

Antike Kupfertechologie: Das Beispiel der Kupferverhüttungsstätte Agia Varvara – Almyras auf Zypern

Walter Fasnacht
Projektleiter
Almyras Excavation Cyprus
E-Mail: almyras@tiscalinet.ch
<http://home.tiscalinet.ch/almyras>

1. Einleitung

Dieser Beitrag konzentriert sich auf die neusten Ergebnisse der Untersuchungen der Funde des antiken Kupferverhüttungsplatzes von Agia Varvara – Almyras auf Zypern. Nach einer kurzen Übersicht über das Projekt, den Fundplatz, die Funde und die Analysen soll insbesondere die virtuelle Rekonstruktion eines Kupferverhüttungssofens dargestellt werden. Damit sollen die Möglichkeiten der komputerunterstützten Präsentation von archäologischen Funden und Befunden dargestellt werden.

Agia Varvara – Almyras, die bisher einzige vollständig dokumentierbare Kupferproduktionsstätte auf der Kupferinsel Zypern liegt 20 km südlich von Nikosia am Nordfuß des Troodosgebirges und wurde im Sommer 1982 vom Autor entdeckt. Seither sind über 25 Ausgrabungs-, Feldbegehungs- und Studienkampagnen auf der Fundstelle Agia Varvara-Almyras und im angrenzenden Sia-Tal durchgeführt worden¹. Die Prospektion in den umliegenden 20 Quadratkilometern,

¹ Walter Fasnacht and Peter J. Northover: *Ancient Raw Copper from Primary Smelting Sites in Cyprus*. 2001 Materials Research Society Fall Meeting: Materials and Society. Boston USA. Im Druck.
Walter Fasnacht and Marianne Senn: *Experimental copper smelting at Agia Varvara-Almyras. A contribution to the controversy of ancient iron production in Cyprus*. Archaeologia Cypria, Tomos IV, 2001, 129–133. Lefkosia.
Walter Fasnacht: *Schweizerische Archäologie im Ausland: Survival of the fittest? Das Beispiel der Erforschung des Kupfers auf der Kupferinsel*. Nationale Infomationsstelle für Kulturgütererhaltung, NIKE Bulletin 2/2001, 16–18. Bern.
Walter Fasnacht/Christina Peege/Ian Hedley: *Agia Varvara – Almyras, Final Excavation Report*. Report of the Department of Antiquities Cyprus 2000, p. 101–116.
Walter Fasnacht: *Excavations at Agia Varvara – Almyras: A Review of Twelve Years of Research*. Report of the Department of Antiquities Cyprus 1999, p. 179–184.
Walter Fasnacht/Silke Schwarzländer/Peter Boll: *The Sia-Mathiatis-Agia Varvara Survey Project (SMASP) Second Preliminary Report*. Report of the Department of Antiquities Cyprus 1997, p. 219–224.
Walter Fasnacht et al.: *Excavations at Agia Varvara – Almyras, Fifth Preliminary Report*. Report of the Department of Antiquities Cyprus 1996, p. 95–125.
Walter Fasnacht et al.: *Excavations at Ayia Varvara – Almyras, Fourth Preliminary Report*. Report of the Department of Antiquities Cyprus 1992, p. 59–74.
Walter Fasnacht et al.: *Excavations at Ayia Varvara – Almyras, Third Preliminary Report*. Report of the Department of Antiquities Cyprus 1991, p. 97–108.
Walter Fasnacht et al.: *Excavations at Ayia Varvara – Almyras, Second Preliminary Report*. Report of the Department of Antiquities Cyprus 1990, p. 127–139.
Walter Fasnacht et al.: *Excavations at Ayia Varvara – Almyras*. Report of the Department of Antiquities Cyprus 1989, p. 59–76.
Walter Fasnacht: *Copper Processing at Ayia Varvara – Almyras*, in John E. Coleman et al.: *Cornell Excavations at Alambra, 1982 Report of the Department of Antiquities Cyprus 1983*, p. 89–91.

in welchem sich die modernen Kupfer- und Goldminen von Sia und Mathiatis befinden, ergab ebenfalls ausschliesslich nachbronzezeitliche Evidenz von Kupferproduktion. Es wurden mehrere Fundstellen der gleichen Größe und Exposition wie bei Almyras entdeckt, mit klaren Hinweisen auf vorhandene Schmelzöfen. Im unmittelbaren Umfeld der modernen Minen finden sich allerdings Überreste von wesentlich umfangreicheren antiken Produktionszentren, als sie Almyras darstellt. Im gesamten Sia-Revier ist mit einer Produktion von hunderten von Tonnen Kupfer allein im ersten Jahrtausend v. Chr. zu rechnen. Die Kupferproduktion des ersten nachchristlichen Jahrtausends ist nur sehr spärlich fassbar.

Dies steht im Gegensatz zum angrenzenden Revier um die moderne Mine von Mitero, wo sich spätbronzezeitliche und römische Spuren abzeichnen². Diese Spuren einer Kupferverhüttung auf Zypern in weit größerem Ausmaße als die eisenzeitliche finden sich jedoch alle nicht mehr in situ. Im Falle von Politiko-Phorades lagen Ofenfragmente, Düsen, Schlacken, Erze und spätbronzezeitliche Keramik in Flusssedimenten eingewaschen; die römischen Überreste finden sich auf riesigen funddurchmischten Halden.

2. Die Fundstelle Agia Varvara-Almyras auf Zypern

Es mag erstaunen, aber die archäologischen Funde und Befunde von Almyras sind in ihrer Kombination und Dichte auch über zwanzig Jahre nach ihrer Entdeckung noch immer einzigartig auf Zypern. Auf einer Fläche von weniger als 50 x 50 m (Abb. 1) fanden sich eine Abbaustelle von Kupferkies, dem dominierenden Kupfererz auf Zypern, ein halbes Dutzend Erzaufbereitungsplätze mit Pochplatten und Klopsteinen, zwei Öfen zum Rösten der Erze, mehrere freistehende Schmelzöfen – zwei davon sind verzwilligt, sie bestehen aus zwei getrennten Brennkammern (Abb. 2) –, Tondüsen verschiedenster Formen und Durchmesser, maximal zehn Tonnen Schlacken sowie kleinste Mengen von Rohkupfer und raffiniertem Reinkupfer. Herdstellen, Kochtöpfe, Terrakottafiguren, Spinnwirtel und kultische Gefäße belegen eine Begehung von Almyras auch außerhalb der rein bergmännischen Tätigkeit.

Anhand der Keramik und der über 40 Radiokarbondatierungen von Holzkohlen aus den verschiedenen pyrotechnischen Einrichtungen kann die Fundstelle von der späten cypro-archaischen bis in die späthellenistische Zeit (ca. 600 v. Chr. bis ca. 150 v. Chr.) datiert werden. Der Schwerpunkt der Verhüttungstätigkeit liegt in der cypro-klassischen Epoche (um 400 v. Chr.). Der Fundplatz Almyras ist von römischer und späterer Ausbeute verschont geblieben; dies ist der Grund seines einmalig guten Erhaltungszustandes. Der Erzkörper war anscheinend zu klein für einen profitablen Abbau in späteren, industriell ausgerichteten Zeitaltern (Abb. 3).

Die Gesamtheit der Funde und Befunde gestattet die Dokumentation und Rekonstruktion nicht nur der technischen sondern auch der organisatorischen Abläufe auf dem Werkplatz. Der spezifische Beitrag des Almyras-Projektes an die archäometallurgische Forschung der alten Welt besteht in der interdisziplinären Untersuchung der verschiedenen, ausnehmend gut erhaltenen Röst- und Verhüttungsöfen.

Der weitaus am besten erhaltene Verhüttungsöfen auf Almyras wurde nach seinem letzten Gebrauch offensichtlich bewusst zerstört. Er lag platt gedrückt in Fragmenten vor (Abb. 4) und erlaubt die Rekonstruktion der Ofengröße und -form sowie der Düsengeometrie. Es handelte sich ursprünglich um einen freistehenden Tonkonus von 96–100 cm Höhe und 50 cm Durchmesser und einer Düse an der Basis (Abb. 5). Der Ofen verjüngt sich regelmäßig nach oben und

² Vasiliki Kassianidou: *Archaeometallurgical finds*, in: Bernard Knapp et al.: *Excavations at Politiko-Phorades*. Report of the Department of Antiquities Cyprus 1999, 291–291. Nicosia.



Abb. 1. Die Fundstelle Agia Varvara-Almyras auf Zypern:
Ein vollständiger antiker Kupferverhüttungsplatz.



Abb. 2. Ein Doppelofen mit zwei getrennten Schmelzkammern.
Der Ofen wurde mindestens dreimal repariert.

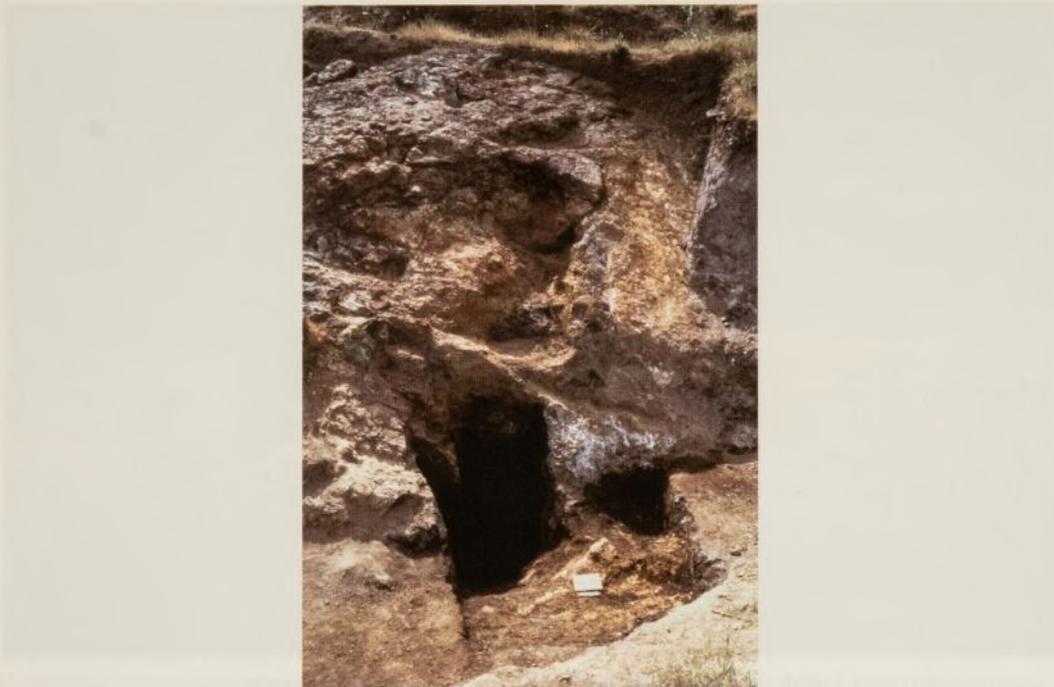


Abb. 3. Die Erzabbaustelle von Agia Varvara-Almyras.
Es wurden total nur ca. 20 Kubikmeter Fels abgebaut.



Abb. 4. Der besterhaltene Verhüttungssofen von Agia Varvara-Almyras,
Ofen Nr. 8, bereits in der Antike umgestoßen und platt gedrückt.

biegt am Schluss noch aus dem Wind. Dies verhindert ein Abbrechen des natürlichen Luftzuges bei starken Winden, wie sie am exponierten SW-Abhang von Almyras häufig vorkommen. Die Wandstärke nimmt ebenfalls von unten nach oben von ca. 7 cm auf 2,5 cm ab.

Die Temperaturen, bei welchen die Verschlackungs- und Reduktionsprozesse ablaufen, liegen zwischen 1100 und 1250 Grad Celsius. Die natürliche Zugluft im Ofenschacht reicht nicht aus, um diese Temperaturen zu erreichen; es muss künstliche Luft mittels Düsen zugeführt werden. Unzählige Düsenfragmente fanden sich auf der ganzen Ausgrabung verstreut, keine einzige Düse lag jedoch in einem Ofenverband. Die Düsen waren demnach Verbrauchsmaterial, sie wurden nach jedem Ofengang herausgebrochen oder mussten vielleicht schon während des Verhüttungsvorgangs ausgewechselt werden.

3. Der Ofen Nr. 8 von Agia Varvara Almyras in der dreidimensionalen Darstellung

Die dreidimensionale, computerunterstützte Darstellung von archäologischen Funden und Befunden ist nichts Neues, sie hat längst Eingang gefunden in der Erforschung und Dokumentation von Boden- und Gebäudedenkmalern. Vor allem bei Konservierungsbestrebungen und für das Management von Kulturgütern ist eine virtuelle Darstellung des einzelnen Details bis zur ganzen Fundstelle nicht mehr wegzudenken. Noch nicht Einzug gehalten hat der neueste Stand der Computertechnologie bei der Erfassung von primären archäologischen Daten. Auf Ausgrabungen herrschen noch immer Zeichenraster und Farbkasten vor, während inzwischen dreidimensional erfasste Grabungsdaten von Funden und Befunden bereits mit dem Mobiltelefon übermittelt werden könnten.

Auch der Archäologie nahestehende Forschungsgebiete bedienen sich mit Erfolg der 3D-Darstellung, zum Beispiel die physische Anthropologie bei der Rekonstruktion von Skelett- und Weichteilen, und dies lange vor der Auffindung des Mannes im Eis. Erkannt und bereits vermarktet wurde das Potential von dreidimensionalen Bildern auch in der didaktischen Anwendung bei der Vermittlung von wissenschaftlicher Forschung. Die Archäologie hat hier allerdings bereits Boden gutzumachen, insbesondere im Wettstreit um die Gunst der jüngeren Kundschaft, so gegenüber der Paläontologie mit ihrer bereits hollywoodtauglichen Anwendung von Dinosaurier-Rekonstruktionen.

In der Archäometallurgie selbst ist die Anwendung von virtuellen Bildern für die benutzerfreundliche Darstellung von Rekonstruktionen eine gängige Methode geworden³. Was ist demnach noch Neues aufzuzeigen in der virtuellen Archäometallurgie, insbesondere am Beispiel der Kupferverhüttung auf Zypern?

Mit Ofen Nr. 8, dem besterhaltenen Ofen der Fundstelle von Agia-Varvara Almyras auf Zypern, gelang der physische Nachbau des ersten nahezu vollständig erhaltenen antiken Kupferverhüttungsofens im gesamten östlichen Mittelmeerraum. Diesem einmaligen Glücksfall soll nun die virtuelle Umsetzung folgen. Nach der Digitalisierung des mit Gips innen und außen abgeformten Ofens mittels der Streifenprojektionsmethode liegen zu Oberflächen vernetzte Punktwolken vor, die zu einem virtuellen Modell zusammengefügt wurden (Abb. 6). Die Punktwolken wurden in ein CAD-System übergeführt, anschließend wurde ein idealisierter Ofenkonstruktionsplan erstellt, in welchen die ebenfalls rekonstruierbaren und digitalisierten Düsen eingefügt wurden (Abb. 7).

³ Julian Henderson: *The Science and Archaeology of Materials*, figure 5.12. London and New York 2000. Michel Mauvilly, Evencio Garcia Cristobal, Christian Peiry et Vincent Serneels: *La métallurgie du bronze au milieu de l'âge du Fer*. Archäologie der Schweiz 24.2001.3, Fig. 6. Lausanne 2001.

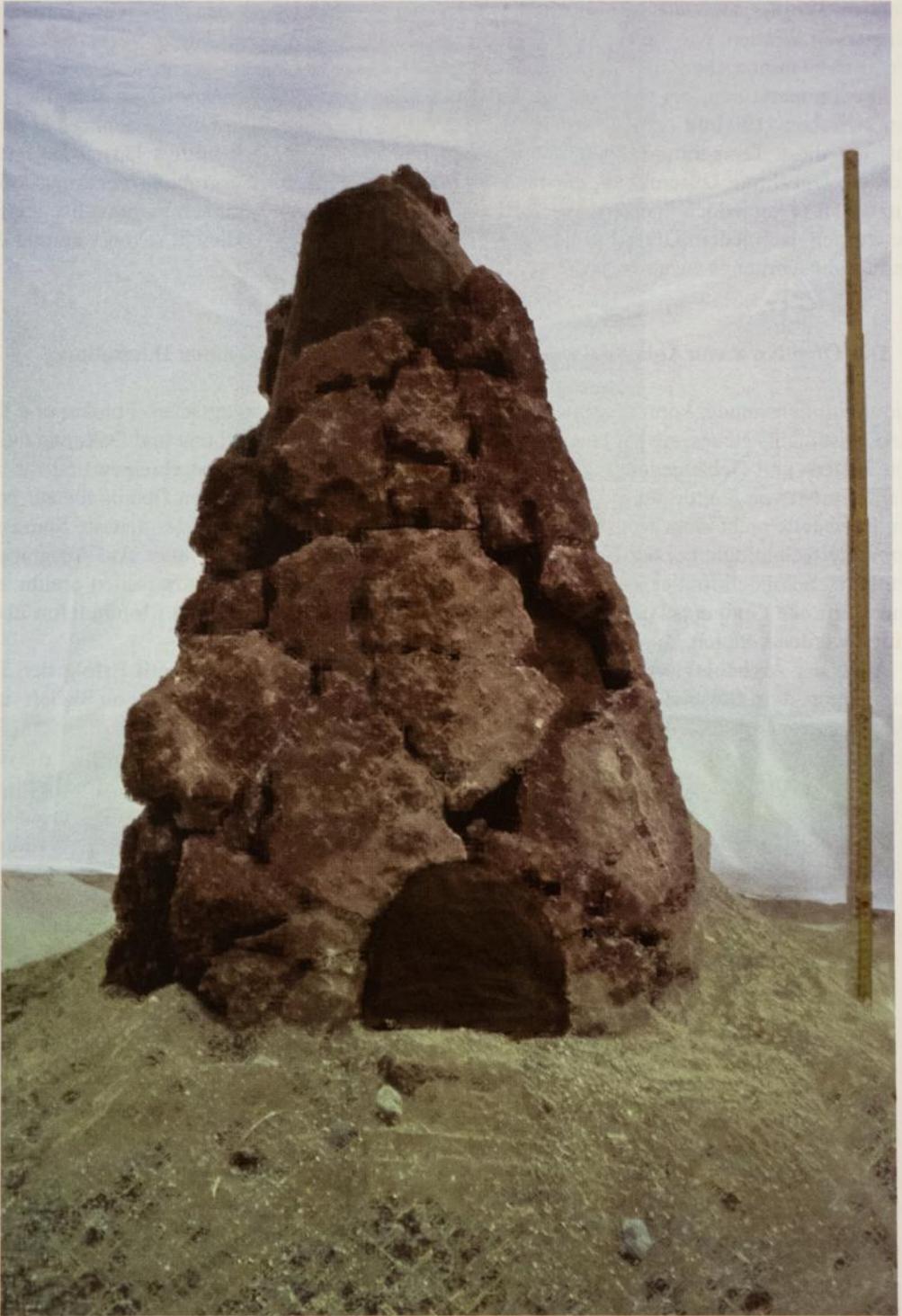


Abb. 5. Derselbe Ofen wie in Abbildung 4, auf einem Tonkern wiederaufgebaut.
Es fehlen nur vereinzelte Stücke für die vollständige Rekonstruktion.



Abb. 6. 3D-Rekonstruktion des Ofens Nr. 8 von Agia Varvara-Almyras, mit der Öffnung für eine Düse.

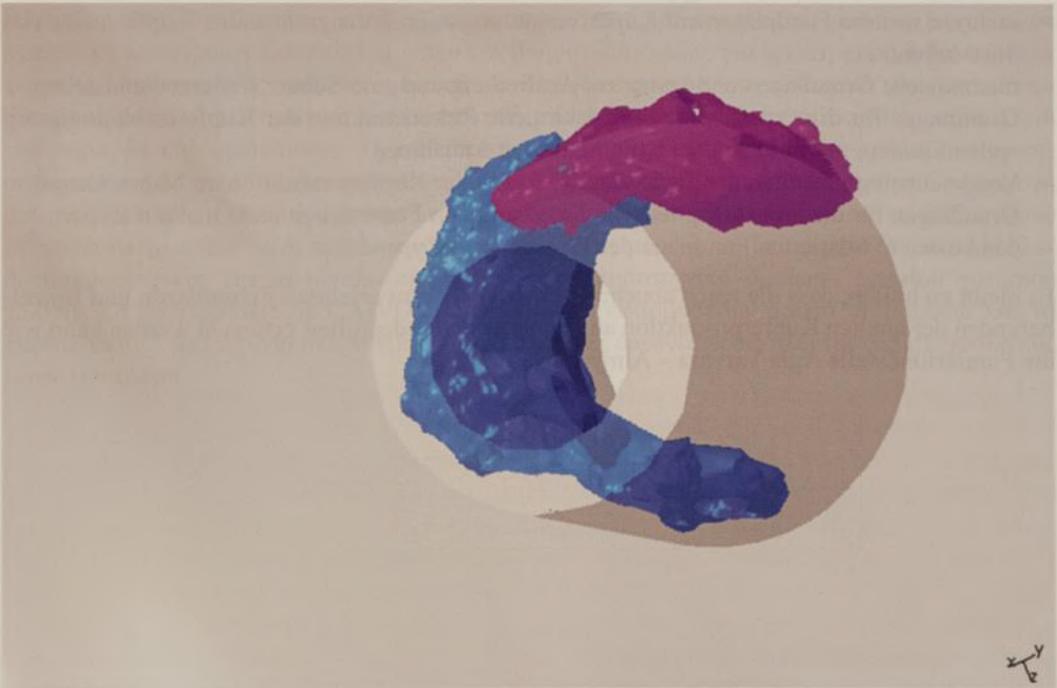


Abb. 7. 3D-Rekonstruktion einer Düse, mit drei digitalisierten und zusammengefügt Fragmenten.

Mit der virtuellen Rekonstruktion eines vollständigen Kupferverhüttungssofens verfügt die archäometallurgische Forschung endlich über gesicherte Grundlagen für die prozesstechnische Rekonstruktion der antiken Kupferverhüttung. Spezialisierte Forschungsgruppen werden erstmals an authentischen Nachbildungen ihre auf modernen Erkenntnissen aufbauenden Simulationen zur Funktion, Produktion, Thermodynamik und zum Energieverbrauch einer antiken pyrotechnischen Installation der Herstellung von Kupfer durchführen können.

Dies ist sowohl von interdisziplinärem wissenschaftlichem Interesse als auch publikumsorientiert umsetzbar. Mit dem Fernziel einer interaktiven Darstellung der Technikgeschichte des Kupfers kann sich die archäometallurgische Forschung auf dem neuesten Stand der Computertechnologie auch nachhaltig und medienwirksam präsentieren.

4. Von der Nachhaltigkeit des Almyras-Projektes

Was brachten 15 Jahre Untersuchung der Technikgeschichte des Kupfers auf einem einzigen Fundort auf Zypern, in Agia Varvara – Almyras? Die Liste der Errungenschaften ist schnell erstellt, die nachhaltige Umsetzung, insbesondere was die Langzeiterhaltung der Funde und Befunde anbelangt, wird das Projekt noch lange beschäftigen und müsste gesondert diskutiert werden. Als augenfälligste Resultate der Fundstelle Almyras sind zu nennen:

- die erste vollständige Metall-Produktionsstätte auf Zypern, durch alle antiken Zeiten
- den ersten nahezu vollständigen Kupferverhüttungssofen auf Zypern
- darüber hinaus den ersten nahezu vollständigen Kupferverhüttungssofen der Eisenzeit im ganzen östlichen Mittelmeer
- die erste vollständige metallanalytische und isotopengeologische Untersuchungskette vom Erz bis zum Reinkupfer auf Zypern
- mehrere weitere Fundplätze mit Kupferverhüttungsöfen im angrenzenden Kupferrevier von Sia-Mathiati
- methodische Grundlagen und Daten zur Auffindung und zum Schutz weiterer Fundstellen
- Grundlagen für die experimentelle und virtuelle Rekonstruktion der Kupfertechnologie mit realen Funden, mit minimalsten hypothetischen Annahmen
- Vergleichsmöglichkeiten der Technikentwicklung der Kupferproduktion im Nahen Osten
- Grundlagen für die archäomagnetische Datierung von Feuerstellen und Öfen auf Zypern
- den besten C^{14} -datierten Fundplatz der Eisenzeit auf Zypern.

Es bleibt zu hoffen, dass die rasch abnehmende Zahl von unversehrten Fundplätzen und Einzelbefunden der antiken Kupferproduktion auf Zypern ebenso detailliert erforscht werden kann wie die Pionierfundstelle Agia Varvara – Almyras.

Αρχαιομετρική, πειραματική και εικονική αναπαράσταση της εξόρυξης και επεξεργασίας του χαλκού την πρώτη χιλιετία π.Χ. στην Κύπρο

Dr. Walter Fasnacht

Διευθυντής του προγράμματος ανασκαφών,
στον Αλμυρά της Κύπρου

<http://home.datacomm.ch/almyras>

Περίληψη

Κατά την περίοδο 1982 ως 1999 έχουν διεξαχθεί στα χυτήρια χαλκού της Αγίας Βαρβάρας Αλμυρά της Κύπρου πάνω από είκοσι ανασκαφικές και ερευνητικές επιχειρήσεις, που συνοδεύτηκαν από εντατικές έρευνες αρχαιομεταλλουργίας στη γειτονική κοιλάδα Σία. Όλα τα ευρήματα και τα πορίσματα στον Αλμυρά χρονολογούνται τον 7^ο ως 2^ο αιώνα π.Χ. Η γεωλογική επιτόπια έρευνα επιβεβαίωσε την αποκλειστική παραγωγή χαλκού μετά τη Χαλκοκρατία. Επομένως η περιοχή Σία – Μαθιάτι φαίνεται πως ήταν κατά προτίμηση περιοχή παραγωγής χαλκού κατά την εποχή του σιδήρου στην Κύπρο.

Οι ανασκαφές στον Αλμυρά συμπληρώθηκαν τον Οκτώβριο του 1999 και ακολούθησαν, έξω από την περιοχή της ανασκαφής, οι πρώτοι πειραματισμοί χύτευσης χαλκού.

Μάλιστα μεταδόθηκαν στα πλαίσια της σειράς «Sommer der Entdeckungen» («Καλοκαίρι Ανακαλύψεων») του Δεύτερου Προγράμματος της γερμανικής τηλεόρασης και στη σειρά «Scientific American Frontiers» («Επιστημονικά Αμερικανικά Μέτωπα») της κρατικής Υπηρεσίας Ραδιοφωνίας στη Βοστώνη των ΗΠΑ.

Με την ταυτοποίηση ενός πλήρους φούρνου χύτευσης χαλκού στην Αγία Βαρβάρα του Αλμυρά, που χρονολογείται στην κλασική αρχαιότητα, δίνεται, εκτός από τη μέχρι τώρα αναλυτική καταγραφή όλων των πρώτων και βοηθητικών υλών, για πρώτη φορά η δυνατότητα φυσικής, πειραματικής και πραγματικής ανασύνθεσης ενός αρχαιολογικά διαπιστωμένου χυτηρίου. Με την πειραματική ανακατασκευή μπορούν να ελεγχθούν οι τεχνικές παράμετροι της παραγωγικής διαδικασίας. Η ρεαλιστική παρουσίαση εξυπηρετεί την προσομοίωση της παραγωγικής διαδικασίας, επιτρέποντας στο μέλλον την ανεξάρτητη από τοποθεσία εφαρμογή από εξειδικευμένες ομάδες ερευνητών, που μπορούν πλέον για πρώτη φορά να διεξαγάγουν σε αυθεντική ανασύνθεση προσομοιώσεις ως προς τη μορφή, τη λειτουργία, τις κατάλληλες θερμοκρασίες και την κατανάλωση ενέργειας, σε πυροτεχνικό ομοίωμα αρχαίου χυτηρίου χαλκού. Οι απεικονίσεις σε CAD/DVD μπορούν να εφαρμοστούν άμεσα σε μουσεία και να παρουσιάσουν με επιτυχία στα ΜΜΕ τις αρχαιολογικές έρευνες μέσω ηλεκτρονικής τεχνολογίας νεοτάτου τύπου.

Diskussion

Hiller: Vielen Dank für Ihren sehr interessanten Vortrag, die Zeit ist leider sehr vorgeschritten, aber wir haben noch ein paar Minuten Zeit für die Diskussion.

Σύντομη μετάφραση: Ευχαριστώ για την ενδιαφέρουσα εισήγηση. Έχουμε λίγα λεπτά για συζήτηση.

Moschovis: Ich bin kein Experte, aber Ihr Vortrag war so interessant, dass manche sehr neugierig geworden sind. Frage: Wie haben die damaligen Griechen die Stelle, das Volumen und die Ergiebigkeit lokalisiert, denn gestern haben wir gehört, dass für die Kupfer-Verarbeitung viel Energie gebraucht wurde, und man musste auch damals wirtschaftlich denken. Zweitens: Sie haben die Resektion eines Ofens gezeigt. Soweit ich weiß, wenn etwas brennt, kommt Rauch vom Rückschlag. Bei Ihrer Rekonstruktion habe ich keinen Rauch gesehen, wie kommt denn das?

Σύντομη μετάφραση: Πώς εντόπιζαν οι αρχαίοι το σημείο, τον όγκο και την αποδοτικότητα του ορυκτού; Χθές ακούσαμε ότι η επεξεργασία του χαλκού απαιτεί πολλή ενέργεια. Επίσης παρουσιάσατε την τομή ενός φούρνου. Δεν παρατήρησα όμως καπνό, πώς εξηγείται;

Fasnacht: Frage Nr. 1: Die Prospektion nach Fundstellen, nach ergiebigen Erzstellen, war in der fortgeschrittenen Eisenzeit mit Sicherheit hochspezialisiert, d. h. man wusste genau, wonach man suchen musste, es war ein Wissen bereits aus der Bronzezeit und es zeigt sich auch, dass man Erz finden kann aufgrund von Verfärbungen an der Oberfläche. Das weiss heute natürlich jeder Geologe, damals wussten das sämtliche Bergarbeiter, ist klar. Wir haben auch in Zypern in diesem Bereich Dutzende von solchen Fundstellen allein im Umkreis von 10 km, und es war kein Problem für die damaligen Kupfer-Techniker und Geologen, sie zu finden und die Ergiebigkeit zu errechnen. Es war klar, dass Almyras ein kleiner Fundort gemäß den Möglichkeiten war. Seine spezifische Vererzung liegt im sog. Stockwerkbereich, d. h. wir haben nicht die traditionellen massiven Sulfid-Vererzungen, die in der Bronzezeit und später im 20. Jahrhundert wieder ausgebeutet wurden und wo somit die archäologischen Evidenzen zerstört wurden.

Zur zweiten Frage des Rauchabzugs, selbstverständlich hat der Ofen oben ein Loch, einen Ausgang. Wir sind mit den Temperaturen bei der Kupferverhüttung so hoch, dass sich nicht mehr viel Rauch entwickelt.

Σύντομη μετάφραση: Ερώτηση 1: Η αναζήτηση αποδοτικών σιδηρούχων υπόγειων στρωμάτων ήταν σίγουρα εξειδικευμένη στην προχωρημένη εποχή του σιδήρου, γνώριζαν δηλαδή ακριβώς πού να ψάξουν, η γνώση προϋπήρχε από την εποχή του χαλκού. Τα σιδηρομεταλλεύματα μαρτυρούν την ύπαρξή τους με το χρωματισμό της επιφάνειας. Κάθε γεωλόγος το γνωρίζει, την εποχή εκείνη κάθε μεταλλωρύχος το γνώριζε. Και στην Κύπρο έχουμε πλήθος ορυκτού χαλκού σε ακτίνα 10 χλμ. Ο Αλμυράς ήταν μεν μικρής εμβέλειας, αλλά η ιδιομορφία του έγκειται στον χαρακτήρα των ορόφων, δεν υπάρχουν δηλαδή τα παραδοσιακά στρώματα σουλφιδίου, που έτυχαν εκμετάλλευσης κατά την εποχή του χαλκού αλλά και αργότερα, τον 20ό αιώνα, καταστρέφοντας τα αρχαιολογικά ευρήματα.

Δεύτερη ερώτηση, η έξοδος του καπνού: Φυσικά ο φούρνος είχε επάνω οπή. Οι θερμοκρασίες της χύτευσης του χαλκού είναι τόσο ψηλές, που δεν απομένει πολύς καπνός.

Moschovis: In welche Richtung ist der Rauch gegangen. Aus Ihrer Resektion ist es nicht ersichtlich, wie waren die Mechanismen? ...

Σύντομη μετάφραση: Ποιά κατεύθυνση είχε ο καπνός; Ποιοι μηχανισμοί χρησιμοποιήθηκαν;

Fasnacht: Wir haben unten eine Öffnung für die Einführung der Düse, die ist rundum eingekittet, dort dürfen Sie nebst der künstlichen Luftzufuhr durch Blasebälge keinen Fremdwind haben. Dort, wo der Windeinlass war, musste alles genau kontrollierbar sein. 90° dazu habe ich Ihnen diese große blanke Öffnung gezeigt, da wissen wir nichts, es wurde zerstört, herausgeklappt. Dort wurde das Material herausgenommen. Was dort an eventuellen Rauchauslass resp. Windeinlass- Mechanismen bestanden hat, kann ich nicht sagen und überlasse es Ihren Interpretationen. Dort geschah, wenn es geschehen musste, was Sie behaupten.

Σύντομη μετάφραση: Για την εισαγωγή του ακροφυσίου υπάρχει κάτω ένα άνοιγμα, κλεισμένο γύρω-γύρω, γιατί δεν επιτρέπεται να μπαίνει αέρας απ' έξω, εκτός από του φυσητήρα. Πρέπει στην είσοδο του αέρα να ελέγχονται όλα. Στις 90° σας έδειξα αυτό το μεγάλο άνοιγμα για το οποίο δεν γνωρίζουμε τίποτα, είτε καταστράφηκε, είτε άνοιξε. Από κει έβγαζαν το υλικό. Δεν είμαι σε θέση να σας πω για πιθανούς μηχανισμούς εξόδου ή εισόδου αέρα και το αφήνω στη δική σας ερμηνεία.

Sarpaki: Αναφέρετε ότι χρησιμοποιείτο το ξύλο του πεύκου και της ελιάς ως πιο πιθανά. Έχετε βρει καθόλου δείγματα, και έχετε βρει και πυρήνες; Η σκέψη μου πηγάζει από το ότι μερικά ξύλα βγάζουν λιγότερο καπνό από άλλα, κι η ελιά ανήκει σ' αυτά, αν δεν κάνω λάθος.

Kurze Übersetzung: Sie sprachen von Kiefer- und Olivenbaumholz. Haben Sie diesbezügliche Funde bzw. auch Olivenkerne? Ich gehe davon aus, dass manches Holz beim Brand weniger Rauch entwickelt, darunter auch der Olivenbaum, wenn ich nicht irre.

Fasnacht: Sie haben den Nagel auf den Kopf getroffen. Es ist eine große Frage, wie überhaupt dieses Holz gebraucht wurde. Die archäometallurgische Literatur spricht nur von Holzkohle – ich behaupte, es wurde Holz eingesetzt, gemäß unseren Experimenten. Die Rauchentwicklung des Holzes ist also ein großes Problem. Wir haben Olivenholz und Kiefernholz als Holzkohle gefunden und nur ein Stück Olivenholz als Holz, alles andere war, wie gesagt, verkohlt. Wir haben auch ganz wenige Olivenkerne gefunden und ich denke, diese Frage können nur Experimente beantworten. Ich habe noch keinen Experten gefunden, der mir diese Frage einwandfrei naturwissenschaftlich beantworten kann, der ein Stück Holzkohle untersuchen und sagen kann, ob dieses ursprünglich als Holz oder als Holzkohle in den Ofen gelangte. Ich denke, wir werden noch vermehrt darüber sprechen müssen.

Σύντομη μετάφραση: Πράγματι αναρωτιόμαστε πώς χρησιμοποιούσαν το ξύλο. Οι αρχαίες μαρτυρίες αναφέρουν μόνο ξυλάνθρακα. Εγώ πιστεύω πως χρησιμοποιούσαν ξύλο, σύμφωνα με τα πειράματά μας. Το ξύλο βγάζει καπνό, μεγάλο πρόβλημα. Βρήκαμε ξύλο ελιάς και πεύκου υπό μορφή ξυλάνθρακα και μόνον ένα κομμάτι ελιάς σε μορφή ξύλου. Βρήκαμε και ολόκληρους πυρήνες ελιάς. Όλα αυτά μόνο με πειράματα ερμηνεύονται. Δεν έχω βρει ακόμα κάποιον ειδικό που θα μπορούσε να μου απαντήσει με επιστημονική ασφάλεια, εξετάζοντας ένα κομμάτι ξυλάνθρακα, αν μπήκε στο φούρνο ως ξυλάνθρακας ή ως ξύλο. Πιστεύω ότι θα χρειαστεί να το ερευνήσουμε ακόμα.