

VON BADEN BIS TROIA

RESSOURCENNUTZUNG, METALLURGIE UND WISSENSTRANSFER

EINE JUBILÄUMSSCHRIFT FÜR ERNST PERNICKA

MARTIN BARTELHEIM
BARBARA HOREJS
RAIKO KRAUSS (HRSG.)

Martin Bartelheim – Barbara Horejs – Raiko Krauß (Hrsg.)

VON BADEN BIS TROIA

RESSOURCENNUTZUNG, METALLURGIE
UND WISSENSTRANSFER

ORIENTAL AND EUROPEAN ARCHAEOLOGY

VOLUME 3

Series Editor: Barbara Horejs



Österreichische Akademie der Wissenschaften
Philosophisch-historische Klasse

VERLAG MARIE LEIDORF GMBH · RAHDEN/WESTF.
2016

Martin Bartelheim – Barbara Horejs – Raiko Krauß (Hrsg.)

VON BADEN BIS TROIA

RESSOURCENNUTZUNG, METALLURGIE
UND WISSENSTRANSFER

Eine Jubiläumsschrift für Ernst Pernicka

Dieses Buch entstand in einer Kooperation mit dem SFB 1070 RessourcenKulturen
an der Universität Tübingen



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Bartelheim, Martin / Horejs, Barbara / Krauß, Raiko (Hrsg.):
Von Baden bis Troia ; Ressourcennutzung, Metallurgie und Wissenstransfer ;
eine Jubiläumsschrift für Ernst Pernicka / hrsg. von Martin Bartelheim... .
Rahden/Westf.: Leidorf, 2016

(Oriental and European Archaeology; Bd. 3)
ISBN 978-3-86757-010-7

Publikationskoordination: Estella Weiss-Krejci
Redaktion: Ulrike Schuh
Coverdesign: Mario Börner, Angela Schwab
Englische Textkorrekturen: Mark Pluciennik (Academic Editing Services)
Grafik, Satz, Layout: Angela Schwab

Diese Publikation wurde einem anonymen, internationalen Peer-Review-Verfahren unterzogen.
Für die Einholung der Urheberrechte in Wort und Bild zeichnen die Autorinnen und Autoren selbst verantwortlich.

Alle Rechte vorbehalten
© 2016



VML Verlag Marie Leidorf GmbH
Geschäftsführer: Dr. Bert Wiegel
Stellerloh 65 · D-32369 Rahden/Westf.

Tel: +49 (0)5771 951074
Fax: +49 (0)5771 951075
Homepage: www.vml.de

ISBN 978-3-86757-010-7

Kein Teil des Buches darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, CD-ROM, DVD, Internet oder einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages Marie Leidorf GmbH reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Elektronische Plattformen ohne kommerzielle Nutzung sind davon ausgenommen.

Druck und Produktion: DSC Bevermann GmbH, D-49196 Bad Laer

Inhaltsverzeichnis

Martin Bartelheim – Barbara Horejs – Raiko Krauß Von Baden bis Troia – Ressourcennutzung, Metallurgie und Wissenstransfer.	9
Ernst Pernicka – Publikationen.	15

1. Identifikation und Reflexion von Ressourcen

Svend Hansen – Barbara Helwing Die Anfänge der Silbermetallurgie in Eurasien	41
Eva Rosenstock – Silvine Scharl – Wolfram Schier Ex oriente lux? – Ein Diskussionsbeitrag zur Stellung der frühen Kupfermetallurgie Südosteuropas	59
Tobias Kienlin Some Thoughts on Evolutionist Notions in the Study of Early Metallurgy	123
Martin Bartelheim Metals as Resources in the Early Bronze Age of Bohemia and Moravia	139
Joseph Maran The Persistence of Place and Memory: The Case of the Early Helladic <i>Rundbau</i> and the Mycenaean Palatial <i>Megara</i> of Tiryns	153
Reinhard Jung – Marco Pacciarelli – Gerhard Forstenpointner – Gabriele Slepecki – Gerald E. Weissengruber – Alfred Galik Funde aus dem Müllhaufen der Geschichte im Befestigungsgraben von Punta di Zambrone – Angeln am spätbronzezeitlichen Mittelmeer	175

2. Soziokulturelle Implikationen von Ressourcennutzung

Thomas Stöllner The Beginnings of Social Inequality: Consumer and Producer Perspectives from Transcaucasia in the 4 th and the 3 rd Millennia BC.	209
Christine Neugebauer-Maresch Medizinische Versorgung für alle? Gedanken zu einigen Individualbefunden aus dem frühbronzezeitlichen Gräberfeld Franzhausen I	235
Barbara Horejs Neue Gewichtssysteme und metallurgischer Aufschwung im frühen 3. Jahrtausend – ein Zufall?	251

Raiko Krauß – Clemens Schmid – Dan Ciobotaru – Vladimir Slavchev Varna und die Folgen – Überlegungen zu den Ockergräbern zwischen Karpatenbecken und der nördlichen Ägäis	273
---	-----

Daniela Kern Von stäbchenförmigen Anhängern und Knebeln (in Mitteleuropa)	317
--	-----

3. Ressourcenkomplexe und Produktionsprozesse

Joachim Lutz Alpenkupfer – die Ostalpen als Rohstoffquelle in vorgeschichtlicher Zeit	333
--	-----

Mathias Mehofer Çukuriçi Höyük – Ein Metallurgiezentrum des frühen 3. Jts. v. Chr. in der Westtürkei.	359
---	-----

Zofia Anna Stos-Gale Bronze Age Metal Sources and the Movement of Metals between the Aegean and Anatolia	375
--	-----

Nikolaus Boroffka – Bianka Nessel – Michael Prange – Horia Ciugudean – Matilda Takács Neues Licht auf alte Fragen – Einige besondere Metallobjekte aus dem Depotfund von Aiud, Kreis Alba, Rumänien	399
---	-----

Thomas Hoppe – Roland Schwab Eine tierische Odyssee oder ein Kessel Bunters – Neue metallurgische Untersuchungen am Löwenkessel von Hochdorf	423
--	-----

Clemens Eibner Ost und West, West und Ost, Mobilität und Technologietransfer	439
---	-----

4. Troia und Nordwestanatolien

Hermann Born Das Troja-Gold in Philadelphia – Eine Forschungsreise mit Folgen	455
--	-----

Stephan W. E. Blum Die Karawane zieht weiter... Fernkontakte des Hisarlık Tepe/Troia in der 2. Hälfte des 3. Jahrtausends v. Chr.	473
--	-----

Ivan Gatsov – Petranka Nedelcheva An Important Bronze Age Find from Barcin Höyük, South Marmara Region.	507
---	-----

Magda Pieniążek A Polity in Transition: Troy in the 2 nd Millennium BC.	513
--	-----

Verzeichnis der Autorinnen und Autoren	535
--	-----



Çukuriçi Höyük – Ein Metallurgiezentrum des frühen 3. Jts. v. Chr. in der Westtürkei

*Mathias Mehofer*¹

Zusammenfassung: Im Rahmen der Forschungen auf dem Çukuriçi Höyük, Westtürkei, konnte eine Siedlung ausgegraben werden, die in die Frühbronzezeit 1 zu stellen ist. Die durchgeführten ¹⁴C-Analysen ermöglichen es, diese in den Zeitraum von 2850–2750 calBC zu datieren. In den aufgedeckten Räumen und Gebäuden fanden sich diverse Siedlungsreste, die auf allgemeine Haushaltsaktivitäten, wie etwa Kochen oder Spinnen, hinweisen. Gleichzeitig konnten aber in diesen Räumen umfangreiche metallurgische Ensembles ausgegraben werden, die darauf schließen lassen, dass dort auch eine intensive Metallverarbeitung stattfand. Tiegelfragmente, Düsen, Gussreste, Halbfertigprodukte, Fertigprodukte und auch Öfen fanden sich in großer Zahl auf dem Tell. An den verschlackten Innenflächen der Tiegel fanden sich zahlreiche Metalleinschlüsse mit sehr hohen Arsenkonzentrationen (18–20 Masse%) sowie andere intermetallische Phasen. Dieser bemerkenswert hohe Arsenanteil lässt in Kombination mit den Resultaten eines weiteren Fundstückes, das Kupferstein und Speis enthält, darauf schließen, dass auf dem Tell auch Arsenkupfer produziert wurde. Die Untersuchung dieser metallurgischen Reste, die sich unter dem Begriff „Tiegelmetallurgie“ subsumieren lassen, ermöglichte es, nahezu alle Produktionsstufen von Arsenkupfergegenständen zu beschreiben.

Schlüsselwörter: Türkei, Westanatolien, Frühbronzezeit 1, Entwicklung der Metallurgie, Arsenkupfer, Arsenopyrit, Kupferverarbeitung, Bronze, Archäometallurgie

Der vorliegende Beitrag widmet sich einer Region, welcher Ernst Pernicka schon vor mittlerweile mehr als 30 Jahren seine Aufmerksamkeit² schenkte. Während es zu Anfang vor allem montanarchäologische und metallurgische Fragen waren, die im Rahmen von interdisziplinären Forschungsprojekten untersucht wurden, so rückten in späterer Zeit die archäologischen Fragestellungen in den Vordergrund. War zu Beginn dieser Forschungen der montanarchäologische Kenntnisstand über die Nordwesttürkei noch relativ bescheiden, so konnten in den darauf folgenden Jahren durch seine Untersuchungen bedeutende Schritte vorwärts gemacht werden. Die Nordwesttürkei und die Troas können deshalb, vom archäometallurgischen Standpunkt³ aus betrachtet, nun als relativ gut erforscht gelten. Die westlich anschließenden ägäischen Inseln und griechischen Regionen⁴ blicken ebenfalls auf eine lange archäometallurgische Erforschung zurück, zu der Ernst Pernicka wiederum wichtige Beiträge leistete.⁵ Für die südlich an die Troas anschließenden Regionen der türkischen Westküste kann so ein befriedigender Forschungsstand leider nicht beschrieben werden. Lediglich für die von Hayat Erkanal und Vasif Sahoğlu⁶ untersuchte Çesme Halbinsel mit den beiden wichtigen Fundorten Liman Tepe und Bakla Tepe liegt ein etwas besserer Publikationsstand vor. Die von Ergun Kaptan und Yunus Lengeranlı verfassten Veröffentlichungen⁷ präsentieren dabei zumindest Zusammenstellungen verschiedener im Groß-

¹ VIAS – Vienna Institute for Archaeological Science, Universität Wien, Österreich; mathias.mehofer@univie.ac.at.

² Pernicka et al. 1984; Pernicka 1987; Pernicka 1995; Pernicka et al. 2003.

³ Pernicka et al. 1984; Seeliger et al. 1985; Wagner et al. 1986; Pernicka 1987; Begemann et al. 1994; Pernicka 1995; Yalçın 2000; Begemann et al. 2003; Pernicka et al. 2003.

⁴ Gale et al. 1985; Muhly 1985; Wagner–Weisgerber 1985; McGeehan–Liritzis – Gale 1988; Wagner – Weisgerber 1988; Day – Doonan 2007; Tzachili 2008.

⁵ Pernicka 1987.

⁶ Erkanal 1999; Sahoğlu 2005; Zimmermann 2005; Erkanal 2008; Keskin 2011.

⁷ Kaptan 2008; Lengeranlı 2008.

raum Izmir auffindbarer Erzlagerstätten, während die metallurgischen Reste aus den beiden zuvor genannten Fundplätzen leider nur partiell vorgelegt sind.

Ein ähnlich bescheidener archäometallurgischer Forschungsstand musste bis vor kurzem auch für die restliche westanatolische Küste beschrieben werden. Dies ist umso bedauerlicher, als wir damit eine Region vor uns haben, der im Sinne des Diffusionismus⁸ immer wieder eine Brückenfunktion für die Ausbreitung des metallurgischen Wissens von Vorderasien nach Europa zugeschrieben wurde, wie es zuletzt Christian Strahm in einer Karte zur Ausbreitung der Metallurgie publiziert hat.⁹ Die Rolle der westanatolischen Küste als Ausgangspunkt für den Austausch von metallurgischem Wissen, wie etwa der Arsenkupfertechnologie oder der Zinnbronzetechnologie im 3. Jt. v. Chr.¹⁰, bleibt dabei jedoch weitgehend unklar bzw. fehlen die archäologischen und metallurgischen Funde und Befunde, anhand derer sich der metallurgische Entwicklungsstand detailliert beschreiben ließe.

Metallverarbeitung auf dem Tell

Durch die Ausgrabungen auf dem Çukuriçi Höyük,¹¹ in der Nähe der antiken Stadt Ephesos gelegen, haben wir nun erstmals die Gelegenheit, einen tiefen Einblick in die „chaîne opératoire“ eines in die erste Hälfte des 3. Jts. v. Chr. datierten Metallverarbeitungs- und Produktionsplatzes¹² zu bekommen. Diese der Frühbronzezeit 1 zugewiesenen Siedlungsphasen ÇuHö III und IV lassen sich durch die ¹⁴C-Datierungen in den Zeitraum von 2850–2750 calBC stellen.¹³

Seine Lage direkt an der Mündung des Küçük Menderes macht den Tell zu einem idealen „Gateway“¹⁴ für verschiedene östägäische und westanatolische Austauschnetzwerke.¹⁵ Diese existierten zum Teil schon vor dem Beginn der Bronzezeit, wie die auf dem Tell gefundenen Obsidianobjekte, deren Rohmaterial von der ca. 300 km entfernten Insel Melos¹⁶ stammt, zeigten. Die Einbindung des Siedlungshügels in frühbronzezeitliche Austausch- und Kommunikationsnetzwerke ist auch anhand einer auf dem Tell hergestellten Silber-Kupferlegierung¹⁷ erkennbar, die in dieser speziellen Zusammensetzung über sehr weite Strecken beobachtet werden kann. Als westlichsten Fundpunkt können wir ein vermutlich aus Bosnien stammendes Depot von Schaftlochäxten nennen, welches von Svend Hansen überzeugend in das zweite Viertel des 3. Jts. v. Chr. datiert wurde.¹⁸ Etwas älter sind die Funde aus dem „Königsgrab“ von Arslantepe, in der Osttürkei gelegen, oder aus dem so genannten „Riemchengebäude“ in Uruk-Warka (Mesopotamien), wo eine Pfeilspitze aus solch einer Silber-Kupferlegierung ans Licht kam.¹⁹ Die auf dem Tell gefundenen kleinen Steingewichte, die sich an dem metrischen System der „syrischen Mine“ orientieren, belegen ebenfalls die Einbindung des Çukuriçi Höyük in überregionale Interaktionsräume.²⁰

Die Ausgrabungen ermöglichen nun eine sehr umfassende Beschreibung einer frühbronzezeitlichen Metallwerkstatt, wie sie bis dato nur für wenige ostanatolische Fundorte, wie etwa Norşun-

⁸ Childe 1951; Wertime 1964; Tylecote 1976; Heskell 1983; Muhly 1985, 115; Muhly 1988; Pernicka et al. 1984; Roberts et al. 2009; Roberts – Thornton 2014.

⁹ Strahm 2012, 28.

¹⁰ Pernicka 1998; Begemann et al. 2003, 168, Abb. 15.

¹¹ Horejs 2008; Horejs 2009; Horejs 2010; Horejs et al. 2011; Horejs 2012.

¹² Horejs 2009; Horejs et al. 2010; Mehofer 2011; Mehofer 2014; Mehofer 2015; Mehofer in Vorbereitung.

¹³ Es sei aber auch nochmals erwähnt, dass sich in allen ausgegrabenen Räumen auch Reste normaler Siedlungstätigkeit, wie etwa Spinnwirtel oder Kochgeschirr, fanden. Horejs 2008; Horejs – Mehofer 2015.

¹⁴ Knitter et al. 2012, 364, Abb. 2.

¹⁵ Sahoğlu 2005; Kouka 2002; Kouka 2008; Knitter et al. 2013, 10, Abb. 9.

¹⁶ Bergner et al. 2008, 252; Knitter et al. 2012.

¹⁷ Horejs et al. 2010, 19, Tab. 1.

¹⁸ Born – Hansen 2001, 35, 52, Abb. 45.

¹⁹ Pernicka 1993, 312–316; Hauptmann et al. 2002, 51, Tab. 7; Horejs et al. 2010, 23, Abb. 10.

²⁰ Horejs 2009, 365, Abb. 8.



Abb. 1 Das Photo zeigt einen Großteil der bisher auf dem Tell gefundenen Metallgegenstände und Werkzeuge zur Metallverarbeitung (Stand 2012) (Foto: N. Gail, ÖAI).

tepe,²¹ möglich war. Die außergewöhnlich große Menge an metallurgischen Funden erlaubt es (Abb. 1), eine detaillierte Rekonstruktion der einzelnen metallurgischen Prozessschritte zu beschreiben. Zahlreiche Gusstiegeelfragmente, zehn Düsenaufsätze für Blasrohre oder auch eine vergleichsweise große Anzahl von drei Stabbarrengussformen²² belegen, dass das Metall nicht nur verarbeitet, sondern auch gesammelt und in großem Maßstab normierte Barren zum Weiterhandeln umgeschmolzen wurde. Beachtenswert ist auch die große Menge von weit über 100 gefundenen Metallgegenständen (darunter auch Dolche und Flachbeile) – eine Anzahl, die wir aus vergleichbaren Fundorten der Frühbronzezeit 1 sonst nicht kennen.²³

In beiden Siedlungsphasen wurden für das Schmelzen des Metalls notwendige flach-schüsselförmige und hufeisenförmige Öfen gefunden, die sich gut mit den in Norşuntepe gefundenen Öfen vergleichen lassen.²⁴ Insgesamt sind bis jetzt 54 so konstruierte frühbronzezeitliche Öfen ausgegraben worden. Davon fanden sich 26 im Zentrum des Tells, wo auch die intensivsten metallurgischen Tätigkeiten beobachtet werden konnten. Die Metallproduktion war dabei darauf ausgerichtet, nicht nur Objekte für den örtlichen Bedarf herzustellen, sondern diese auch in überregionale Austauschnetzwerke einzuspeisen.²⁵

²¹ Hauptmann 1976; Müller-Karpe 1994, 22–23, 28–32.

²² Horejs 2009, 363, Abb. 6, 267, Abb. 7; Mehofer 2014, 464, Abb. 1.

²³ Aus der zeitgleichen Siedlungsphase in Troia (Troia I) kennen wir nur ca. 18 Gegenstände, was aber auch an der gering ausgegrabenen Fläche dieses Zeitabschnittes liegt. Aus Demircihüyük sind nur 29 Metallgegenstände bekannt. Schliemann 1881; Blegen et al. 1950, 42, Tab. 2; Baykal-Seeher – Obladen-Kauder 1996, 313; Ünlüsoy 2008.

²⁴ Hauptmann 1976, Tafel 5/1, 2.

²⁵ Mehofer 2014, 464.

Arsenkupferproduktion

Die Analysen konnten bereits zeigen, dass das Wissen um die Metallverarbeitung ab dem Spätchalkolithikum auf dem Tell vorhanden war.²⁶ Über die Herkunft und die Produktionsprozesse des dabei verwendeten Arsenkupfers kann leider nur gemutmaßt werden, wenn auch aufgrund der schon durchgeführten Spurenelement- und Bleiisotopenanalysen eine regionale Bezugsquelle am Wahrscheinlichsten in Frage kommt.²⁷ Ähnliches wird zum Beispiel von Ulf Schoop für den ebenfalls chalkolithisch datierten Fundplatz von Çamlıbel Tarlası in der Mitteltürkei postuliert.²⁸

Die in die Frühbronzezeit 1 datierten Werkstattreste – vor allem die Tiegelfragmente – bieten für die Rekonstruktion der metallurgischen Prozesse eine bedeutend bessere Ausgangsbasis. Von den 57 gefundenen Tiegelfragmenten konnten 41 im archäometallurgischen Labor des Vienna Institute for Archaeological Science (VIAS) mittels eines Rasterelektronenmikroskops (REM-EDS)²⁹ untersucht werden. Zusätzlich wurde ein Schlackenfragment analysiert,³⁰ dessen Mikrogefüge – ein Kupferstein-Speis Gemisch – wesentlich zur Rekonstruktion der auf dem Tell durchgeführten metallurgischen Prozesse beitrug.³¹ Ihm können die Resultate des im Folgenden vorgestellten Tiegelfragments (Kat. Nr. 185) zur Seite gestellt werden, dessen Untersuchung (Abb. 2) höchst interessante Hinweise für die Beschreibung der durchgeführten Schmelzoperationen erbrachte.³²

Kupfereinschlüsse mit hoher Arsenkonzentration

Das Tiegelfragment besitzt im heutigen Zustand Abmessungen von $5,95 \times 4,5 \times 2,6$ cm, es hat eine Masse von 66 g. Seine Unterseite ist flach (= Tiegelboden), seine Ober-/Innenseite ist unregelmäßig geformt und auf einer Dicke von ca. 1,3 cm verschlackt. Diese Schlackeschicht setzt sich hauptsächlich aus aufgeschmolzenem Tiegelmateriale zusammen, in ihr sind zahlreiche größere und kleinere hocharsenhaltige Metalleinschlüsse zu erkennen. Zusätzlich sind viele Kupferarsenid- und Kupfereisensulfideinschlüsse sichtbar. Ihre Durchmesser variieren von Submillimeter bis hin zu Millimetergröße.

Beginnen wir zuerst mit den hocharsenhaltigen Metalleinschlüssen (Abb. 3), die sich regelmäßig in der Schlackeschicht finden. Die Flächenanalysen zeigen, dass sie eine durchschnittliche Arsenkonzentration von 19–21 Masse% As aufweisen. In dem von Pavoorchatram R. Subramanian und David E. Laughlin publizierten Cu–As Zustandsdiagramm³³ kann man erkennen, dass dies der eutektischen Zusammensetzung mit einem Schmelzpunkt von 685° C entspricht.

²⁶ Mehöfer in Vorbereitung.

²⁷ Diese Analysen wurden am CEZ-Mannheim durchgeführt. Mehöfer 2014; Mehöfer 2015.

²⁸ Marsh 2010; Rehren – Radivojevic 2010; Schoop 2010.

²⁹ Zum Einsatz kam das institutseigene Rasterelektronenmikroskop Zeiss EVO 60 XVP des VIAS, die Analyse der chemischen Zusammensetzung erfolgte mit einem angeschlossenen EDS – System der Fa. Oxford Instruments (INCA 400). Die Größe der Messflächen reicht von $30 \times 20 \mu\text{m}$ bis zu $4 \times 4 \text{ mm}$. Alle Ergebnisse wurden auf 100% normiert. Messbedingungen: Hochvakuummodus, Beschleunigungsspannung 20 kV, Arbeitsabstand 9,5 mm, Aufnahmedauer Röntgenspektren (Lifetime) 200 sek., Detektortotzeit 30–40%, Strahlstrom 100 μA und Vakuum mind. 10^{-5} Pa. Zur Überprüfung der Quantifizierung wurden Vergleichsmetalle mit bekannter Zusammensetzung verwendet, alle 120 Minuten wurde mit einem Co-Standard neu optimiert. Die Anschliffe wurden mit Kohlenstoff bedampft. Abhängig von Geräteparametern und Ordnungszahlen der analysierten Elemente liegt die Eindringtiefe des Elektronenstrahls bei wenigen μm . Die Bestimmung der Haupt- und Nebenelemente unterliegt dabei verschiedensten Einflüssen. Melcher – Schreiner 2004, 331 Tab. 1; Mehöfer – Kucera 2005.

³⁰ Mehöfer 2014; Mehöfer 2015.

³¹ Die Zusammensetzung der einzelnen chemischen Phasen wurde bereits an anderer Stelle diskutiert bzw. werden sie in einer kommenden Monographie ausführlich vorgelegt, sodass auf diese Publikationen verwiesen werden soll. Mehöfer 2014, 466 Tab. 1; Mehöfer 2015.

³² Mehöfer 2015.

³³ Subramanian – Laughlin 1994; Junk 2003, 20, Abb. 3.1.

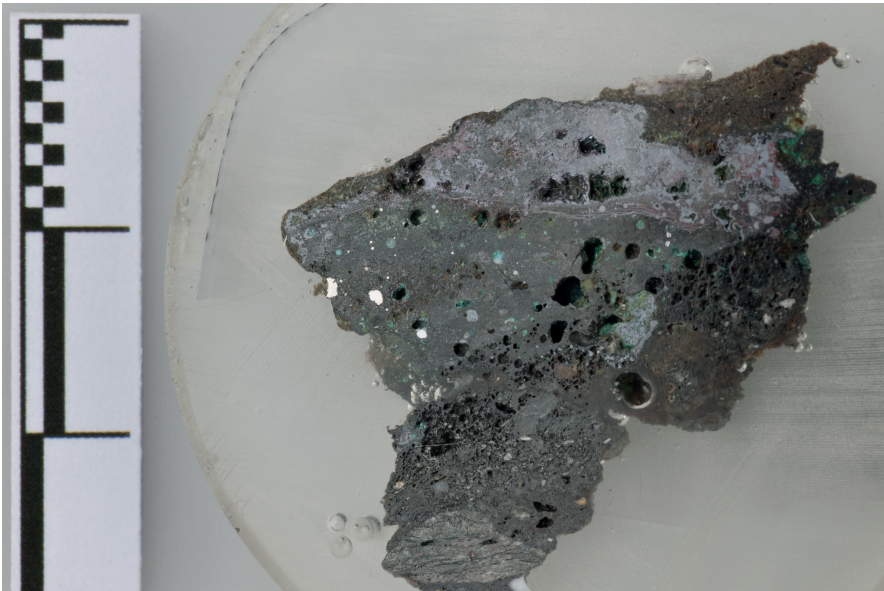


Abb. 2 Anschliff des Tiegelfragmentes Kat. Nr. 185. Rechts oben ist eine durch Korrosion veränderte Schicht erkennbar (hellgrau), darunter ist die verschlackte Innenfläche (mittelgrau) des Tiegels mit zahlreichen Arsenkupfereinschlüssen (gelblich-weiß) sichtbar. Die unterste Schicht wird von unverändertem keramischem Tiegelmateriale gebildet (Foto: M. Mehofer, VIAS).

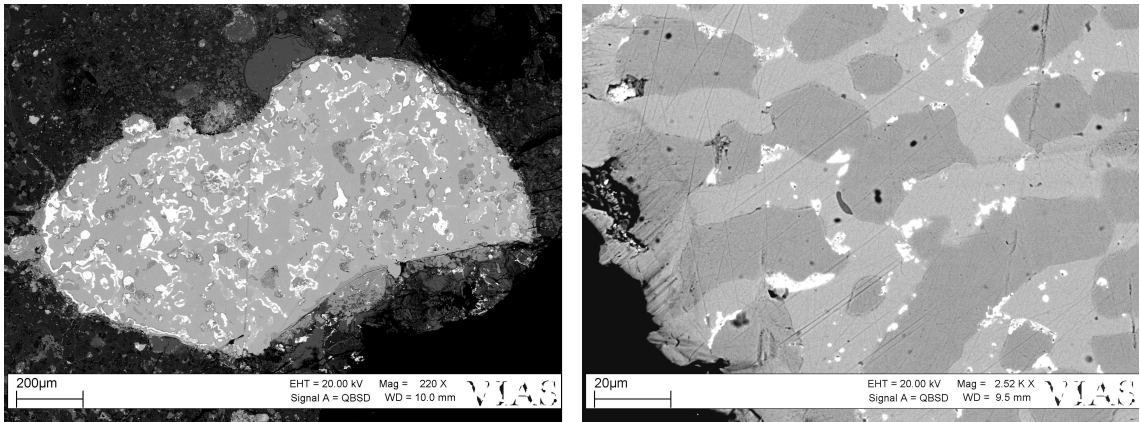


Abb. 3 Kat. Nr. 185 – Links: Hocharsenhaltiger Kupfereinschluss; rechts: Detail aus diesem Kupfereinschluss: dunkelgrau = Kupfer mit niedriger Arsenkonzentration; hellgrau = hocharsenhaltiges Kupferarsenid ($\gamma\text{-Cu}_3\text{As}$), weiß = Bleieinschlüsse, schwarz = Korrosion (Foto: M. Mehofer, VIAS).

Messung	Messbereich	Ni	Cu	As	Pb
M 1	metallisches Kupfer = dunkelgraue Phase, Punktmessung	0,9	90	9,1	D.l.
	(δ)	0,6	0,9	0,8	
M 2	Kupferarsenid ($\gamma\text{-Cu}_3\text{As}$) = hellgraue Phase, Punktmessung	0,3	69	30,4	D.l.
	(δ)	0,3	1,2	0,8	

Tab. 1 Kat. Nr. 185: Zusammensetzung der einzelnen Phasen des Arsenkupfereinschlusses (Abb. 3) mit hoher Arsenkonzentration. Alle Angaben in Masse%. „D.l.“ = unter dem Detektionslimit der Analyseeinrichtung.

Die Detailmessungen innerhalb dieser hocharsenhaltigen Kupfereinschlüsse lassen zwei unterschiedliche Phasen erkennen. Zum einen ist metallisches Kupfer mit einer Arsenkonzentration von ca. 4 bis max. 9 Masse% vorhanden (Tab. 1/M 1), zum anderen ist Kupferarsenid ($\gamma\text{-Cu}_3\text{As}$) als eigene intermetallische Phase detektierbar (Tab. 1/M 2). Zusätzlich können Blei- und Kupfersulfideinschlüsse festgestellt werden.

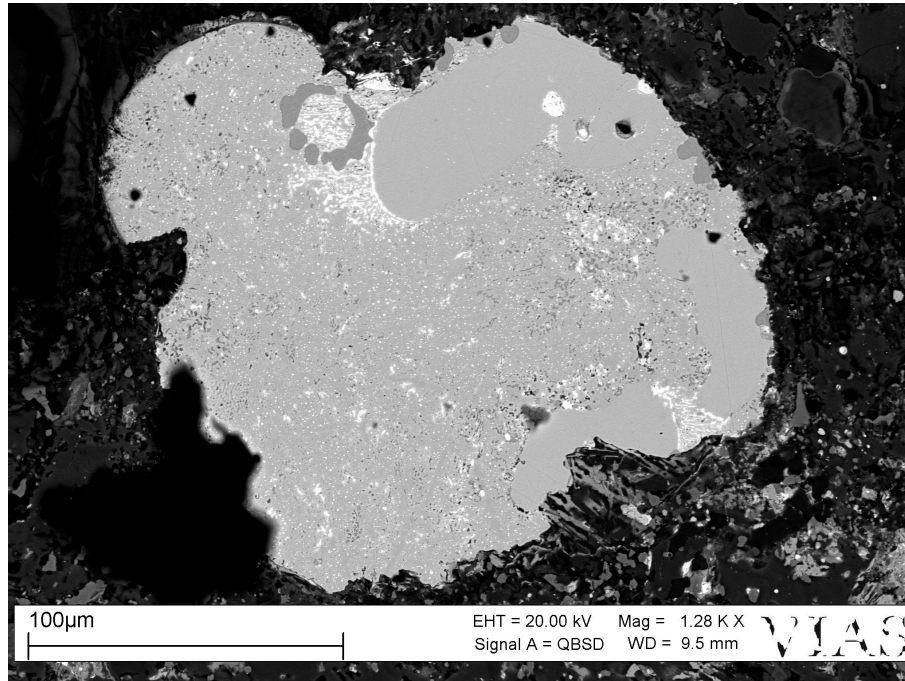


Abb. 4 Kat. Nr. 185: REM-Aufnahme eines Kupferarsenideinschlusses, hellgrau = Kupferarsenid, dunkelgrau = Kupfersulfide, weiß = Bleieinschlüsse, dunkel-schwarz = Schlackenmatrix (Foto: M. Mehofer, VIAS).

Kupferarsenideinschlüsse

Neben diesen Arsenkupfereinschlüssen sind in der Schlackeschicht auch separate bläuliche Einschlüsse sichtbar, die sich wieder als Kupferarsenide identifizieren lassen (Abb. 4). In ihnen ist kein oder nur sehr wenig metallisches Kupfer vorhanden. Sie besitzen eine Arsenkonzentration von um die 30 Masse%. Gelegentlich sind in diesen Kupferarsenideinschlüssen arsenärmere Bereiche sichtbar, die zusätzlich Eisen, Nickel und Blei enthalten. Weiters können Kupfersulfide detektiert werden. Letztere sind, wie für aus der Schmelze erstarrte Sulfide zu erwarten, elipsoid-globular geformt. Bemerkenswert ist, dass sich diese Kupfersulfide in ihrer Form und Zusammensetzung von den restlichen in der Schlackeschicht gefundenen blockartig geformten Kupfereisensulfiden unterscheiden.

Diskussion

Solche Einschlüsse lassen sich nun in mehreren auf dem Tell gefundenen Tiegelfragmenten detektieren und geben uns damit einen Einblick in die durchgeführten Schmelzoperationen. Zualererst können wir feststellen, dass es sich um Mikrogefüge handelt, wie sie beim Umschmelzen von Arsenkupfer mit durchschnittlicher Arsenkonzentration³⁴ sonst nicht auftreten. Vielmehr lassen die Analysen erkennen, dass während des Schmelzens ein großer Arsenüberschuss vorhanden gewesen sein muss, der zur Bildung dieser intermetallischen Phasen führte.

³⁴ So haben zum Beispiel die Funde aus westanatolischen Fundorten wie Beşiktepe (Troia I); Poliochni (Phase Azurro) und Thermi (Thermi I und II) einen Arsengehalt, der sehr selten eine Konzentration von 4–5 Masse% überschreitet. Stos-Gale 1992, 175, Appendix 3; Pernicka 1995, 266, Tab. 1; Begemann et al. 2003, 178, Tab. 2.

Die von Heather Lechtman und Sabine Klein durchgeführten Experimente zur Produktion von Arsenkupfer geben uns nun einen Hinweis auf die metallurgischen Prozesse. Obwohl es sich um Laborversuche handelt, die sich nicht direkt auf die archäologischen Befunde³⁵ umlegen lassen, helfen sie doch bei der Interpretation der Ergebnisse. Im Rahmen ihrer Versuche entstand Kupfer mit einer ähnlich hohen Arsenkonzentration wie in unseren Tiegeln.

Beziehen wir diese Beobachtungen in die Betrachtung der Analyseresultate der Tiegel und des Kupferstein-Speiss Stückes mit ein, so können wir postulieren, dass in den Tiegeln hocharsenhaltiges Arsenkupfer produziert und zu Kupfer mit niedrigeren Arsen- und Bleikonzentrationen³⁶ weiterverarbeitet wurde.

Solche Mikrogefüge und Arsenkonzentrationen kennen wir bis jetzt erst von sehr wenigen Fundorten. Thilo Rehren erwähnt Arsenkupfereinschlüsse in Tiegelfragmenten aus Arisman, deren Analysen zeigen aber in keinem Fall vergleichbar hohe Arsenkonzentrationen. Einzig ein von Ernst Pernicka untersuchter Gussrest, ebenfalls aus Arisman (Iran), und ein Schmuckstück aus Armenien haben ähnlich hohe Werte.³⁷

Vergleich mit dem Schmelzplatz Arisman (Iran)

Diese Beobachtung führt natürlich unweigerlich zu der Frage, wie das Arsenkupfer hergestellt wurde. Ging die Forschung³⁸ in den vergangenen Jahren davon aus, dass arsen- und kupferhaltige Erze z. B. aus der Verwitterungszone einer Lagerstätte zur Herstellung von Arsenkupfer genutzt wurden, so zeigten die jüngsten Forschungen auf den Fundplätzen Çamlıbel Tarlası und Arisman (Iran), dass auch eine andere Variante denkbar ist.³⁹ Die archäometrischen Untersuchungen der dort gefundenen Schlacken und Schmelzreste legen nahe, dass das Kupfer in einem eigenen Schmelzprozess produziert und diesem dann separat erschmolzene Speis – ein Eisenarsenid (FeAs) – beigegeben wurde, um es mit Arsen anzureichern. Wesentlicher Vorteil ist, dass dem Ausgangserz der Speis – dem Arsenopyrit (FeAsS) – der Schwefel bereits vorab entzogen wird, sodass dieser sich während des Schmelzprozesses nicht mehr an das Kupfer binden kann. Dadurch verbessern sich die Qualität und die Ausbeute an Arsenkupfer. Bis dato können wir nur wenige Fundorte nennen, auf denen Speis gefunden worden ist. Dies sind zum Beispiel Arisman, Tepe Hissar und Shar-i Sokhta (alle Iran) sowie Almizaraque (Spanien) oder Poros Katsambas (Kreta)⁴⁰.

Diese Speisherstellung ist nun am Fundort Arisman⁴¹ am besten dokumentiert. Dort sind Ofeninstallationen, Schlacken und Tiegelfragmente ausgegraben worden, die sicher auf diese metallurgische Technik schließen lassen. Die in „Area A“ gefundenen Schlackenhalden datieren in den Zeitraum von ca. 3100–2900 v. Chr.⁴² Ihre Untersuchung machte es möglich, zwei Arten – die so genannten grauen und braunen Schlacken – voneinander zu unterscheiden. In der braunen Schlacke wurde neben den für Schlacke typischen Elementen ausschließlich Arsen (und kein Kupfer) detektiert, während die graue Schlacke sowohl Kupfer- als auch Arsen enthielt.⁴³ Diese differierenden Zusammensetzungen erlaubten es Thilo Rehren und seinen Mitautoren, einen

³⁵ Lechtman – Klein 1999, 517.

³⁶ Mehoffer 2015.

³⁷ Meliksetian et al. 2011, 211; Pernicka et al. 2011, 675, Tab. 14; Rehren et al. 2012, 1720, Tab. 2.

³⁸ Zwicker 1977; Heskell 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.

³⁹ Schoop 2010, 208–216; Pernicka et al. 2011; Rehren et al. 2012, 1722.

⁴⁰ Der Fund aus Kreta wird aber von R. Doonan und T. Rehren unterschiedlich gedeutet. Keesmann – Moreno-Onorato 1999; Hauptmann et al. 2003, 201, 211; Müller et al. 2004, 42, 44, Abb. 5; Doonan et al. 2007, 109, Abb. 6/5; Thornton et al. 2009, 309; Thornton – Rehren 2009; Pernicka et al. 2011; Rehren et al. 2012, 1726.

⁴¹ Pernicka et al. 2011, 633; Steiniger 2011; Vatandoust et al. 2011.

⁴² Pernicka et al. 2011; Rehren et al. 2012, 1718.

⁴³ Rehren et al. 2012, 1720–1721.

mehrstufigen Prozess zu postulieren, während dem in einem eigenen Schmelzprozess Speis⁴⁴ hergestellt wurde. Diese wurde dann in einem weiteren Schmelzvorgang zu Arsenkupfer verschmolzen, indem die Speis dem schmelzflüssigen Kupfer (oder Kupfererz) unter leicht oxidierenden Bedingungen zugesetzt wurde.⁴⁵

Die dafür verwendeten Ofeninstallationen unterscheiden sich eindeutig von den auf dem Çukuriçi Höyük gefundenen metallurgischen Anlagen, auch Form und Größe der Tiegel sind unterschiedlich. Die in Arisman gefundenen Tiegelfragmente lassen auf Abmessungen von ca. 13,5 cm Höhe und 19–22 cm Durchmesser schließen. Einige besitzen zusätzlich einen durchlochenden Fuß, die restlichen einen flachen Boden.⁴⁶ Die Tiegel des Çukuriçi Höyük haben um einiges geringere Abmessungen, die Handhaben und Tüllen sind ausschließlich seitlich angebracht. Ein durchlochender Fuß konnte in keinem Fall festgestellt werden. Wesentlicher Unterschied ist jedoch auch, dass in Arisman die Tiegel in die (Schacht)Öfen⁴⁷ eingebaut waren und so einen temporären Teil der Ofenkonstruktion bildeten. Dies ist bei den flach-runden und hufeisenförmigen Öfen⁴⁸ vom Çukuriçi Höyük eindeutig nicht der Fall.

Fassen wir diese Beobachtungen zusammen, so können wir feststellen, dass sich die in Arisman und auf dem Çukuriçi Höyük gefundenen metallurgischen Reste voneinander unterscheiden.⁴⁹ Während für Arisman ein mehrstufiger Prozess zur Arsenkupferproduktion rekonstruiert wird, lassen es die Untersuchungsergebnisse des Çukuriçi Höyük bisher nur zu, einen einstufigen Prozess – z. B. das gemeinsame Schmelzen arsen- und kupferhaltiger Erze (etwa Olivenit ($\text{Cu}_2(\text{AsO}_4)(\text{OH})$)⁵⁰ – zu postulieren.

Diese Unterschiede mögen nicht nur in der großen räumlichen Distanz, sondern auch in der unterschiedlichen Organisation der Schmelzplätze sowie in den naturräumlichen und geologischen Gegebenheiten begründet sein. Die in Arisman ausgegrabenen Öfen und großen Schlackenhalde lassen erkennen, dass dort Metallproduktion in sehr großem Umfang betrieben wurde. Auch die Herkunft des verwendeten Erzes aus zum Teil in großer Entfernung liegenden Lagerstätten kann postuliert werden.⁵¹

So eine Assoziation mit verschiedenen Erzlagertstätten ist für den Çukuriçi Höyük noch in Diskussion. Die von Danilo Wolf durchgeführten geologischen Surveys⁵² im Umfeld des Tells lieferten aber bereits vielversprechende Ergebnisse, deren endgültige Bewertung noch aussteht. Im Zuge seiner Forschungen konnte er bereits zwei Arsenopyritlagerstätten in der weiteren Umgebung des Fundplatzes herausstellen. Ob ihre Erze auch abgebaut und zur Produktion des Arsenkupfers genutzt wurden, werden die zukünftigen Forschungen zeigen.⁵³

⁴⁴ Thornton et al. 2009, 308; Rehren et al. 2012.

⁴⁵ Rehren et al. 2012, 1726.

⁴⁶ Steiniger 2011, 76.

⁴⁷ Steiniger 2011, 76, 77, 78, Abb. 19.

⁴⁸ Horejs et al. 2010, 10 Abb. 2, 17 Abb. 8.

⁴⁹ Mehöfer 2015.

⁵⁰ Rehren et al. 2012, 1724.

⁵¹ Pernicka et al. 2011, 674–679.

⁵² Wolf et al. 2012.

⁵³ Wolf u. a. 2012; Mehöfer 2015.

Day – Doonan 2007

P. M. Day – R. C. P. Doonan (Hrsg.), *Metallurgy in the Early Bronze Age Aegean*, Sheffield Studies in Aegean Archaeology 7 (Oxford 2007).

Doonan et al. 2007

R. Doonan – P. Day – N. Dimpoulou-Rethemiotaki, *Lame excuses for emerging complexity in Early Bronze Age Crete. The metallurgical finds from Poros Katsambas and their context*, in: Day – Doonan 2007, 98–122.

Erkanal 1999

H. Erkanal, *Early Bronze Age fortification Systems in the Izmir Region*, in: P. P. Betancourt – V. Karageorghis – R. Laffineur – W. D. Niemeier (Hrsg.), *Meletemata. Studies in Aegean Archaeology – Presented to Malcolm H. Wiener as He Enters his 65th Year*, *Aegaeum* 20 (Liège, Austin/Texas 1999) 237–242.

Erkanal 2008

H. Erkanal, *Die neuen Forschungen in Bakla Tepe bei Izmir*, in: Erkanal et al. 2008 165–177.

Erkanal et al. 2008

H. Erkanal – H. Hauptmann – V. Şahoğlu – R. Tuncel (Hrsg.), *The Aegean in the Neolithic, Chalcolithic and the Early Bronze Age. Proceedings of the International Symposium in Urla, October 13th–19th 1997* (Urla/Izmir 2008).

Gale et al. 1985

N. H. Gale – Z. A. Stos-Gale – G. R. Gilmore, *Alloy types and copper sources of Anatolian copper alloy artefacts*, *Anatolian Studies* 35, 1985, 143–174.

Hauptmann 1976

H. Hauptmann, *Die Entwicklung der frühbronzezeitlichen Siedlung auf dem Norşuntepe in Ostanatolien*, *Archäologisches Korrespondenzblatt* 6, 1976, 9–20.

Hauptmann et al. 2002

A. Hauptmann – F. Begemann – A. Palmieri – S. Schmitt-Strecker, *Chemical composition and lead isotopy of metal objects from the “royal” tomb and other related finds at Arslantepe, eastern Anatolia*, *Paléorient* 28, 2002, 43–69.

Hauptmann et al. 2003

A. Hauptmann – T. Rehren – S. Schmitt-Strecker, *Early Bronze Age copper metallurgy at Shahr-i Sokhta (Iran), reconsidered*, in: Th. Stöllner – G. Körlin – G. Steffens – J. Cierny (Hrsg.), *Man and Mining. Mensch und Bergbau. Studies in Honour of Gerd Weisgerber on the Occasion of His 65th birthday*, *Der Anschnitt Beiheft* 16 (Bochum 2003) 197–213.

Heskel 1983

D. L. Heskel, *A model for the adoption of metallurgy in the ancient Middle East*, *Current Anthropology* 24, 1983, 362–366.

Horejs 2008

B. Horejs, mit Beiträgen von A. Galik und U. Thanheiser, *Erster Grabungsbericht zu den Kampagnen 2006 und 2007 am Çukuriçi Höyük bei Ephesos*, *Jahreshefte des Österreichischen Archäologischen Institutes in Wien* 77, 2008, 91–106.

Horejs 2009

B. Horejs, *Metalworkers at the Çukuriçi Höyük? An Early Bronze Age mould and a “near eastern weight” from western Anatolia*, in: T. L. Kienlin – B. Roberts (Hrsg.), *Metals and societies. Studies in honour of Barbara S. Ottaway*, *Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie* 169 (Bonn 2009) 358–368.

Horejs 2010

B. Horejs, *Çukuriçi Höyük. Neue Ausgrabungen auf einem Tell bei Ephesos*, in: A. Kazim Oz – S. Aybek (Hrsg.), *The Land of the Crossroads. Essay in Honour of Recep Meriç* (Istanbul 2010) 167–175.

Horejs 2012

B. Horejs, *Çukuriçi Höyük. A Neolithic and Bronze Age Settlement in the Region of Ephesos*, in: M. Özdoğan – P. Kuniholm – N. Başgelen (Hrsg.), *The Neolithic in Turkey. New Excavations & New Research. Western Turkey* (İstanbul 2012) 117–131.

Horejs – Mehofer 2015

B. Horejs – M. Mehofer, *Early Bronze Age metal workshops at Çukuriçi Höyük. Production of arsenical copper at the beginning of the 3rd millennium BC*, in: H. Hauptmann – D. Modarressi-Tehrani (Hrsg.), *Archaeometallurgy in*

Europe III. Proceedings of the 3rd International Conference, Deutsches Bergbau-Museum Bochum, June 29 – July 1, 2011, *Der Anschnitt*, Beiheft 26, Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum 202 (Bochum 2015) 165–176.

Horejs et al. 2010

B. Horejs – M. Mehofer – E. Pernicka, Metallhandwerker im frühen 3. Jt. v. Chr. Neue Ergebnisse vom Çukuriçi Höyük, *Istanbulur Mitteilungen* 60, 2010, 7–37.

Horejs et al. 2011

B. Horejs – A. Galik – U. Thanheiser – S. Wiesinger, Aktivitäten und Subsistenz in den Siedlungen des Çukuriçi Höyük. Der Forschungsstand nach den Ausgrabungen 2006–2009, *Prähistorische Zeitschrift* 86, 2011, 1, 31–66.

Junk 2003

M. Junk, Material Properties of Copper Alloys Containing Arsenic, Antimony, and Bismuth. The Material of Early Bronze Age Ingot Torques (Diss., Technische Universität Bergakademie Freiberg 2003).

Kaptan 2008

E. Kaptan, Metallurgical residues from Late Chalcolithic and Early Bronze Age Liman Tepe, in: Erkanal et al. 2008, 243–250.

Keesmann – Moreno-Onorato 1999

I. Keesmann – A. Moreno-Onorato, Naturwissenschaftliche Untersuchungen zur frühen Technologie von Kupfer und Kupfer-Arsen-Bronze, in: A. Hauptmann – E. Pernicka – Th. Rehren – Ü. Yalcin (Hrsg.), *The Beginnings of Metallurgy*, *Der Anschnitt Beiheft* 9 (Bochum 1999) 317–332.

Keskin 2011

L. Keskin, Metalworking in western Anatolian coastal region in the 3rd millennium BC, in: V. Şahoğlu – P. Sotirakopoulou (Hrsg.), *Across. The Cyclades and Western Anatolia During the 3rd Millennium BC*. Ausstellungskatalog Sabancı University Sakıp Sabancı Museum (Istanbul 2011) 144–153.

Knitter et al. 2012

D. Knitter – M. Bergner – B. Horejs – B. Schütt – M. Meyer, Concepts of centrality and models of exchange in pre-historic western Anatolia, in: W. Bebermeier – R. Hebenstreit – E. Kaiser – J. Krause (Hrsg.), *Landscape Archaeology. Proceedings of the International Conference Held in Berlin, 6th–8th June 2012*, *eTopoi. Journal for Ancient Studies*, Special Volume 3 (Berlin 2012) 361–368. Online <<http://journal.topoi.org/index.php/etopoi/issue/view/4>> (letzter Zugriff 8. Juli 2015).

Knitter et al. 2013

D. Knitter – H. Blum – B. Horejs – O. Nakoinz – B. Schütt – M. Meyer, Integrated centrality analysis. A diachronic comparison of selected Western Anatolian locations, *Quaternary International* 312, 2013, 45–56.

Kouka 2002

O. Kouka, Siedlungsorganisation in der Nord- und Ostägäis während der Frühbronzezeit (3. Jt. v. Chr.), *Internationale Archäologie* 58 (Rahden/Westf. 2002).

Kouka 2008

O. Kouka, Cross-cultural links and elite-identities. The Eastern Aegean/Western Anatolia and Cyprus from the early third millennium through the early second millennium BC, in: R. M. Boehmer – J. Maran (Hrsg.), *Lux Orientis. Archäologie zwischen Asien und Europa. Festschrift für Harald Hauptmann zum 65. Geburtstag*, *Studia Honoraria* 12 (Rahden/Westf. 2001) 31–47.

Lamb 1936

W. Lamb, *Excavations at Thermi in Lesbos* (Cambridge 1936).

Lechtman – Klein 1999

H. Lechtman – S. Klein, The production of copper-arsenic alloys (arsenic bronze) by cosmelting. Modern experiment, ancient practice, *Journal of Archaeological Science* 26, 1999, 497–526.

Lengermanlı 2008

Y. Lengermanlı, Metallic mineral deposits and occurrences of the Izmir District, in: Erkanal et al. 2008, 355–367.

Marsh 2010

B. Marsh, Geoarchaeology of the Human Landscape at Boğazköy-Hattuša (Beitrag in A. Schachner, *Die Ausgrabungen in Boğazköy-Hattuša* 2009), *Archäologischer Anzeiger* 6, 2010, 201–207.

McGeehan-Liritzis – Gale 1988

V. McGeehan-Liritzis – N. H. Gale, Chemical and lead isotope analyses of Greek Late Neolithic and Early Bronze Age metals, *Archaeometry* 30, 1988, 199–225.

Mehofer 2011

M. Mehofer, Archaeometallurgical research at the tell Çukuriçi Höyük. Archaeometric and experimental investigations of an Early Bronze Age metal Workshop, in: A. Hauptmann – D. Modarressi-Tehrani – M. Prange (Hrsg.), *Archaeometallurgy in Europe III. Abstracts. International Conference Deutsches Bergbau-Museum Bochum, June 29th–July 1st 2011, Metalla Sonderheft 4* (Bochum 2011) 51–52.

Mehofer 2014

M. Mehofer, The development of metallurgy during the Chalcolithic and the beginning of the Early Bronze Age in western Anatolia, in: B. Horejs – M. Mehofer (Hrsg.), *Western Anatolia before Troy. Proto-Urbanisation in the 4th millennium BC, OREA 1* (Wien 2014) 463–490.

Mehofer 2015

M. Mehofer, Spätkalkolithische und frühbronzezeitliche Metallurgie auf dem Çukuriçi Höyük. Metallverarbeitung im 4. und 3. Jt. v. Chr. in Westanatolien (Diss., Universität Tübingen 2015).

Mehofer in Vorbereitung

M. Mehofer, Die spätkalkolithischen Metallfunde vom Çukuriçi Höyük bei Ephesos – Archäometallurgische Untersuchungen zur frühen Metallverarbeitung in Westanatolien, OREA (Wien, in Vorbereitung).

Mehofer – Kucera 2005

M. Mehofer – M. Kucera, Rasterelektronenmikroskopie in der Archäologie, Zum Einsatz naturwissenschaftlicher Methoden in der archäologischen Forschung – Teil 1, *Archäologie Österreichs*, 16, 1, 2005, 56–63.

Melcher – Schreiner 2004

M. Melcher – M. Schreiner, Materialanalytische Untersuchungen von Silberproben des Schatzfundes von Fuchsenhof mittels energiedispersiver Elektronenstrahlmikroanalyse im Rasterelektronenmikroskop, in: B. Prokisch – Th. Kühtreiber (Hrsg.), *Der Schatzfund von Fuchsenhof, Studien zur Kulturgeschichte von Oberösterreich 15* (Linz 2004) 325–345.

Meliksetian et al. 2011

K. Meliksetian – R. Schwab – S. Kraus – E. Pernicka – M. Brauns, Chemical, lead isotope and metallographic analysis of extraordinary arsenic-rich alloys used for jewellery in Bronze Age Armenia, in: A. Hauptmann – D. Modarressi-Tehrani – M. Prange (Hrsg.), *Archaeometallurgy in Europe III. Abstracts. International Conference Deutsches Bergbau-Museum Bochum, June 29th–July 1st 2011, Metalla Sonderheft 4* (Bochum 2011) 211–212.

Muhly 1985

J. Muhly, Beyond typology. Aegean metallurgy in its historical context, in: N. Wilkie – W. D. E. Coulson (Hrsg.), *Contributions to Aegean Archaeology. Studies in Honor of William A. McDonald* (Minneapolis 1985) 109–141.

Muhly 1988

J. D. Muhly, The beginnings of metallurgy in the Old World, in: R. Maddin (Hrsg.), *The Beginnings of the Use of Metals and Alloys* (Cambridge 1988) 2–22.

Müller et al. 2004

R. Müller – Th. Rehren – S. Rovira, Almizaraque and the early copper metallurgy of southeast Spain. New data, *Madriider Mitteilungen* 45, 2004, 33–56.

Müller-Karpe 1994

A. Müller-Karpe, *Altanatolisches Metallhandwerk, Offa Bücher 75* (Neumünster 1994).

Özbal et al. 1999

H. Özbal – A. Adriaens – B. Earl, Hacinebi metal production and exchange, *Paléorient* 25, 1999, 57–65.

Pernicka 1987

E. Pernicka, Erzlagerstätten in der Ägäis und ihre Ausbeutung im Altertum. Geochemische Untersuchungen zur Herkunftsbestimmung archäologischer Metallobjekte, *Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums* 34, 1987, 607–714.

Pernicka 1993

E. Pernicka, Analytisch-chemische Untersuchungen an Metallfunden von Uruk-Warka und Kish, in: A. Müller-Karpe, *Metallgefäße im Iraq, Prähistorische Bronzefunde II*, 14 (Stuttgart 1993) 312–316.

Pernicka 1995

E. Pernicka, Gewinnung und Verbreitung der Metalle in prähistorischer Zeit, *Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums* 37/1990, 1995, 21–129.

Pernicka 1998

E. Pernicka, Die Ausbreitung der Zinnbronze im 3. Jahrtausend, in: B. Hänsel (Hrsg.), *Mensch und Umwelt in der Bronzezeit Europas* (Kiel 1998) 135–147.

Pernicka et al. 1984

E. Pernicka – T. C. Seeliger – G. A. Wagner – F. Begemann, Archäometallurgische Untersuchungen in Nordwestanatolien, *Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums* 31, 1984, 533–599.

Pernicka et al. 1990

E. Pernicka – F. Begemann – S. Schmitt-Strecker – A. P. Grimanis, On the composition and provenance of metal artefacts from Poliochni on Lemnos, *Oxford Journal of Archaeology* 9, 3, 1990, 263–298.

Pernicka et al. 2003

E. Pernicka – C. Eibner – Ö. Öztunalı – G. A. Wagner, Early Bronze Age metallurgy in the northeast Aegean, in: G. A. Wagner – E. Pernicka – H.-P. Uerpmann (Hrsg.), *Troia and the Troad. Scientific approaches, Natural Science in Archaeology* (Berlin 2003) 143–172.

Pernicka et al. 2011

E. Pernicka – K. Adam – M. Böhme – Z. Hezarkhani – N. Nezafati – M. Schreiner – B. Winterholler – M. Momenzadeh – A. Vatandoust, Archaeometallurgical researches at Arisman in central Iran, in: Vatandoust et al. 2011, 633–705.

Pigott 2008

V. C. Pigott, Banesh period metallurgy at Tal-e Malyan (Beitrag in L. R. Weeks, *The 2007 early Iranian metallurgy workshop at the University of Nottingham*), Iran 46, 2008, 341–342.

Rehren – Radivojevic 2010

Th. Rehren – M. Radivojevic, A preliminary report on the slag samples from Çamlıbel Tarlası (Beitrag in A. Schachner, *Die Ausgrabungen in Boğazköy-Hattuša* 2009), *Archäologischer Anzeiger* 6, 2010, 207–216.

Rehren et al. 2012

Th. Rehren – L. Boscher – E. Pernicka, Large scale smelting of speiss and arsenical copper at Early Bronze Age Arisman, North-West Iran, *Journal of Archaeological Science* 36, 2012, 1717–1727.

Roberts – Thornton 2014

B. W. Roberts – C. P. Thornton (Hrsg.), *Archaeometallurgy in Global Perspective* (New York 2014).

Roberts et al. 2009

B. W. Roberts – Ch. P. Thornton – V. C. P. Roberts, Development of metallurgy in Eurasia, *Antiquity* 83, 2009, 1012–1022.

Rostoker et al. 1989

W. Rostoker – V. C. Pigott – J. Dvorak, Direct reduction to copper metal by oxide/sulphide mineral interaction, *Archaeometallurgy* 3, 1989, 69–87.

Sahoğlu 2005

V. Sahoğlu, The Anatolian trade network and the Izmir region during the Early Bronze Age, *Oxford Journal of Archaeology* 24, 2005, 339–361.

Schliemann 1881

H. Schliemann, *Stadt und Land der Trojaner. Forschungen und Entdeckungen in der Troas und Besonders auf der Baustelle von Troja* (Leipzig 1881).

Schoop 2010

U.-D. Schoop, Ausgrabungen in Çamlıbel Tarlası 2009 (Beitrag in A. Schachner, *Die Ausgrabungen in Boğazköy-Hattuša* 2009), *Archäologischer Anzeiger* 6, 2010, 191–201.

Seeliger et al. 1985

T. C. Seeliger – E. Pernicka – G. A. Wagner – F. Begemann – S. Schmitt-Strecker – C. Eibner – Ö. Öztunalı – I. Baranyi, Archäometallurgische Untersuchungen in Nord- und Ostanatolien, *Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums* 32, 1985, 597–659.

Stos-Gale 1992

Z. Stos-Gale, The origin of metal objects from the Early Bronze Age Site of Thermi on the island of Lesbos, *Oxford Journal of Archaeology* 11, 2, 1992, 155–177.

Strahm 2012

Ch. Strahm, Kupfer. Netzwerke und Expansion, *Archäologie in Deutschland* 2, 2012, 28–30.

Steiniger 2011

D. Steiniger, Excavations in the slag heaps in Arisman, in: Vatandoust et al. 2011, 69–99.

Subramanian – Laughlin 1994

P. R. Subramanian – D. E. Laughlin, The Cu-As system, in: P. R. Subramanian – D. J. Chakrabarti – D. E. Laughlin (Hrsg.), *Phase Diagrams of Binary Copper Alloys*, Monograph Series on Alloy Phase Diagrams (Materials Park, Ohio 1994) 43–52.

Thornton – Rehren 2009

Ch. Thornton – Th. Rehren, A truly refractory crucible from fourth millennium Tepe Hissar, Northeast Iran, *Journal of Archaeological Science* 36, 2700–2712.

Thornton et al. 2009

Ch. Thornton – Th. Rehren – V. C. Pigott, The production of speiss (iron arsenide) during the Early Bronze Age in Iran, *Journal of Archaeological Science* 36, 2009, 308–316.

Tylecote 1976

R. F. Tylecote, *A History of Metallurgy* (London 1976).

Tzachili 2008

I. Tzachili (Hrsg.), *Aegean Metallurgy in the Bronze Age*. Proceedings of an International Symposium Held at the University of Crete, Rethymnon, Greece, November 19th–21st 2004 (Athens 2008).

Ünlüsoy 2008

S. Ünlüsoy, Vom Reihnhaus zum Megaron. Troia I bis Troia III, in: M. O. Korfmann (Hrsg.), *Troia – Archäologie eines Siedlungshügels und seiner Landschaft* (Mainz 2008) 133–144.

Vatandoust et al. 2011

A. Vatandoust – H. Parzinger – B. Helwing (Hrsg.), *Early Mining and Metallurgy on the Central Iranian Plateau*. Report on the First Five Years of Research of the Joint Iranian-German Research Project, *Archäologie in Iran und Turan* 9 (Mainz 2011)

Wagner – Weisgerber 1985

G. A. Wagner – G. Weisgerber (Hrsg.), *Silber, Blei und Gold auf Sifnos*. Prähistorische und antike Metallproduktion, *Der Anschnitt Beiheft* 3 (Bochum 1985).

Wagner – Weisgerber 1988

G. A. Wagner – G. Weisgerber (Hrsg.), *Antike Edel- und Buntmetallgewinnung auf Thasos*, *Der Anschnitt Beiheft* 6 (Bochum 1988).

Wagner et al. 1986

G. A. Wagner – E. Pernicka – T. Seeliger – I. B. Lorenz – F. Begemann – S. Schmitt-Strecker – C. Eibner – Ö. Öztunalı, Geochemische und isotopische Charakterisierung früher Rohstoffquellen für Kupfer, Blei, Silber und Gold in der Türkei, *Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums* 33, 1986, 723–752.

Wertime 1964

T. A. Wertime, Man's first encounter with metallurgy, *Science* 146, 1964, 1257–1267.

Wolf et al. 2012

D. Wolf – G. Borg – B. Horejs, Geoarchäologische Untersuchungen zu den Erzvorkommen in Westanatolien, in: F. Schlütter – S. Greiff – M. Prange (Hrsg.), *Archäometrie und Denkmalpflege, Metalla Sonderheft* 5 (Bochum 2012) 143–144.

Yalçın 2000

Ü. Yalçın, Anfänge der Metallverwendung in Anatolien, in: Ü. Yalçın (Hrsg.), *Anatolian Metal I*, *Der Anschnitt Beiheft* 13 (Bochum 2000) 17–30.

Yalçın 2012

Ü. Yalçın, Metallfunde, in: M. Özdoğan – H. Parzinger (Hrsg.), Die frühbronzezeitliche Siedlung Kanlıgeçit bei Kırklareli. Ostthrakien während des 3. Jahrtausends v. Chr. im Spannungsfeld von anatolischer und balkanischer Kulturentwicklung, Studien im Thrakien-Marmara-Raum 3, Archäologie in Eurasien 27 (Mainz 2012) 183–189.

Zimmermann 2005

T. Zimmermann, Zu den frühesten Blei- und Edelmetallfunden aus Anatolien. Einige Gedanken zu Kontext und Technologie, *Der Anschnitt* 57, 2005, 190–199.

Zwicker 1977

U. Zwicker, Investigations on the extractive metallurgy of Cu/Sb/As ore and excavated smelting products from Norşuntepe (Keban) on the Upper Euphrates (3500–2800 B.C.), *British Museum Occasional Papers* 17, 1977, 13–26.