öfen in Benutzung waren, in denen relativ kleine Tiegel eingebracht und manipuliert wurden. Sie waren nicht in die Öfen eingebaut, wie es z. B. in Arisman (Iran) beobachtet werden kann⁷⁹⁶ (Tab. 48). Ebenso unterscheiden sie sich in ihrer Größe und Form von den dort gefundenen Exemplaren. Die in Arisman verwendeten Tiegel weisen Abmessungen von um die 13,5 cm Höhe und 19–22 cm Durchmesser auf, einige haben zusätzlich einen durchlochenden Fuß, andere einen flachen Boden.⁷⁹⁷ Die Abmessungen der Tiegel vom Çukuriçi Höyük sind um einiges geringer. Außerdem sind die Handhaben und Tüllen ausschließlich seitlich angebracht⁷⁹⁸ und ein ausgeprägter Fuß konnte in keinem Fall festgestellt werden.

Auch die Benützung der Tiegel war eine andere: während die Tiegel in Arisman in spezielle Ofenkonstruktionen eingebaut waren, um die Schmelzprodukte aufzufangen,⁷⁹⁹ sind die Tiegel vom Çukuriçi Höyük direkt im Feuer positioniert gewesen und wurden von oben mit Blasrohren erhitzt. Ebenso ist festzuhalten, dass die Öfen in Arisman intensiv verziegelt, ausgebessert und beschädigt waren, während die Öfen vom Çukuriçi Höyük aufgrund ihrer divergierenden

⁷⁹¹ Rehren et al. 2012, 1726.

⁷⁹² Vgl. Kapitel VI.6. Die Erzfunde. Vgl. Akçay 2003, 673–675; Akiska et al. 2008, 3–6; Wolf 2012; Wolf 2017.

⁷⁹³ Akçay 2003, 673–675; Akiska et al. 2008, 3–6, 8, Tab. 3.

⁷⁹⁴ Vgl. Kapitel VI.6. Die Erzfunde. Vgl. Wolf 2012; Wolf 2017.

⁷⁹⁵ Rehren et al. 2012.

⁷⁹⁶ Steiniger 2011, 78, Abb. 19.

⁷⁹⁷ Helwing 2011, 304–309; Steiniger 2011, 76.

⁷⁹⁸ Vgl. Kapitel IV.2.3. Gusslöffel und Tiegel.

⁷⁹⁹ Steiniger 2011, 77.

Konstruktion (sie haben keinen aufgebauten Schacht) und Nutzung keine so starken Gebrauchsspuren aufweisen.⁸⁰⁰

Diese auf dem Çukuriçi Höyük beobachtbaren Ofeninstallationen wie auch die Form und Verschlackung der Tiegel lassen darauf schließen, dass das Arsenkupfer in einem einstufigen Prozess hergestellt und verarbeitet wurde (Tab. 50). Dies führte dazu, dass die Menge der Schlacken relativ gering war, wobei diese vor allem als Teil der Tiegelinnenflächen (dort aber massiv) vorlag. Die gefundenen Reste können alle als Fragmente solcher stark verschlackten Tiegel identifiziert werden. Fließschlacken oder Schlackenklötze waren nicht im Fundmaterial enthalten und auch Schlackenhalde oder ähnliches konnten innerhalb des ergrabenen Bereiches nicht festgestellt werden. Einschränkend muss jedoch erwähnt werden, dass der Tell durch rezente Eingriffe massiv gestört war, sodass wir über die restlichen Siedlungsareale nur unzureichend informiert sind.

Zum jetzigen Stand der Forschungen kann festgestellt werden, dass weder bei den Arsenopyritlagerstätten noch auf dem Tell Schlackenhalde, Ofenanlagen oder Schlacken gefunden wurden, die auf separate Speiseproduktion hinweisen könnten.

Würde es sich nun um einen Prozess handeln, bei dem zu schmelzflüssigem Kupfer intentionell Speise hinzugegeben wurde, sollten außerdem:

- die Arsenkonzentrationen aller Metallobjekte⁸⁰¹ regelhaft sein, da sie gezielt eingestellt werden können und
- die Arsenkonzentrationen des Kupfers in den Tiegeln und in den Metallfunden von Anfang an eher der gewünschten Endkonzentration entsprechen (also unter max. 8–10%), da ein Legieren auf ca. 20%⁸⁰² und ein anschließend notwendiges Ablegieren auf die gewünschte Konzentration einen zusätzlichen, aus technologischer Sicht nicht sinnvollen Schritt bedeuten würde.
- Ebenso ließe sich erwarten, dass sich in den verwendeten Tiegeln irgendwo zufällig Eisenarsenidreste, schwefelhaltige Eisenarsenide, Eisensulfide oder metallisches Eisen erhalten hätten, wie es für z. B. für Funde aus Shahr-i-Sokhta (Iran)⁸⁰³ beschrieben wird. Ein analytischer Nachweis dieser Komponenten konnte aber nicht erbracht werden.
- Würde es sich nun um einen Produktionsprozess handeln, während dem vorproduziertes Kupfer mit Speise (FeAs), die weitgehend schwefelfrei⁸⁰⁴ sein sollte, verschmolzen worden wäre, so sollte sich dies auch in den beobachtbaren Mikrogefügen der Tiegel erkennen lassen. Theoretisch müssten nur gelegentlich Kupfersulfide detektierbar sein, da der Schwefel ja schon zuvor entfernt worden war.

Dies konnte jedoch nicht beobachtet werden. Wäre die Zugabe von Speise zu metallischem Kupfer⁸⁰⁵ als Methode zum Einsatz gekommen, müssten – bei geglückter Schmelzoperation – sowohl die Metalle wie auch die Schlacken relativ arm an Schwefelverbindungen sein. Im Idealfall wird für einen derartigen Prozess bereits mindestens einmal – wahrscheinlich sogar eher zweimal – aufgeschmolzenes Kupfer verwendet, sodass viele nichtmetallische Einschlüsse entfernt worden wären. Wenn das Rohkupfer aus karbonatischen Kupfererzen hergestellt worden wäre, sollte es von vornherein schlacken- und damit vor allem sulfidarm⁸⁰⁶ sein. Ebenso sollte die absichtlich hergestellte Speise wenig Schwefel enthalten, da man diese sogar durch einen eigenen

⁸⁰⁰ Für manche Öfen wie für Ofen 3 kann eine Zweiphasigkeit angenommen werden. Der Ofen wurde aber nicht ausgebessert, sondern neu gebaut. Vgl. Kapitel III.2. Metallurgische Anlagen: die Öfen.

⁸⁰¹ Hauptmann et al. 2003, 209.

⁸⁰² Ihre Arsenkonzentrationen der Fertigprodukte sind mit 3–7,7 Masseprozent eindeutig niedriger als die Maximalwerte in den Metalleinschlüssen der Tiegel vom Çukuriçi Höyük.

⁸⁰³ Hauptmann et al. 2003, 200, Abb. 1.

⁸⁰⁴ Rehren et al. 2012, 1723.

⁸⁰⁵ Thornton et al. 2009, 313–314; Pernicka et al. 2010; Pernicka et al. 2011; Rehren et al. 2012.

⁸⁰⁶ Wäre während des Herstellungsprozesses ein Gemisch aus karbonatischen und sulfidischen Erzen verwendet worden, dann wäre der Sulfidanteil natürlich höher gewesen.

Am ÇuHö nachgewiesen	Einstufiger Prozess (Verhütten von arsen- und kupferhaltigen Erzgemischen)	Am ÇuHö nachgewiesen	Mehrstufiger Prozess (separate Herstellung von Speise mit anschließendem Legieren)
	Lagerstätten		Lagerstätten
✓	Arsen- und kupferführende Lagerstätte(n)	✓	arsenführende Lagerstätte
–	Kupfererzlagerstätte	–	Kupfererzlagerstätte
	Prozess		Prozess
✓	einstufiger Prozess, Tiegelmatergie	–	mehrstufiger Prozess, separates Schmelzen der Komponenten
✓	keine spezielle Ofenkonstruktionen notwendig	–	Spezielle Schachtofenkonstruktionen
✓	geringeres Schlackeaufkommen, keine großen Schlackenhalde(n)	–	Schlackenhalde(n)
	Schlacke		Schlacke
✓	Tiegelinnenflächen verschlacken während des Schmelzprozesses	–	Schlackenstücke mit oder ohne Fließstrukturen
✓	Schlacken mit Kupfer- und Arsenanteil	–	Schlacke-Metallgemisch floss in die Tiegel, bildete separate Schicht, ohne dass die Tiegelinnenfläche stark verschlackte
✓	Kupferarsenideinschlüsse in der Schlacke	–	Schlacke mit Speiseanteil, ohne/mit sehr geringem Kupferanteil
✓	Sulfidhäutchen um Kupfer-einschlüsse	–	Schlacken mit Kupferanteil (ohne Arsenkonzentration)
✓	Schwefelkonzentration erhöht, Kupfersulfide und Kupfereisensulfide vorhanden	✓	Schlacken mit Kupfer- und Arsenanteil
✓	relativ geringer Eisenanteil in Schlacke	–	eventuell erhöhter Eisenanteil in der Schlacke
		–	relativ geringer Schwefelanteil in der Schlacke
	Kupfer		Kupfer
✓	Arsenkonzentrationen im Metall erhöht teilw. bis 31%, da Arsenaufnahme schwerer kontrollierbar war	–	Arsenkonzentrationen im Metall niedrig, <10%, da Speisezugabe auf endgültigen Gehalt abgestimmt ist
–	eventuell erhöhter Eisengehalt im Kupfer	–	eventuell Speiseeinschlüsse im Kupfer
✓	Schwefelanteil im Kupfer	–	eventuell erhöhter Eisenanteil im Kupfer
		–	geringerer Schwefelanteil im Kupfer

Tab. 50 Zusammenstellung der diversen Charakteristika der unterschiedlichen Herstellungsprozesse. ✓ = positiver Nachweis, in den metallurgischen Resten des Çukuriçi Höyük (= ÇuHö) vorhanden; – = nicht auf dem Çukuriçi Höyük nachgewiesen

Hüttenprozess entfernt hatte. In weiterer Folge müssten das aus diesen beiden Komponenten erschmolzene Arsenkupfer und die dabei entstehenden Nebenprodukte relativ arm an Kupfersulfiden sein. Wie aber die metallographischen Anschliffe zeigen, ist dies bei unseren Fertigprodukten und auch bei den Tiegeln nicht der Fall. In nahezu jedem der untersuchten Tiegel finden sich Kupfersulfide in verschiedenen Konzentrationen. Auch in den Metallen selbst sind Sulfideinschlüsse feststellbar. Dies lässt auf einen relativ großen Anteil an Schwefel im Ausgangserz bzw. der Ausgangsschmelze des Arsenkupfers schließen (Abb. 60).

Vergleicht man zusätzlich die Mikrogefüge sowie Eisen- und Arsenkonzentrationen der in den Tiegeln vorhandenen Metalleinschlüsse mit denen der Funde aus Arisman und Çamlıbel Tarlası,⁸⁰⁷ so sind auch hier Unterschiede erkennbar. Das beim Legieren mit Speise (FeAs) freiwerdende Eisen verbleibt teilweise im Kupfer und erhöht die Eisenkonzentration. So haben die in der grauen Schlacke von Arisman festgestellten Arsenkupfereinschlüsse, die die direkten Resultate eines Legierungsprozesses von Kupfer(erd) und Speise darstellen, Eisenkonzentrationen von 2,1–4,2 Masseprozent.⁸⁰⁸ Solche Konzentrationen wurden aber sehr selten in den Analyseresultaten der Metalle⁸⁰⁹ oder in den Kupfereinschlüssen der Tiegel beobachtet. Die durchschnittliche Eisenkonzentration fast aller frühbronzezeitlichen Artefakte vom Çukuriçi Höyük liegt bei ca. 0,4% (mit einem Ausreißer auf 2,1%) und ist somit z. B. niedriger als die Eisenkonzentrationen der frühbronzezeitlichen Funde von Shahr-i-Sokhta, für die ebenfalls ein Schmelzen von gemischten oxidischen und sulfidischen Erzen angenommen wird. Zusätzlich ist anzumerken, dass die hocharsenhaltigen Kupfereinschlüsse in den verschlackten Tiegellinnenflächen teilweise eisenfrei sind bzw. ihre Eisenkonzentration unter der Nachweisgrenze der Analyseeinrichtung lag. Die Resultate lassen zwei Interpretationsmöglichkeiten für ihre Entstehung zu:

- Die Ausgangserze waren per se eisenarm wie z. B. Malachit, Azurit-Enargit, Olivenit, Realgar oder Auripigment-Erzgemische.
- Die Prozessführung beim Verhütten von Ausgangserzen war oxidierend genug, um das Eisen zu oxidieren und zu verschlacken.

In beiden Fällen bzw. wenn beide Möglichkeiten zusammen auftraten – wenn also das Verhütten von eisenarmen Erzen unter oxidierenden Bedingungen geschah, wie übrigens auch beim „Comelting“ zur Entfernung des Schwefels erwünscht –, sollte die Eisenkonzentration im primär erzeugten Kupfer sehr niedrig sein. Dass die Metallurgen auf dem Çukuriçi Höyük durchaus eine solche oxidierende Prozessführung anstrebten bzw. beherrschten, zeigt das Mikrogefüge des Kupferstein-Speise-Gemisches Kat. Nr. 220, dessen Matrix aus diversen Oxidverbindungen⁸¹⁰ besteht.

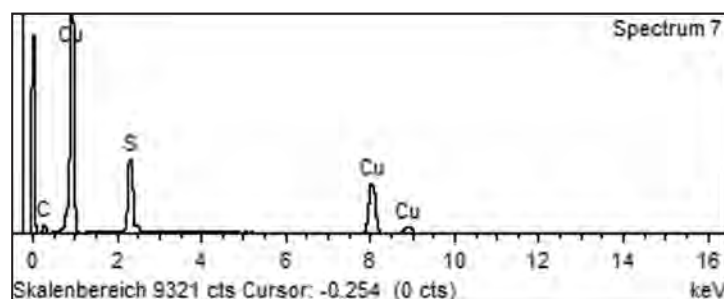


Abb. 60 REM-Analysespektrum eines Kupfersulfideinschlusses in dem Nadelfragment Kat. Nr. 35, einem Fertigprodukt (M. Mehofer, VIAS)

⁸⁰⁷ Rehren et al. 2012; Boscher 2016.

⁸⁰⁸ Rehren et al. 2012.

⁸⁰⁹ Einschränkung muss man aber anmerken, dass die Eisenkonzentration der Gusskugeln, Halbfertig- und Fertigprodukte durch das mehrmalige Umschmelzen unter leicht oxidierenden Bedingungen gesunken sein könnte, sodass der Eisengehalt in Endprodukten schließlich nicht oder nur sehr bedingt aussagekräftig ist, s. Pernicka et al. 1984, 591; Hauptmann et al. 2003, 201, 207, Tab. 4; Rehren et al. 2012, 1724, 1726.

⁸¹⁰ Nach dem Arsenoxid stellt Eisenoxid die Komponente mit dem zweithöchsten Anteil in der Schlackematrix der Zonen 2 und 3 dar. In Zone 4 ist vor allem Wüstit (FeO) vorhanden. Vgl. Kat. Nr. 220.

In den Anschliffen der Tiegel wurden immer wieder Kupfereisensulfide festgestellt, deren Eisenkonzentrationen bei bis zu 16% (bei Kat. Nr. 172) lagen. In einem Fall wurde sogar ausnahmsweise bis zu 30% Eisen detektiert (bei Kat. Nr. 185). Während man für Kupfersulfide überlegen könnte, ob sie aus einem missglückten Hüttenprozess stammen, wie etwa Thilo Rehren⁸¹¹ beschrieben hat, kann dies für die Kupfereisensulfide nicht behauptet werden. Eine Neuformung von Kupfereisensulfiden während eines solchen Tiegelprozesses kann als unwahrscheinlich angesehen werden. Heather Lechtman und Sabine Klein konnten im Rahmen ihrer Verhüttungsexperimente von oxidischen Kupfererzen mit Enargit und Arsenopyrit beobachten, dass während keinem der im Tiegel durchgeführten Schmelzversuche Kupfereisensulfide⁸¹² entstanden, sondern ausschließlich Kupfersulfide vorhanden waren. Dies lässt darauf schließen, dass die in den Tiegeln des Çukuriçi Höyük feststellbaren Kupfereisensulfide (Kupferstein) Reste des Ausgangserzes darstellen. Unterstützung erhält diese Annahme durch den Umstand, dass die Kupfereisensulfide als separate Einschlüsse in die Schlackenschicht eingebettet (bei Kat. Nr. 185) und nicht im metallischen Kupfer zu finden sind.

Zusammenfassend betrachtet sind die Merkmale eines intentionellen Legierens mit separat hergestellter Speise weder für die Tiegel noch für die gefundenen Arsenkupfergegenstände des Çukuriçi Höyük zutreffend. Die Beurteilung aller metallurgischen Charakteristika lässt hingegen auf Tiegelmetallurgie⁸¹³ zur Erzeugung des Arsenkupfers schließen. Somit kommen nur die beiden zuerst besprochenen Varianten zur Arsenkupferproduktion in Frage, wobei es für beide Varianten entsprechende Argumente gibt. Nach Meinung des Verfassers ist davon auszugehen, dass auf dem Siedlungshügel auch arsen- und schwefelhaltige Kupfererze⁸¹⁴ verschmolzen wurden. Das arsenhaltige Kupfererzfragment Kat. Nr. 140⁸¹⁵ kann als Hinweis dafür gelten. Würde man nun derart zusammengesetztes Erz verhütten, bekäme man metallisches Kupfer mit variierender Arsenkonzentration. Diese Konzentration würde – entsprechend seiner variablen Konzentration im Ausgangserz – schwanken, wie dies auch beobachtet⁸¹⁶ werden konnte. Alternativ ist zu überlegen, ob zu metallischem Kupfer arsen- und schwefelhaltige Erze zugemischt wurden, um Arsenkupfer zu erzeugen. Die Arsenopyritlagerstätte von Kemer könnte ein potentieller Lieferant solcher Erze⁸¹⁷ gewesen sein.

VII.3. Bronzeproduktion

Als ein weiteres interessantes Ergebnis kann die Detektion von Zinnoxid in einem der Tiegel aus Siedlungsphase ÇuHö III genannt werden,⁸¹⁸ da der Tiegel Kat. Nr. 198 neben den schon zuvor beschriebenen Bestandteilen in seiner Schlackeschicht auch Zinnoxid enthielt. Dies bedeutet, dass nicht nur für die Siedlungsphase ÇuHö IV,⁸¹⁹ sondern auch für die Phase ÇuHö III die Verarbeitung und Produktion von Zinnbronze angenommen werden kann. Das Tiegelfragment lässt außerdem erkennen, wie dieses Legieren vor sich ging. Wir können annehmen, dass dem schmelzflüssigen Metall Zinnerz (und nicht metallisches Zinn) hinzulegiert wurde. Woher das

⁸¹¹ Rehren et al. 2012, 1726.

⁸¹² Lechtman – Klein 1999, 513, 517–519.

⁸¹³ Dies wird z. B. auch für den Fundort Tepe Sialk angenommen, dessen Schmelzreste zwischen 3700–3500 v. Chr. datieren, s. Schreiner et al. 2003, 13.

⁸¹⁴ Dies kann auch für die Fundstelle Shar-i-Sokhta wahrscheinlich gemacht werden, s. Hauptmann et al. 2003, 201.

⁸¹⁵ Vgl. Kapitel VI.6.1. Kupfererze. Vgl. Wolf 2012; Wolf 2017.

⁸¹⁶ Beispielgebend können wir auf den auf dem Tell erzeugten Stabbarren Kat. Nr. 69 verweisen, der, obwohl er per definitionem bereits für den Austausch vorgesehen war, nur 1,1% Arsen enthält. Ebenso gibt es aus den Siedlungsphasen ÇuHö III und IV, wie anschließend beschrieben wird, Halbfertig- und Fertigprodukte (z. B. Kat. Nr. 2, 4, 7, 28, 64, 77–79 und 128), die eine geringe, manchmal unter 1% liegende Arsenkonzentration haben.

⁸¹⁷ Vgl. Kapitel VI.6. Die Erzfunde. Vgl. Wolf 2012; Wolf 2017.

⁸¹⁸ Mehoffer 2016.

⁸¹⁹ Vgl. Kapitel IV.1.2. Bronzeobjekte.

Zinn dafür stammt, müssen zukünftige Forschungen zeigen. Das Gusskugelchen Kat. Nr. 130 komplettiert dieses Bild. Es zeigt, dass auf dem Siedlungshügel mit der neuen Legierung gearbeitet und experimentiert wurde. Beachtenswert ist, dass alle untersuchten Bronzegegenstände eine im Vergleich zu den Arsenkupfergegenständen sehr niedrige Arsenkonzentration aufweisen. Dies lässt auf eine bewusste Materialauswahl während des Legierungsvorganges schließen. Die zusätzlich gefundenen Bronzeobjekte erweitern das Fundspektrum beträchtlich und zeigen, dass die Handwerker auf dem Tell die neue Legierung schnell in ihr metallurgisches Repertoire aufnahmen. Nicht nur Schmuck- oder Trachtbestandteile wurden aus dem neuen Material gefertigt, sondern auch Waffen wie etwa eine Pfeilspitze. Als Vergleichsfunde lassen sich die frühbronzezeitlich datierten Tiegelfragmente aus Göltepe⁸²⁰ anführen, deren leicht verschlackte Innenfläche Einsprenkelungen von Zinnoxid enthalten. E. Pernicka wies aber bereits darauf hin, dass dieser Befund auch durch das Zusammenschmelzen von Goldkörnchen zustande gekommen sein könnte.⁸²¹

VII.4. Bleiverarbeitung

Das Tiegelfragment Kat. Nr. 162 unterscheidet sich nicht nur durch seine spezielle Machart, sondern auch durch die Analyseergebnisse von den restlichen Tiegelfunden. Es wurde wahrscheinlich dazu benutzt, um Blei zu vergießen, da in ihm keinerlei Arsenkupferrückstände festgestellt werden konnten. Es lässt sich somit in einen arbeitstechnischen Zusammenhang mit Kat. Nr. 156 – einer Stabbarrengussform – stellen, in dessen Innenfläche ebenfalls ein beträchtlicher Bleianteil gemessen werden konnte. Wir können annehmen, dass nicht nur Arsenkupfer, sondern auch Blei auf dem Tell in Barrenform gegossen wurde. Basierend auf der Präsenz von Blei und Silber lässt sich zudem die Frage stellen, ob Silber auf dem Siedlungshügel hergestellt wurde. Da aber von dem einzigen Silberobjekt (Kat. Nr. 132) aufgrund der geringen Probenmenge keine Spurenelementanalysen⁸²² vorliegen und auch sonstige eindeutige Reste – wie etwa Bleiglätte – fehlen, muss diese Frage zum jetzigen Zeitpunkt verneint werden. Das Bleifragment Kat. Nr. 137 belegt hingegen, das Blei als Metall auf dem Tell bekannt war und z. B. zum Legieren benutzt wurde.

Das auf dem Tell erzeugte Arsenkupfer wurde in einer weiteren Phase des Produktionsprozesses mit Blei legiert.⁸²³ Auf die Vorgehensweise können wir aufgrund der unter der Nachweisgrenze des REM liegenden Bleikonzentration des Kupferstein-Speise-Fragmentes wie auch aufgrund der Präsenz von metallischem Blei (bei Kat. Nr. 137) und Bleierz (bei Kat. Nr. 142) auf dem Tell schließen, deren Bleiisotopenverhältnisse⁸²⁴ mit denen der Arsenkupfergegenstände korrelieren. Die Zugabe von Blei oder Bleierz führt zu einer Senkung des Schmelzpunktes von Kupfer und zu einer besseren Gießbarkeit desselben. Während es durchaus verständlich ist, dass den Gussresten und Halbfertigprodukten mit Arsenkonzentrationen von bis zu 5% auch Blei zugegeben wurde, um ihre Guseigenschaften zu verbessern, mutet es doch seltsam an, dass dem hocharsenhaltigen Kupfer mit an die 20% Arsen zur Verbesserung der Gießbarkeit und Senkung des Schmelzpunktes Blei beigemischt worden ist. Nach dem von Subramanian und Laughlin publizierten Zweistoffdiagramm hat Arsenkupfer mit einem Anteil von 21 Masseprozent bzw.

⁸²⁰ Yener – Vandiver 1993.

⁸²¹ Pernicka 1998, 143.

⁸²² Deshalb konnte seine Bleikonzentration nicht bestimmt werden. Gediegenes Silber hat einen sehr geringen Bleianteil, während kupelliertes Silber einen gewissen Restanteil an Blei besitzt, der als zusätzliches Kriterium für Kupellation gelten kann.

⁸²³ Thornton – Rehren 2009.

⁸²⁴ Hier sei nochmals angemerkt, dass es Gegenstände mit deutlich höherer, aber auch mit deutlich niedrigeren Bleikonzentrationen unter 1% gibt, die aber alle eine ähnliche Bleiisotopensignatur haben. Dies lässt sich dadurch erklären, dass sowohl das verwendete Kupfer als auch das verwendete Blei aus demselben geologischen Großraum – am wahrscheinlichsten aus Westanatolien – stammen.

18,2 Atomprozent As einen Schmelzpunkt von 685°C.⁸²⁵ Diese Temperatur konnte mit den zur Verfügung stehenden Schmelzinstallationen leicht erreicht werden, sodass eine Zugabe von Blei eigentlich nicht notwendig erscheint.

Sinkt jedoch der Arsenanteil, etwa, weil während des Umschmelzens Kupfer mit niedriger Arsenkonzentration zugegeben wird, so macht die Zugabe von Blei durchaus Sinn. Diese ermöglicht, das mit großem Aufwand hergestellte hocharsenhaltige Kupfer zu strecken und es gleichzeitig auch relativ leicht schmelzbar zu halten, da mit sinkendem Arsenanteil der Schmelzpunkt des Kupfers wieder ansteigt. Bei einer Arsenkonzentration von z. B. 5% liegt er bei ca. 1040–1050°C, eine Temperatur, deren Erreichen und Halten mit Blasrohren bedeutend schwerer fällt, wie auch anhand publizierter Experimente⁸²⁶ gezeigt werden konnte. Die zusätzliche Beimengung von Blei senkt diesen Schmelzpunkt wieder und macht dadurch eine problemlosere Weiterverarbeitung möglich.⁸²⁷ Die Analyseergebnisse der restlichen Tiegel fügen sich sehr gut in dieses Bild ein. Wiederum sind hocharsenhaltige Kupfereinschlüsse, Kupfereisensulfide und arsenarme Metallkugeln zu erkennen.

VII.5. Edelmetalle: Silber-Kupferlegierung, Gold und Silber

Die Silber-Kupferlegierung

Dieses Fundobjekt Kat. Nr. 135 erhält seine besondere kulturhistorische Bedeutung⁸²⁸ dadurch, dass es aufgrund seiner speziellen Zusammensetzung belegt, dass die auf dem Çukuriçi Höyük ansässigen Metallurgen mit dem Wissen und der Technik des Legierens⁸²⁹ bestens vertraut waren. Die Herstellung dieser Legierung erfolgte nach „international bekannten Legierungsstandards“ und war auf die Bedürfnisse eines sehr spezifischen Abnehmerkreises⁸³⁰ ausgerichtet.

Die Pfeilspitze aus Uruk-Warka, die ebenfalls aus einer Silber-Kupferlegierung gemacht wurde, war Teil eines Tempelinventars, das im sogenannten „Riemchengebäude“ in der Westecke des Eanna-Heiligtums vergraben worden war (Abb. 61). Es datiert in die späte Urukzeit (ca. 3200–3100 v. Chr.) und stellt das älteste bekannte Objekt mit dieser Zusammensetzung dar.⁸³¹ Die nächst jüngeren Stücke finden sich weiter westlich im „Königsgrab“ vom Arslantepe, sie sind um 3000 v. Chr. einzuordnen. Da in der Osttürkei zu dieser Zeit enge Kontakte zum mesopotamischen Raum nachgewiesen sind,⁸³² scheint eine Vermittlung von dort in die ostanatolische Region durchaus wahrscheinlich. Suchen wir nach weiteren, ähnlich früh datierten Fundobjekten, können wir als Nächstes das Stück vom Çukuriçi Höyük anführen, das in die Zeit von 2900–2750 v. Chr. datiert und dem noch eine Nadel vom Demircihüyük zur Seite gestellt werden kann, die in den Zeitraum von 2750–2670 cal BC zu stellen ist.⁸³³ Als ältester derartiger Fundkomplex auf dem Balkan können vier Äxte aus einem Depotfund genannt werden,⁸³⁴ der von Svend Hansen

⁸²⁵ Subramanian – Laughlin 1994; Junk 2003, 20, Abb. 3.1.

⁸²⁶ Hanning et al. 2010, 299.

⁸²⁷ Thornton et al. 2009, 309.

⁸²⁸ Horejs et al. 2010, 16, Abb. 6; 19.

⁸²⁹ Horejs et al. 2010, 21.

⁸³⁰ Born – Hansen 2001, 48–50.

⁸³¹ Ein weiteres sehr früh datiertes Stück stammt aus El-Amrah, Grab 230. Da eine genaue Bestimmung der chemischen Zusammensetzung dieses Dolches nicht durchgeführt wurde, konnte er nur mit Vorsicht in die Diskussion miteinbezogen werden. Datierung: jüngere Negade-Kultur (Stufe C II). Vgl. Primas 1988, 162; Born – Hansen 2001, 36; Horejs et al. 2010, 27, Fundortliste 3.

⁸³² Piller 2009, 9, Anm. 1.

⁸³³ Massa et al. 2017, 66 Tab. 7.

⁸³⁴ Die Äxte besitzen eine Kupferkonzentration zwischen 43,11–67,13% und eine Silberkonzentration zwischen 32,23–52,56%, s. Riederer 2001, 269.

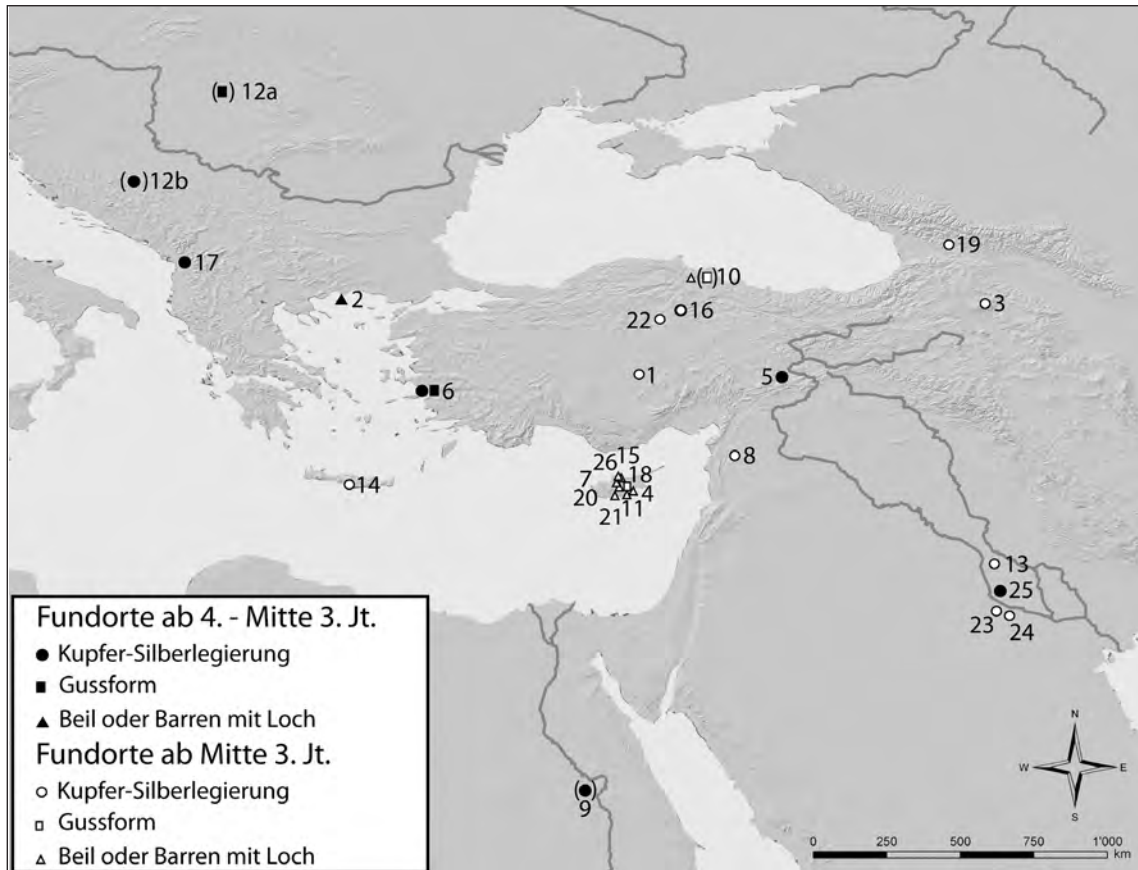


Abb. 61 Zusammenstellung der Fundplätze mit Silber-Kupferlegierungen im Untersuchungsraum: 1. Acemhöyük; 2. Agios Ioannis/Thasos; 3. Arich; 4. Arpera Grab; 5. Arslantepe; 6. Çukuriçi Höyük; 7. Deneia (?); 8. Ebla; 9. El-Amrah; 10. İkitzepe; 11. Kalavassos; 12a. Karpatenbecken, Fundort unbekannt; 12b. Osteuropa, vermutlich aus Bosnien; 13. Kis; 14. Koumasa, Kreta; 15. Lapithos; 16. Mahmatlar; 17. Mala Gruda; 18. Marki – Alonia, Zypern; 19. Modinache; 20. Politiko; 21. Pyrgos; 22. Resuloğlu; 23. Tell al Ubaid; 24. Ur; 25. Uruk; 26. Troia (nach Horejs et al. 2010, 23, Abb. 10; 26 Fundortliste 1, Kartierung: M. Mehofer. Stand 2012: M. Mehofer, VIAS)

über typologische Vergleiche überzeugend im Zeitraum vom ersten Viertel des 3. Jahrtausends bis spätestens zum zweiten Viertel des 3. Jahrtausends v. Chr. zu verankern ist.⁸³⁵

Betrachten wir nun die Datierung⁸³⁶ der frühesten sicher als Silber-Kupferlegierung ausgewiesenen Objekte⁸³⁷ im Untersuchungsgebiet genauer, lässt sich ein gewisser zeitlicher Abstand zwischen den älteren in Mesopotamien ausgegrabenen Stücken und den jüngeren auf dem Balkan gefundenen Artefakten feststellen. Es handelt sich um eine Differenz von ca. 500 Jahren. Ihnen allen ist gemeinsam, dass sie entweder in Grabkontexten gefunden wurden, die einer „gehobenen“ Gesellschaftsschicht zugeordnet werden können, oder mit kultischen/sakralen Handlungen in Zusammenhang stehen.⁸³⁸ Einzig das Artefakt vom Çukuriçi Höyük stammt aus einem Siedlungskontext, für den handwerkliche Tätigkeiten nachgewiesen sind. Auffällig ist ebenfalls, dass sich solche Funde bzw. Edelmetallwaffen oft im Kontext einer sozialen Oberschicht finden. Svend Hansen beschreibt dieses Phänomen als ein Element der Selbstdarstellung einer sozialen Oberschicht,⁸³⁹ die „einem über große räumliche Distanzen hinweg allgemein akzeptierten „Code“

⁸³⁵ Born – Hansen 2001, 33–35.

⁸³⁶ Horejs et al. 2010, 23, Abb. 10; 27, Fundortliste 3.

⁸³⁷ Primas 1988; Born – Hansen 2001, 52, Abb. 45; Begemann et al. 2002; Hauptmann – Pernicka 2004.

⁸³⁸ Born – Hansen 2001, 36–38.

⁸³⁹ Born – Hansen 2001, 48–50, 52, Abb. 45.

folgt“ und deren Anfänge wohl an den Beginn des 3. Jahrtausends v. Chr. – wenn nicht früher – zu setzen sind. Wenn es auch aufgrund der geringen Fundanzahl noch verfrüht erscheint, die Ausbreitung dieses Wissens und dieser „Codes“ von Osten nach Westen zu postulieren, so können wir doch feststellen, dass der Çukuriçi Höyük in dieses internationale Kommunikationssystem zu Anfang des 3. Jahrtausends v. Chr. eingebunden war.

Gold und Silber

Eine Produktion von Gold oder Silber konnte nicht nachgewiesen werden. Beim Silber können wir annehmen, dass es auf dem Siedlungshügel z. B. zu der eben genannten Silber-Kupferlegierung verarbeitet wurde. Wie schon in den einleitenden Kapiteln beschrieben, treten Edelmetalle bereits sehr früh im archäologischen Fundmaterial Anatoliens und Griechenlands auf,⁸⁴⁰ was wohl auch damit zusammenhängt, dass sie gediegen vorkommen können und dadurch keiner aufwendigen pyrometallurgischen Behandlung, wie etwa der Verhüttung oder des Aufschmelzens, bedürften. Dies gilt im Speziellen für Gold. Daher ist es nicht verwunderlich, dass wir sehr früh Goldgegenstände⁸⁴¹ im archäologischen Fundgut des Untersuchungsraumes finden. Im Besonderen sei auf die sogenannten „Ringidole“ verwiesen, deren goldene Vertreter einen eindeutigen Verbreitungsschwerpunkt auf dem Balkan⁸⁴² haben und, in weiterer Folge, auch in Griechenland auftreten, wo sie dann, vor allem in Südgriechenland, auch aus Silber gefertigt sind.⁸⁴³ Wir finden sie aber auch entlang der türkischen West- und Schwarzmeerküste.⁸⁴⁴

Seit Neuestem kennen wir neben den frühbronzezeitlichen Funden vom Bakla Tepe und dem unstratifizierten „Ringidol“ aus Sardis auch zwei gut datierte „Ringidole“ aus Ege Gübre,⁸⁴⁵ einem chalkolithischen Fundort in der Nähe von Izmir (Abb. 62). Während die auf dem Balkan, in Griechenland und in der Nordtürkei gefundenen „Ringidole“ formenkundlich dem „klassischen“ Typus entsprechen, scheinen die in die Frühbronzezeit datierten Exemplare aus Poliochni (Lemnos) oder auch vom Bakla Tepe⁸⁴⁶ eine etwas andere Form aufzuweisen, worauf Joseph Maran⁸⁴⁷ zuletzt hingewiesen hat.

Diese „Ringidol-Derivate“, wie Thomas Zimmermann sie nennt, haben einen T-förmigen Kopf mit einer längs laufenden Durchlochung,⁸⁴⁸ die eventuell zum Auffädeln auf eine Halskette diente. Ebenso scheinen die meisten dieser in der Türkei gefundenen Exemplare massiv gegossen und nicht aus dünnem Blech hergestellt zu sein, worauf auch eine Gussform für „Ringidole“ aus Çamlıbel Tarlası hinweist.⁸⁴⁹ Die Ringidole und ihre Verbreitung wurden jüngst vom Verfasser an anderer Stelle vorgestellt. Da sich im Fundgut des Çukuriçi Höyük kein solches Stück fand, sei auf diese Arbeit verwiesen.⁸⁵⁰

⁸⁴⁰ Prag 1978, 39; Demakopoulou 1998; Hess et al. 1998, 64; Pernicka et al. 1998, 123; Hauptmann – Pernicka 2004; Zimmermann 2005; Day – Doonan 2007; Papadopoulos 2008; Tzachili 2008.

⁸⁴¹ Zimmermann 2005, 191, 195–197, Abb. 1; Alram-Stern 2014; Mehofer 2014, 471.

⁸⁴² Hansen 2007, 284, Abb. 175; 504–515; Mehofer 2014, 470, Abb. 6.

⁸⁴³ Alram-Stern 1996; Papathanasopoulos 1996, 336, Abb. 290; Demakopoulou 1998, 62–67, Nr. 56–74; Maran 2000, 185–188; Hansen 2007, 282–287; Pappa 2007, 263, Abb. 17; Zachos 2007; Zachos 2010; Alram-Stern 2014, 317, Abb. 9; Mehofer 2014, 470, Abb. 6; 471, 488.

⁸⁴⁴ Bilgi 1984, 70, 95, 265–266, Abb. 18; Bilgi 1990, 161, 218, 427, Abb. 19; Parzinger 1993; Rudolph 1995, 284, Abb. 175; Lichter 2006, 528–529; Zimmermann 2007, 27, Abb. 1; Erkanal 2008, 173, Abb. 6.

⁸⁴⁵ Sağlamtimur 2007; Zimmermann 2007, 27, Abb. 1; Erkanal 2008, 173, Abb. 6; Keskin 2011b, 199, 210, 221, Nr. 7, Abb. 1.7; Sağlamtimur 2011; Sağlamtimur – Ozan 2012, 228, Abb. 6A.

⁸⁴⁶ Bernabò-Brea 1964, 663, Taf. 170.3, 177.25, 177.28; Maran 2000, 188; Erkanal 2008, 173, Abb. 6; Keskin 2011a, 148, 280, Nr. 163–164; 281, Nr. 165.

⁸⁴⁷ Maran 2000, 188.

⁸⁴⁸ Maran 2000, 188; Zimmermann 2011, 302.

⁸⁴⁹ Schoop 2011, 59, Abb. 9.

⁸⁵⁰ Mehofer 2014, 471, 488, Fundortliste 1.

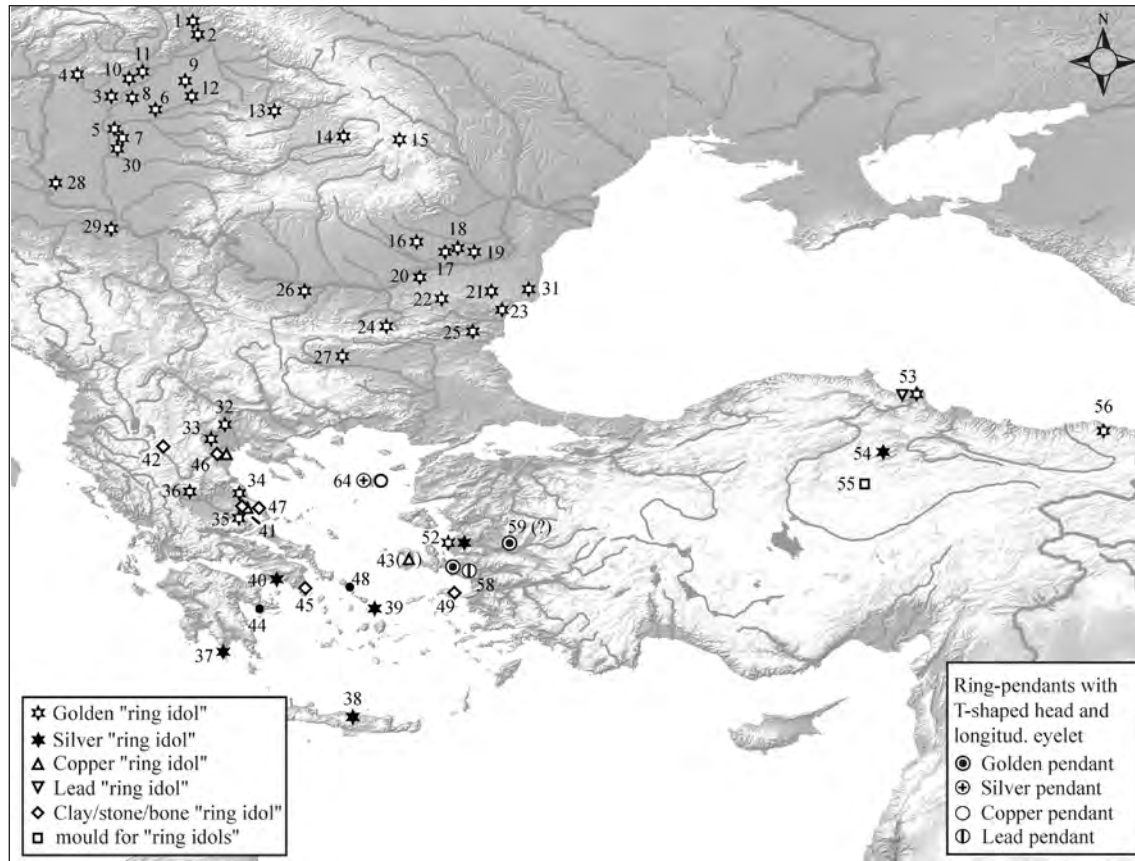


Abb. 62 Zusammenstellung aller Fundorte in Griechenland, Anatolien und am Balkan, in denen „Ringidole“ oder Ringanhänger mit T-förmigem Kopf und längs orientierter Lochung gefunden wurden. 1. Tibava; 2. Vel 'ké Raškovec; 3. Jászladány; 4. Hatvan-Újtelep; 5. Pusztaiadvánháza; 6. Magyarhomorg-Kónyadomb; 7. Magyartés; 8. Tiszaszözlös; 9. Hencida; 10. Tiszavalk-Tétes; 11. Tiszavalk-Kenderföld; 12. Oradea; 13. Moigrad; 14. Targu Mureş; 15. Traian; 16. Vidra; 17. Sultana; 18. Gumenița; 19. Vărăști; 20. Ruse; 21. Dălgopol; 22. Radingrad; 23. Varna; 24. Chatnica; 25. Sava; 26. Sofronievo; 27. Gegend von Pazardžik; 28. Vajska; 29. Progar; 30. Hódmezővásárhely-Kishomok; 31. Durankulak; 32. Aravissos; 33. Paliambela-Kolindros; 34. Platomagoules; 35. Sesklo; 36. Theopetra; 37. Alepotrypa; 38. Eileithyia, Kreta; 39. Ftelia; 40. „Euripides“-Höhle bei Salamis; 41. Dimini; 42. Dispilio, Kastri; 43. Emporio, Chios; 44. Franchthi-Höhle; 45. Kitsos-Höhle; 46. Makrygialos; 47. Pevkakia; 48. Strophilas, Andros (auf Felsritzungen); 49. Tigani, Samos; 50.–51. keine exakte Fundortangabe möglich; 52. Ege Gübre; 53. İkiztepe; 54. Göller; 55. Çamlıbel Tarlası; 56. Gegend von Trabzon; 57. keine Fundortangabe (vormals Kalınkaya); 58. Bakla Tepe; 59. Gegend von Sardis; 60. keine Fundortangabe (Türkei oder Mesopotamien); 61. Alişar; 62. Aphrodisias-Pekmez; 63. Keramik mit „Ringidolverzierung“, keine exakte Fundortangabe; 64. Poliochni, Lemnos. () = Datierung, Fundort oder Interpretation als Ringidol unsicher. Die schwarzen Kreise markieren Fundorte, wo „Ringidole“ als Felsritzungen oder auf Keramik dargestellt sind (nach Demakopoulou 1998; Maran 2000; Lichter 2006; Hansen 2007; Zachos 2007; Zimmermann 2007; Kartierung nach Mehofer 2014, 470, Abb. 6)

Silberartefakte, die in das 4. Jahrtausend v. Chr. datieren, kommen in der Westtürkei bis dato nur gelegentlich vor. Als bedeutenden Neufund kann ein kleines silbernes „Ringidol“ aus den chalkolithischen Schichten von Ege Gübre herausgestellt werden. Diesem sind die Silbergegenstände aus Beycesultan (Schicht XXXIV) und vom Bakla Tepe zur Seite zu stellen.⁸⁵¹ Im mittel- bzw. osttürkischen Raum wurden auf dem Alişar Höyük und Korucutepe⁸⁵² Silberobjekte gefunden. Aus dem Vorderen Orient sind vor allem die Funde aus dem Gräberfeld von Byblos

⁸⁵¹ Lloyd – Mellaart 1962, 19, 21, 112; Stronach 1962, 280–283; Keskin 2011a, 145; Keskin 2011b, 199, 210, 221, Nr. 7, Abb. 1.7; Zimmermann 2011, 300–301; Mehofer 2014, 469, Abb. 4–5.

⁸⁵² V. d. Osten 1937, 91, Abb. 197c; 753; Brandt 1978, 360, Taf. 4.1, 5.1, 5.3–4; Prag 1978.

(Libanon), aber auch aus Niniveh, Susa, Tell Brak, Tell Billa, Ur und Uruk erwähnenswert.⁸⁵³ Mit Beginn des 3. Jahrtausends v. Chr. verdichtet sich die Fundlage und neben einer silbernen Doppelspiralnadel aus Poliochni (Lemnos) und den Artefakten aus den frühbronzezeitlichen Gräbern vom Bakla Tepe sind nun auch der Ohrring und das Silber-Kupferobjekt vom Çukuriçi Höyük⁸⁵⁴ zu nennen.

VII.6. Erzquellen – Lagerstätten

Die Präsenz von oxidischen Kupfererzen im Fundmaterial zeigt, dass man Erze prospektiert und auf den Siedlungshügel gebracht hat. Allerdings muss bei nüchterner Betrachtung festgestellt werden, dass bis dato eine analytische Übereinstimmung zwischen den beprobten Lagerstätten des Surveygebietes, den Erzen und den Metallen bestenfalls nur in Teilbereichen möglich ist bzw. Interpretationsspielraum für andere Deutungen offen lässt. Die Herkunft des verwendeten Kupfers muss deshalb als ungeklärt angesehen werden, die Analyseresultate lassen aber darauf schließen, dass eine (nord)westanatolische Provenienz sehr wahrscheinlich ist. Anhand der Ergebnisse kann man postulieren, dass auf dem Tell Arsenkupfer mittels Schmelzens von unterschiedlich zusammengesetzten kupfer- und arsenhaltigen Erzen hergestellt wurde, die aus dem weiteren Umfeld des Tells stammen könnten. Die Arsenopyritlagerstätte von Kemer wäre dafür der beste Kandidat.

⁸⁵³ Prag 1978; Bachmann 1993; V. Ess – Pedde 1992; Moorey 1994; Pernicka 1995.

⁸⁵⁴ Lloyd – Mellaart 1962; Pernicka et al. 1990, 268, Tab. 2; Pernicka 1995, 110; Keskin 2011a, 148; Keskin 2011b, 199, 210, 221, Nr. 7, Abb. 1.7.