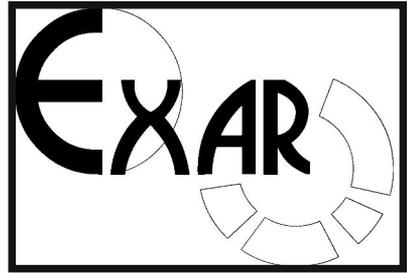


EXPERIMENTELLE ARCHÄOLOGIE IN EUROPA
Jahrbuch 2017
Heft 16

Herausgegeben von Gunter Schöbel
und der Europäischen Vereinigung zur
Förderung der Experimentellen
Archäologie / European Association for
the advancement of archaeology by
experiment e.V.

in Zusammenarbeit mit dem
Pfahlbaumuseum Unteruhldingen,
Strandpromenade 6,
88690 Unteruhldingen-Mühlhofen,
Deutschland



EXPERIMENTELLE ARCHÄOLOGIE
IN EUROPA

JAHRBUCH 2017

Festschrift für Mamoun Fansa zum 70. Geburtstag

Unteruhldingen 2017

Gedruckt mit Mitteln der Europäischen Vereinigung zur Förderung der Experimentellen Archäologie / European Association for the advancement of archaeology by experiment e.V.

Redaktion: Ulrike Weller, Thomas Lessig-Weller,
Erica Hanning

Textverarbeitung und Layout: Ulrike Weller, Thomas Lessig-Weller

Bildbearbeitung: Ulrike Weller, Thomas Lessig-Weller

Umschlaggestaltung: Thomas Lessig-Weller, Ulrike Weller

Umschlagbilder:

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie, detaillierte bibliographische Daten sind im Internet abrufbar unter:
<http://dnb.dbb.de>

ISBN

© 2017 Europäische Vereinigung zur Förderung der Experimentellen Archäologie / European Association for the advancement of archaeology by experiment e.V. - Alle Rechte vorbehalten

Gedruckt bei: Beltz Bad Langensalza GmbH, 99947 Bad Langensalza, Deutschland

Inhalt

<i>Gunter Schöbel</i> Vorwort	8
<i>Julia Heeb</i> Prof. Mamoun Fansa – Prähistoriker, Experimental-Archäologe und unermüdlicher Verfechter des denkmalgerechten Wiederaufbaus von Aleppos Altstadt	9
Experiment und Versuch	
<i>Sayuri de Zilva, Josef Engelmann</i> Vom grünen Stein zum roten Metall – Reduktion von Malachit mittels Lungenkraft am offenen Feuer	13
<i>Alex R. Furger</i> Antike Buntmetalllegierungen im Experiment: Formbarkeit und Härteverhalten beim Kaltschmieden, Glühen, Abschrecken und Rekristallisieren	25
<i>Hans Reschreiter</i> 40 years of underground experiments – Getting to know the prehistoric Hallstatt salt mine with the aid of experimental archaeology	45
<i>Maikki Karisto, Karina Grömer</i> Different solutions for a simple design: New experiments on tablet weave HallTex152 from the salt mine Hallstatt	60
<i>Helga Rösel-Mautendorfer, Ines Bogensperger</i> Plinius der Ältere und das Bemalen von Textilien. Die Rolle der Experimentellen Archäologie zum Verständnis antiker Texte	70
<i>Matthias Bruestle</i> About the relationship of the coin image and the engraving tools	82
<i>Hannes Lehar</i> Puls meets fast food generation	96
<i>Frank Wiesenberg</i> Zur Herstellung römischer Rippenschalen. Resultate aus dem Borg Furnace Project 2015	104

<i>Maren Siegmann</i> Innenansichten – Glasperlen, vom Loch her betrachtet	116
<i>Stefan Stadler</i> Vom Zinkerz (Galmei) zum Messing im frühmittelalterlichen Ostalpenraum	123
<i>Stephan Patscher, Sayuri de Silva</i> Der byzantinische Traktat „Über die hochgeschätzte und berühmte Goldschmiedekunst“ – Neuedition, Übersetzung und interdisziplinärer Kommentar: Das Projekt und erste Ergebnisse der experimentellen Evaluierung	136
<i>Andreas Klumpp</i> Garmethoden und zugehöriges Gerät in der mittelalterlichen Küche	148

Rekonstruierende Archäologie

<i>Bianca Mattl, Helga Rösel-Mautendorfer</i> Das Welterbedamen-Projekt – Gewandrekonstruktionen für das Oberösterreichische Landesmuseum	156
<i>Rüdiger Schwarz</i> Ascia-Hobel, Skeparnon, Mehrzweckdechsel oder zweiarmige Dechsel? Zur praktischen Arbeit mit einem vermeintlichen Vorläufer des Kastenhobels	166

Vermittlung und Theorie

<i>Wolfgang Lobisser</i> Die Geschichte der archäologischen Architekturmodelle im Freilichtbereich des niederösterreichischen Museums für Urgeschichte – MAMUZ – in Asparn an der Zaya von den Anfängen bis zur Gegenwart	180
<i>Karina Grömer</i> Hin und wieder retour...Weltweite Resonanz auf archäologische Textilfunde – Fallstudie Hallstatt	196
<i>Barbara Rankl</i> The Sarcophagi garden in Ephesus. Condition survey of 21 sarcophagi and conservation of the "Amazon Battle" sarcophagus	208

<i>Tobias Schubert, Michael Zülch</i> Virtuelle Rekonstruktion. Anwendung der Computersimulation zur Validierung von archäologischen Kleidungsrekonstruktionen	217
<i>Julia Heeb</i> Neue Entwicklungen im Museumsdorf Düppel – Stadtmuseum und Freilichtlabor	225
<i>Julia Häußler</i> Guédelon – Experimentelle Archäologie und touristische Attraktion	234
<i>Tsvetanka Boneva</i> Digitale Rekonstruktion und 3D-Visualisierung der mittelalterlichen Stadt von Schumen (13.-14. Jh.)	246

Jahresbericht und Autorenrichtlinien

<i>Ulrike Weller</i> Vereinsbericht der Europäischen Vereinigung zur Förderung der Experimentellen Archäologie e.V. (EXAR) für das Jahr 2016	253
Autorenrichtlinien „Experimentelle Archäologie in Europa“	257

Vom grünen Stein zum roten Metall – Reduktion von Malachit mittels Lungenkraft am offenen Feuer

Sayuri de Silva, Josef Engelmann

Summary – Green stone to red metal – reduction process of malachite with blowpipes in open fire pits. Several archaeometallurgical experiments have been undertaken in the past 20 years in order to smelt copper either from copper carbonates (malachite, azurite) or copper sulfide minerals.

Research so far has also taken technological parameters known from ethno-archaeological contexts into account: for example using blowpipes and open fire for smelting copper sulfide ores (FASNACHT 1999); working with bellows as recorded in traditional metallurgical practice from Western Nepal (ANFINSET 2000; ANFINSET 2011) and recently, in LASCHIMKE and BURGER (2015), reducing malachite using modern air supply under laboratory conditions.

Up to now, there is no experimental approach described using minimal effort in time, material and manpower, which would lead to an amount of metallic copper that is sufficient for cold hammering of small scale artifacts (awls, hooks, rings etc.) without melting or casting in between.

Our archaeotechnical test series of malachite reduction offers one possible practical solution on the level of available basic "early neolithic" metallurgical knowledge:

Using lung power of 2-3 persons for the work with blowpipes in an open fire pit, malachite placed in unfired clay receptacles, we achieved a copper nugget of at least 20 grams.

Schlagworte: früheste Kupfermetallurgie, Reduktion, Malachit, Blasrohre, Kupferkarbonate

Keywords: earliest coppermetallurgy, reduction process, malachite, blowpipes, copper carbonates

„Vom grünen Stein zum roten Metall“ klingt einfach und ist es tatsächlich – gemessen an den erforderlichen technischen Voraussetzungen. Mit reiner Lungenkraft am offenen Feuer konnten wir mit einem Minimum an Zeit- und Personenaufwand das grüne Kupferkarbonat Malachit reduzieren und metallisches Kupfer gewinnen. Die Ergebnisse mehre-

rer Versuchsdurchgänge waren u. a. Kupfernuggets in der Größenordnung von 5 g bis 20 g (Abb. 10); geeignete Mengen zum unmittelbaren weiteren Verarbeiten durch Kalthämmern.

Kleine Pfrieme, Ahlen, Ringelchen, Haken, Blechröllchen etc., wie sie aus dem archäologischen Fundgut des frühen Jungneolithikums im Alpenvorland und

angrenzenden Gebieten bekannt sind (vgl. TURCK 2010, 21, Abb. 5-7; 9-12; DE ZILVA 2006, 47, Abb. 13-17) würden sich ohne weiteres aus der gewonnenen Kupfermenge arbeiten lassen.

In den letzten 20 Jahren gab es verschiedene Versuche zur Gewinnung von Kupfer in experimentalarchäologischem und ethnoarchäologischem Kontext. Es handelt sich beispielsweise um die Verhüttung von karbonatischen Kupfererzen im offenen Feuer in Holzkohle und mit Blasrohren (FASNACHT 1999) oder um die Verhüttung von sulfidischen Kupfererzen am offenen Feuer mittels Blasebalg nach ethnografisch belegter Praxis aus Westnepal (ANFINSET 2000; ANFINSET 2011). Auch Timberlake hat zusammenfassend Ergebnisse von Versuchsreihen publiziert (TIMBERLAKE 2007), die aus Kupferkarbonaten metallisches Kupfer in der Menge von vielen kleinen „prills“ erbrachten. Zuletzt haben Herr Laschimke und Frau Burger Malachit unter Laborbedingungen mit maschinell gesteuerter Luftzufuhr zu metallischem Kupfer reduziert (LASCHIMKE, BURGER 2015).

Aus der einschlägigen Literatur liegt bislang keine dokumentierte Versuchsreihe vor, in der die Reduktion von Malachit mittels Lungenkraft mit einem Minimum an Personen-, Material- und Zeitaufwand zu einer verwertbaren Menge an metallischem Kupfer geführt hat – gemeint ist eine Menge, welche unmittelbar zur Kaltbearbeitung des Metalls hätte genutzt werden können, beispielsweise zur Herstellung der oben genannten kleinteiligen Kupferartefakte.

Fragestellungen für die Experimentelle Archäologie

Im Rahmen einer Dissertation (S. de Zilva, Universität Frankfurt am Main) ergaben sich aus dem ethnoarchäologischen Kontext von „Studien zu Innovationsprozessen und der frühesten Kupferverarbei-

tung am Übergang vom 5. zum 4. vorchristlichen Jahrtausend in Mitteleuropa“ u. a. eine konkrete Frage und Hypothese zur möglichen technischen Durchführung erster metallurgischer Schritte:

1. Frage: Könnte ein „(alt)neolithischer technologischer Standard“ am Übergang vom 5. zum 4. Jahrtausend v. Chr. die verfügbaren Ressourcen zur Durchführung erster einfacher Verhüttung bieten?
2. Hypothese: Von einer solchen Verhüttung (smelting) von Kupferkarbonaten in kleinen Mengen bleiben keine archäologisch eindeutig nachweisbaren Spuren erhalten.

Versuchsaufbau und Logistik

Die Annäherung an den Versuchsaufbau erfolgte vor dem Hintergrund technologischer Machbarkeit im „mitteleuropäischen“ Alt- bis Jungneolithikum, das heißt explizit einer Zeit, aus der bislang nur sehr wenige Metallartefakte bekannt sind und in der die Verwendung von Gusstiegeln oder allgemein technischer Keramik nicht oder nur selten nachweisbar ist. Möglicherweise ist das Vorhandensein der ersten kleinteiligen Kupferartefakte zeitgleich mit importierten Schwergewichten ein Hinweis auf eine kleinräumige lokale Herstellung von Kupferartefakten ohne die Kenntnis von entwickelter Schmelz- und Gussmetallurgie.

Abgesehen von den publizierten Erfahrungen und Ergebnissen der Kollegen flossen auch Kenntnisse aus eigener metallurgischer bzw. feuerhandwerklicher Praxis in den Versuchsaufbau ein.

Die Durchführung erfolgte je nach Ressourcen von Zeit, Arbeitskräften und materialtechnischer Ausstattung an verschiedenen Orten. Im LEA, Labor für Experimentelle Archäologie in Mayen (Kreis Mayen-Koblenz), wurden uns freundlicherweise zur Dokumentation Temperaturmessgeräte und eine moderne Fotoausrüstung zur Verfügung gestellt.



Abb. 1: Feuergrube, Blasrohre, Tondüsen und Reaktionsbehälter (luftgetrockneter Ton). – Fire pit, blowpipes and receptacles (unfired clay).

Für die Reproduzierbarkeit des Reduktionsvorganges im Sinne der Experimentellen Archäologie war es essentiell wichtig, zur Sicherstellung der erforderlichen Luftzufuhr nur körperlich belastbare Personen, die über einen Zeitraum von 20 bis max. 60 Minuten ihre Lungenkraft einsetzen konnten, arbeiten zu lassen. Da die Gefahr von Sauerstoffmangel im Blut auftreten kann, erwähnt beispielsweise FASNACHT (1999, 293) nach den ersten Schmelz- und Verhüttungsversuchen weitere Experimente nur unter ärztlicher Begleitung durchzuführen. Diese logistischen „nicht metallurgischen“ Parameter erfordern bereits im Vorfeld einen Verbrauch an Zeit, Material und Testpersonen.

Materialien (siehe Abb. 1; 7; 8): Malachit (Herkunft: Zaire/Kongo), Holzkohlestaub/Holzkohlepartikel (Hartholz), Feuerholz (Hartholz), Holunderstäbe, Kupferrohr.

Feuerstelle

Eine ca. 12-15 cm tiefe Grube mit einem Durchmesser von max. 40 cm wurde mit stark schamottiertem Lehm (40% Schamotte) flächig 1 cm dick ausgekleidet

(Abb. 1). Unmittelbar nach dem Errichten und Auskleiden der Grube wurde mit einem zunächst kleinen Feuer die Feuerstelle in Betrieb genommen.

Blasrohre

In unseren Versuchsreihen nutzten wir Blasrohre aus Holunder und Blasrohre aus handelsüblichem Kupferrohr (1/2'') (Abb. 2; 7). Die Holunderstäbe (Durchmesser/Aststärke 1,5-2,1 cm) wurden der Länge nach durchbohrt bzw. ausgehöhlt. Wie schon bei Fasnacht (FASNACHT 1999, 292) und Timberlake (TIMBERLAKE 2007, 32) zeigte sich, dass hohle Holunderstäbe als Blasrohre bestens geeignet sind. Mangels passender Holunderstäbe in ausreichender Menge hatten wir bei mehr als 2 Personen in jedem Versuchsdurchgang nur maximal drei Holunderrohre im Einsatz. Mindestens einer der Beteiligten blieb jedoch immer den gesamten Prozess über mit Holunderrohr.

Bei 2 Bläsern ist eine ausreichende, durchgängige Luftzufuhr mittels Holunderblasrohren nur mit zwei zusätzlichen Helfern möglich, die schnell und zuverlässig Reparaturen an den Holzstäben und Düsen durchführen sowie die Wech-



Abb. 2: Reduktionsprozess: Arbeiten mit Lungenkraft und Blasrohren. – Reduction process: working with lung power and blowpipes.

selbststäbe anreichen. Bei nur 2 „Pustenden“ führt jede zusätzliche Nebenbeschäftigung sofort merklich zu Temperaturverlusten.

Stehen bei mindestens 3 Personen jedem einzelnen Luftbläser in einem Reduktionsvorgang bis zu zwei geeignete Holunderstäbe zur Verfügung, ist es möglich den gesamten Versuchsdurchgang mit allen Beteiligten auf „altneolithischem Standard“ mit Holzrohren durchzuführen. Fasnacht berichtete schon 1999 von der hervorragenden Eignung feuchter Tonmasse auf Holzrohren, da beim Brand bzw. bei der Hitze der Ton schwindet und sich fest um das Holzrohr klemmt (FASNACHT 1999, 292). Unsere verwendeten Holunderstäbe hatten eine Länge von 0,73 bis 1 m. Ihre lichte Weite variierte je nach Durchmesser des ausgehöhlten Stabes. Der Innendurchmesser der Kupferrohre betrug 13 mm bei einer Metallstärke von 1 mm, ihre Länge (ohne Blasrohrdüsen) 70 bis 90 cm.

Die Verwendung von Holunderrohr ist bei

ausreichender Menge an Beteiligten und an geeigneten Rohren in jedem Fall der Verwendung von Kupferrohren vorzuziehen; die Holzrohre entziehen weniger Hitze, hinterlassen keinen metallischen Geschmack im Mund, lassen kein Kondenswasser entstehen und entsprechen den neolithischen Möglichkeiten.

Tondüsen

Auf jedes Blasrohr (Holunder/Kupfer) wurde aus schamottiertem Lehm (25%-40% Schamotte) eine etwa 20 cm lange Tondüse aufgebracht (Abb. 1; 7). Alternativ kann auch stark organisch gemagerter Ton mit Sandzusatz für die Tondüsen verwendet werden. Die Tondüsen dienten jedem Blasrohr als Hitzeschild. Zum Ausformen der Blasrohrdüsen wurde der weiche feuchte Ton dicht um das Ende des Rohres gedrückt, eine schmale Öffnung zum Luftaustritt wird durch einen kleinen Ast frei gehalten. Die exakte Form der Tondüsen hat keinen Einfluss auf die



Abb. 3: Reaktionsbehälter (ca. 900°C -1000°C). – Receptacles (approx. 900°C -1000°C).

Funktion der Luftführung. Aus der Vorgesichte sind verschieden ausgeformte Exemplare bekannt: langgestreckte oder kompakt geformte zylindrische und konische Formen (RODEN 1988, 69). Entscheidend für die zielgerichtete Luftzufuhr ist ein eher schmales Austrittsloch am Ende der Düse (3 bis max. 10 mm) in idealer Kombination mit der Zahl der beteiligten Bläser, der eingesetzten Lungenkraft und der Platzierung der Luftzufuhr an der Glut. Durch Brenn- und Verschwelungsprozesse im vorderen Bereich der Tondüse können Holunder-Rohrteile oder Tonpartikel abbrechen und die Düsenspitze verstopfen. Reparaturen an Blasrohren bzw. an den Tondüsen im laufenden Versuchsdurchgang führen zu einem raschen Verlust der für den Reduktionsprozess erforderlichen Arbeitstemperatur. Daher ist es notwendig, während der Versuche für jeden Bläser mehrere Holunderblasrohre zur Verfügung zu stellen und den für die Düsen gemagerten/schamottierten Ton

griffbereit zu halten. Während die anderen Vorbereitungen getroffen wurden, lagen die Rohre mit ihren tönernen Blasdüsen ca. 30 Minuten zum Trocknen am Feuer. Die stark schamottierten / gemagerten Tondüsen können jedoch auch direkt feucht am Feuer zum Einsatz kommen, wie es während des Reduktionsprozesses ad hoc ebenfalls notwendig ist.

Reaktionsbehälter

Als Reaktionsbehälter (Abb. 3) dienten ungebrannte luftgetrocknete hohle Tonkugeln in der Größenordnung von 5-7 cm Durchmesser. Geeigneter Ton für die hohlen Behälter waren Tone mit 25% Schamottierung als auch 40%iger Schamottierung. Die verwendeten Tone sollten auf alle Fälle im Brennbereich von 1000°-1250°C liegen. Die Wandstärke der hohlen Tonkugeln betrug 3-7 mm. Nach dem Befüllen der kugeligen Behälter mit Malachit und Holzkohle wurde die Öffnung

(1,5-2 cm) mit einem feuchten Tonpfropfen desselben Tons sorgfältig verschlossen.

Befüllung

Zerkleinerter und zerstoßener Malachit sowie Holzkohle wurden stets in demselben Mengenverhältnis in die hohlen Tonkugeln gefüllt. Das Verhältnis betrug ca. $\frac{3}{4}$ Malachit und $\frac{1}{4}$ Holzkohle. Anders als bei den bisher publizierten Versuchen wurde das zu reduzierende Kupferkarbonat (Malachit) direkt mit Holzkohle umgeben und dafür auf die Beimengung von Holzkohle in die Lehm-Ummantelung verzichtet. Die Überlegung dahinter war: Durch den Kohlenstoff der Holzkohle bzw. das entstehende Kohlenmonoxyd wird eine reduzierende Atmosphäre unmittelbar um das Kupferkarbonat erzeugt.

Durchführung, Versuchsablauf, Beobachtung

1. Formen und Lufttrocknen der Reaktionsbehälter.
2. Vorbereitung von Feuerstelle/-grube, Blasrohren, Tondüsen und Arbeitsplätzen.
3. Entzünden des Feuers in der Feuergrube.
4. Zerkleinern und Abwiegen von Malachit und Holzkohle.
5. Befüllen der luftgetrockneten tönernen Reaktionsbehälter mit Malachit und Holzkohle.
6. Langsames Aufwärmen der gefüllten kugeligen Tonkörper am offenen Feuer (bis ca. 500°C).
7. Beginn der Luftzufuhr durch Lungenkraft von mindestens zwei Personen.
8. Nach durchschnittlich spätestens 20 Minuten wurden in und um die Tonkugeln Temperaturen von mindestens 1000°C erreicht; die Glühfarbe der Tonbehälter erreichte mindestens hellorange.
9. Nach 10 bis 30 Minuten (je nach Luftzufuhr bzw. Personenanzahl): Nach Auf-



Abb. 4: Ergebnis: Kupfernugget in zerbrochenem Reaktionsbehälter. – Result: copper nuggets in broken receptacle.



Abb. 5: Ergebnis: Kupfernugget. – Result: copper nugget.

treten von grünlichen Flammen und/oder einer Glühfarbe von hellorange bis hellgelb wurde die Luftzufuhr kontinuierlich fortgesetzt und die Temperatur konstant gehalten.

10. Tonbehälter und Holzglut glühen hellgelblich bis weißlich, ebenso die Spitzen der Tondüsen.

11. Herausnehmen und Abkühlen der Reaktionsbehälter (Ablöschen oder langsames Abkühlen).

12. Öffnen der Reaktionsbehälter und Entnahme des Inhaltes.

Dokumentation

Während aller erfolgten Versuchsreihen haben wir den Verlauf fotografisch und



Abb. 6: Ergebnis: Kupferaggregate mit teilweise geschmolzenen Bereichen; Prills im Reaktionsbehälter. – Result: copper aggregates with partly molten sections; copper prills in receptacle.



Abb. 7: Nach dem Reduktionsprozess: Blasrohre und Tondüsen; im Vordergrund: geöffneter Reaktionsbehälter mit Kupferaggregaten und Holzkohle. – After reduction process: blowpipes and claytip; in the front: receptacles with copper aggregates and charcoal.

schriftlich festgehalten. Bei einigen Reduktionsprozessen haben wir zusätzlich Temperaturmessungen vorgenommen. Die fotografische und schriftliche Erfassung des Verlaufes diente vor allem dazu, anhand der Glühfarben von Tonbehältern,

Düsenpitzen und Holz als auch der Veränderung von Flammenfarben und Hitzeentwicklung Parameter für den im archäotechnischen Experiment wiederholbaren Reduktionsprozess festzuhalten. Zwei unserer Versuchsdurchgänge wur-

malachite $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})^2$

100°-250° C: CuO
black copper(II)-oxide
schwarzes Kupfer(II)-oxid CuO

> 700° C: Cu_2O
red copper(I)-oxide
rotes Kupfer(I)-oxid

> 850° -1100° C: Cu
„copper aggregate“ & metallic copper
„Kupferaggregat & metallisches Cu

1.083° C: copper
melting point = copper
Schmelzpkt. = metallisches Cu

Abb. 8: Vom grünen Stein zum roten Metall. – Green stone to red metal.

den von Wulf Hein im Film dokumentiert:
<www.youtube.com/watch?v=OO747eWvGME>.

Ergebnis

Mit dieser Versuchsreihe zur Reduktion von Malachit konnte gezeigt werden, dass es mit „altneolithischem technologischem Standard“ möglich ist, mit Lungenkraft von zwei bis drei Personen innerhalb von 20-40 Minuten Kupferkarbonat in ungebrannten Tonbehältern zu metallischem Kupfer in Mengen bis zu mindestens 20 Gramm zu reduzieren. Der geringste Einsatz von Lungenkraft und Zeitdauer betrug „zwei Personen in 20 Minuten“. Der gewichtsmäßige Anteil der aus Kupferkarbonat gewonnenen Kupfermenge betrug stets etwas mehr als die Hälfte des Ausgangsmaterials (Malachit). Die Endpro-

dukte des Reduktionsprozesses können wie in *Abbildung 6* und *8* gezeigt in einem Aggregat alle Stufen der Reduktion widerspiegeln: schwarzes Kupfer(II)-oxid (CuO), gelblich-orangerotes bis rotes Kupfer(I)-oxid (Cu_2O) und Kupferaggregate (vgl. auch LASCHIMKE, BURGER 2015, 12, Abb. 4; 6). Die Kupferaggregate sind das verhüttete Produkt der eigentlichen Reduktion. Je nach Temperatur und Dauer der Hitzezufuhr können die Aggregate teilweise auch schon aufgeschmolzenes metallisches Kupfer enthalten (*Abb. 6; 8*). Die Aggregate sind porös und nicht zur weiteren mechanischen Bearbeitung geeignet. Kupfernuggets, die wir in manchen Versuchsdurchgängen erhalten haben (*Abb. 5; 10*), sind somit das Ergebnis von Verhütten (smelting) und (Auf)schmelzen (melting) in einem einzigen Reaktionsbehälter und einem Ar-



Abb. 9: Zerbrochene Tondüse. – Broken clay tip.

beitsprozess. Die Kupferaggregate können jedoch auch in einem zweiten Durchgang zu einem verarbeitbaren Kupfernugget geschmolzen werden.

Es zeigte sich in den Versuchsdurchgängen, dass die Kenntnis bzw. richtige Einschätzung und Beobachtung der Glühfarben von Reaktionsbehälter und Düsen spitzen durch die mit eigener Lungenkraft unmittelbar beteiligten Personen für eine erfolgreiche Reduktion wichtiger und ausschlaggebender waren als eine gemessene Temperaturangabe während des laufenden Experimentes.

Diskussion Tondüsen

In Anbetracht der vergleichsweise kleinen Anzahl neolithischer Tonröhren oder -düsen (FASNACHT 1999, 292) kann eine überlieferungsbedingte Fundlücke nicht ausgeschlossen werden. Zwei Faktoren bestimmen wahrscheinlich maßgeblich das Fundbild dieser Objekte: Zum einen die schlechte Erhaltung ungebrannter Tonartefakte und zum anderen die geringe Auffälligkeit zerbrochener Düsenfragmente (vgl. DE ZILVA 2006, 126). Ethnographische Beobachtungen stützen unsere Ergebnisse hinsichtlich der Erhaltungsbedingungen von Tondüsen; beispiels-

weise weist Celis in seiner Beschreibung des traditionellen afrikanischen Handwerks der Eisenverhüttung darauf hin, dass „alle Düsen nach Abschluß der Reduktion des Erzes entfernt und weggeworfen wurden“ und „die Positionen, in denen man sie schließlich findet, ohne jede Bedeutung [sind], es sei denn, man findet sie in eine Schlackenkugel eingeschmolzen“ (CELIS 1991, 155). Aufgrund der sekundären Verwendung alter Düsen „findet man Düsen in Stellungen, die aus technischer Sicht nicht zu erklären sind“ (CELIS 1991, 155). Ferner scheinen Tondüsen in vielen ethnographisch belegten Zusammenhängen selten vorgebrannt worden zu sein, sodass Celis für archäologische Ausgrabungsstätten konstatiert, es sei nicht möglich, „die Gestalt der Düsen vollständig zu rekonstruieren, da sich ein Teil von ihnen im Regen auflöst. Infolgedessen bleiben die Auskünfte, die man aus einer Untersuchung der Düsen erhalten kann, zu vage, als daß Schmelzverfahren dadurch zuverlässig differenziert werden könnten“ (CELIS 1991, 155). Die gebrauchten zerbrochenen Tondüsen unserer Versuchsreihen waren nach mehrfachem Einsatz ohne Witterungsbedingungen ausgesetzt zu sein, teilweise so stark fragmentiert, dass eine typologische oder funktionale Einordnung nicht mehr möglich war.

Diskussion „Schlackenlose Kupfermetallurgie“

Nach dem derzeitigen Forschungsstand scheint ein weitgehendes Fehlen von Schlacken in den Anfängen der extraktiven Kupfermetallurgie zum einen auf das nahezu schlackenlose oder schlackenarme Erschmelzen von Malachit zurückzuführen zu sein und zum anderen möglicherweise auf das mechanische Zerkleinern und teilweise sekundäre Verwenden ehemals vorhandener Schlacke. Die quantitativen Auffindungschancen sind im



Abb. 10: Kupfernuggets verschiedener Versuchsdurchgänge. – Copper nuggets from different trials.

Vergleich zu anderen Artefaktklassen derselben Zeitstellung sehr gering. Beispielsweise haben Kupferprills teilweise einen maximalen Durchmesser von nur 2 mm und zerschlagene Brockenreste können bis 0,5 cm klein sein, wie es im Fundkontext von Brixlegg teilweise der Fall ist (BARTELHEIM U. A. 2002, 45). Im Hinblick auf das frühe Jungneolithikum ist zusätzlich zu bedenken, dass jede Form der Erzaufbereitung wahrscheinlich nur in sehr kleinem Maßstab stattgefunden hat – eventuell in einer Gemeinschaft lediglich zwei bis dreimal im Jahr (zu den Mengenangaben vgl. BERGSØE 1938, 19f.).

Zuletzt sei noch ein wichtiger Aspekt zum Befund von Schlacken angemerkt, die bei der Suche nach ihrer archäologischen Evidenz, insbesondere in metallarmen kupferführenden Horizonten, bedacht werden muss. Schlacken treten manchmal lediglich in Form von wenigen Millimeter dicken Überzügen auf Keramik auf, zum Teil mit vitrifizierten Phasen der Keramik verbunden. Diese dünnen Überzüge werden von einigen Autoren beschrieben (BARTELHEIM U. A. 2002, 45; 48; 54; HOOK U. A. 1991, 65-76; KEESMANN, ONORATO 1999, 318; 321; ROVIRA 2002, 88-90; MONTERO RUIZ 1993, 51.) Keesmann und Onorato bezeichnen diese von ihnen untersuchten Keramiküberzüge der chalkolithischen Fundstellen Los Millares und El Malagón (Südspanien) nicht als Schlacke „im eigentlichen Sinne“, es handle sich „um bestenfalls wenige Millimeter dicke

Überzüge“ auf der technischen Keramik, deren Übergänge von Schlacke zu Keramik „im wahrsten Sinne des Wortes fließend“ seien (KEESMANN, ONORATO 1999, 321). Diese Art „Überzug“ konnten wir in einigen Fällen an den tönernen Reaktionsbehältern auch beobachten (Abb. 4; 6) Letztere gäben bei einer schmelzmetallurgischen Verwendung der üblichen Gebrauchskeramik auf den ersten Blick keine eindeutigen Hinweise auf schmelzmetallurgische Tätigkeiten. GÓMEZ RAMOS (1996, 127-143) untersuchte Schlackenüberzüge an Scherben solcher sogenannten „reduction pots“ bzw. „reaction vessels“ und hält ein Erschmelzen von oxydischen Kupfererzen bei Prozesstemperaturen unter 1000°C in diesen Gefäßen für sehr wahrscheinlich (vgl. MERKEL, ROTHENBERG 1999, 158). Temperaturen, die, wie gezeigt werden konnte, ohne weiteres mit Lungenkraft von zwei bis drei Personen hätten erzeugt werden können.

Fazit

Zur Herstellung der ersten jungneolithischen Artefaktformen aus Kupfer (Ahlen, Pfrieme, Meißel, Ringe, Nadeln etc.) wäre jeweils sogar erheblich weniger Kupfer notwendig als in unseren Reduktionsvorgängen gewonnen. Beispielsweise wiegt der Meißel von Schernau als Fundstück 3,5 g und der Kupfering desselben Fundortes wiegt lediglich 1 g (LÜNING 1981, 118). Diese geringen Mengen las-

sen sich mit Blasrohren unter Einsatz der Lungenkraft einer einzelnen Person in einer kleinen Vertiefung eines Holzkohlestücks schmelzmetallurgisch gewinnen. Von einem solchen Verarbeitungsprozess ließe sich archäologisch allenfalls ein einzelner Metallfund nachweisen. Genau dies entspricht oftmals der Fundsituation der hier beleuchteten neolithischen Epoche in Mitteleuropa. Auch von unseren metallurgischen Prozessen blieben nach einigen tausend Jahren bekanntermaßen nur in wenigen Fällen schwer bis unauffindbare Funde bzw. Befunde: keine Schlacke, keine Tiegel, stark verwitterte Tondüsenfragmente, angekohlte Holzrohre und eine verwitterte Feuerstelle mit teilweise verziegeltem Boden. Die genannten kleinteiligen Kupferartefakte aus Reinkupfer gäben für sich genommen keinen Hinweis auf lokale Verarbeitung und würden daher stets als Importe angesprochen werden – so wie in der Literatur bislang üblich.

Literatur

ANFINSET, N. 2000: Copper Technology in Contemporary Western Nepal. A Discussion of its Form, Function and Context. *Material Culture Studies in Scandinavian Archaeology*. Lund 2000, 203-212.

ANFINSET, N. 2011: Social and Technological Aspects of Mining, Smelting and Casting Copper. *An Ethnoarchaeological Study from Nepal*. Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum Nr. 181. Bochum 2011.

BARTELHEIM, M., u. A. 2002: Kupferzeitliche Metallgewinnung in Brixlegg, Österreich. In: M. Bartelheim, E. Pernicka, R. Krause (Hrsg.), *Die Anfänge der Metallurgie in der Alten Welt. Forschungen zur Archäometrie und Altertumswissenschaft 1*. Rahden/Westf. 2002, 33-82.

BERGSØE, P. 1938: The Gilding Process and the Metallurgy of Copper and Lead among the pre-columbian Indians. *Inge-*

niørvidenskabelige Skr. 46. Kopenhagen 1938.

CELIS, G. 1991: Eisenhütten in Afrika. Beschreibung eines traditionellen Handwerks. *Museum für Völkerkunde Frankfurt am Main Sammlung 6*. Frankfurt am Main 1991.

FASNACHT, W. 1999: Experimentelle Rekonstruktion des Gebrauchs von frühbronzezeitlichen Blasdüsen aus der Schweiz: Kupferverhüttung und Bronze-guß. *Der Anschnitt, Beiheft 9*, 1999, 291-294.

HOOK, D., u. A. 1991: Early Production of Copper-alloys in South-East Spain. In: E. Pernicka, G. Wagner (Hrsg.), *Archaeometry '90. International Symposium on Archaeometry*, 2-6 April 1990, Heidelberg, Germany. Basel 1991, 65-76.

KEESMANN, I., ONORATO, A. M. 1999: Naturwissenschaftliche Untersuchungen zur frühen Technologie von Kupfer und Kupfer-Arsen-Bronze. In: A. Hauptmann u. a. (Hrsg.), *The Beginnings of Metallurgy. Proceedings of the International Conference "The Beginnings of Metallurgy"*, Bochum 1995. Bochum 1999, 317-332.

LASCHIMKE R., BURGER, M. 2015: Die Anfänge der Kupfermetallurgie – archäometallurgische Versuche zur Verhüttung von Malachit am offenen Feuer. In: *Experimentelle Archäologie in Europa 14. Bilanz 2015*, 10-20.

LÜNING, J. 1981: Eine Siedlung der mittelneolithischen Gruppe Bischheim in Schernau, Ldkr. Kitzingen. *Materialhefte zur Bayerischen Vorgeschichte A 44*. Kallmünz/Opf. 1981.

MERKEL, J., ROTHENBERG, B. 1999: The earliest steps to copper metallurgy. In: A. Hauptmann u. a. (Hrsg.), *The Beginnings of Metallurgy. Proceedings of the International Conference "The Beginnings of Metallurgy"*, Bochum 1995. Bochum 1999, 149-166.

MONTERO RUIZ, I. 1993: Bronze Age metallurgy in Southeast Spain, *Antiquity* 67, 1993, 46-57.

GÓMEZ RAMOS, P. 1996: Copper and bronze smelting furnaces in the Pre- and Protohistory of the Iberian Peninsula. *Trabajos de Prehistoria* Vol 53, No. 1, 1996, 127-143.

RODEN, Ch. 1988: Blasrohrdüsen. Ein archäologischer Exkurs zur Pyrotechnologie des Chalkolithikums und der Bronzezeit. *Der Anschnitt* 40, 1988, 62-82.

ROVIRA, S. 2002: Early slags and smelting by-products of copper metallurgy in Spain. In: M. Bartelheim, E. Pernicka, R. Krause (Hrsg.), *Die Anfänge der Metallurgie in der Alten Welt. Forschungen zur Archäometrie und Altertumswissenschaft* 1. Rahden/Westf. 2002, 83-98.

RUIZ-TABOADA, A., MONTERO-RUIZ, I. 1999: The oldest Metallurgy in Western Europe. *Antiquity* 73, 1999, 897-903.

TIMBERLAKE, S. 2007: The use of experimental archaeology/archaeometallurgy for the understanding and reconstruction of Early Bronze Age mining and smelting technologies. In: S. La Niece, D. Hook, P. Craddock (Hrsg.), *Metals and Mines: Studies in Archaeometallurgy*. London 2007, 27-36.

TURCK, R. 2010: Die Metalle zur Zeit des Jungneolithikums in Mitteleuropa. Eine sozialarchäologische Untersuchung. *Universitätsforschungen zur Prähistorischen Archäologie* 185. Bonn 2010.

DE ZILVA, S. 2006: Früheste Metallurgie im Voralpenland. Technologischer Hintergrund und archäologische Evidenz. Unveröffentlichte Magisterarbeit, Goethe-Universität, Frankfurt am Main 2006.

Abbildungsnachweis

Abb. 1, 10: Foto: Josef Engelmann

Abb. 2: Labor für Experimentelle Archäologie, Foto: Alec de Zilva

Abb. 3: Foto: Sayuri de Zilva

Abb. 4-7, 9: Labor für Experimentelle Archäologie, Foto: Josef Engelmann

Abb. 8: Fotos: Sayuri de Zilva / Josef Engelmann

Autoren

Sayuri de Zilva M.A.

Alt-Nieder-Eschbach 33

60437 Frankfurt/ Main

Deutschland

sayuri.dezilva@gmx.de

Magister Josef Engelmann

Tannbach 2

4239 Gutau

Österreich

josef.engelmann@gmx.at