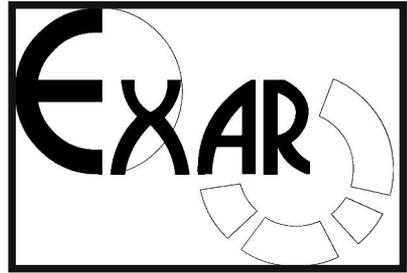


EXPERIMENTELLE ARCHÄOLOGIE IN EUROPA  
Jahrbuch 2017  
Heft 16

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
<b>Experiment und Versuch</b>	
<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 Kastenhebels	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
 <b>Jahresbericht und Autorenrichtlinien</b>	
<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 Zinkerz (Galmei) zum Messing im frühmittelalterlichen Ostalpenraum

Stefan Stadler

**Summary – From zinc ore (calamine) to brass in the early medieval Eastern Alps.** *In Europe, zinc was only discovered as independent metal in the modern era and its unique chemical-physical characteristics are a melting point of 419°C and a boiling point of 907°C. As such a low boiling point lies far below the melting point of copper (1085°C), it poses the questions whether and how zinc could have been extracted from ore, and how an alloy could have been produced. During modern times, condensation techniques with special stoves that were used for the extraction of zinc are well-known and profoundly researched. However, it is evident that in ancient times and in the Middle Ages there must have been different methods for the same purpose. Various scientific analyses prove that zinc was used for brass alloys. For example, it has been shown that in Europe brass was widely used for the first time under Roman rule. Afterwards, the zinc content in alloys is systematically reduced until the fifth century. More recent studies from the Eastern Alps demonstrate that between the eighth and the ninth century, tin bronzes decrease dramatically, whereas brass alloys show a strong increase. These observations lead to the assumption that the cementation process was used for the production of these alloys. During these procedures ground zinc oxide (calamine) is fused in a crucible with coal dust and copper. The carbon is supposed to reduce the zinc oxide to zinc, which is then absorbed by the copper and consequently forms brass. This procedure has been experimentally and archeologically reproduced. The present paper aims to document the processes, as well as the results of the aforementioned experiments, followed by a discussion about the previously introduced cultural and technological aspects within their historical context.*

Keywords: Calamine, brass, zinc, Early Middle Ages, Eastern Alp, experimental archaeology

Schlagworte: Galmei, Messing, Zink, Frühmittelalter, Ostalpenraum, Experimentelle Archäologie

### Einführung

Zink wurde als eigenständiges Metall in Europa in der Neuzeit erkannt und hat die chemisch-physikalische Besonderheit,

einen Schmelzpunkt von 419°C und einen Siedepunkt von 907°C bei Normalbedingungen zu besitzen. Dieser niedrige Siedepunkt, der weit unter dem Schmelzpunkt von Kupfer (1085°C) liegt, wirft die

Fragen auf, wie und ob Zink aus dem Erz gewonnen werden konnte bzw. wie eine Legierung produziert werden konnte. Für die Neuzeit sind Kondensationsverfahren in Spezialöfen zur Gewinnung von Zink bekannt (UCIK 2002, 161-187; FRIES 2014, 223). In der Antike und im Mittelalter müssen jedoch andere Methoden zur Anwendung gekommen sein, denn bisher gibt es keinen Fund von metallischem Zink für diesen Zeitraum. Dass Zink für Messing-Legierungen verwendet wurde, belegen zahlreiche naturwissenschaftliche Analysen: Messing tritt im europäischen Raum erstmals in großem Stil unter der römischen Herrschaft auf. Im 1. Jh. n. Chr. ist ein richtiger Boom an Zinklegierungen festzustellen. Der Zinkgehalt nimmt danach in den Legierungen bis zum 5. Jahrhundert systematisch ab (DUNGWORTH 1997, 907). Neuere Analysenergebnisse im Ostalpenraum zeigen, dass zwischen dem 8. und 9. Jahrhundert die Bronzelegierungen (Kupfer und Zinn) stark abnehmen und die Messinglegierungen wieder stark zunehmen (EICHERT, MEHOFER 2013, 49-50).

Möglicherweise könnte das Galmei- bzw. das Zementationsverfahren für die Herstellung dieser Legierungen angewendet worden sein. Bei diesem Verfahren wird geriebenes Zinkoxid (Galmei) mit Kohlestaub zu einem „Zement“ (Zementationsverfahren) vermengt und anschließend mit Kupfer in einem Tiegel zusammengesmolzen. Dabei wird das Zinkoxid durch den Kohlenstoff zu Zink reduziert und vom Kupfer adsorbiert und bildet Messing (WERNER 1970, 265-266).

## Zink und Galmei

Zink (Zn) steht an 24. Stelle der Elementhäufigkeit und kommt in der Natur in den verschiedensten Verbindungen vor. Zink hat die Besonderheit bereits bei 907°C unter Normalbedingungen den Aggregatzustand von flüssig auf gasförmig zu än-

dern. Diese Besonderheit macht eine metallurgische Bearbeitung schwierig, da für die Trennprozesse, die nötig sind, um elementares Zink zu erhalten, Temperaturen von mehr als 907°C notwendig sind. Zink oxidiert im gasförmigen Zustand bei der Anwesenheit von Sauerstoff zu Zinkoxid; um dies zu verhindern, muss die Gewinnung in einer sauerstoffarmen Atmosphäre stattfinden (UCIK 2002, 163-164). Für den frühmittelalterlichen Forschungsfokus sind die folgenden Zinkerze am relevantesten: Smithsonit bzw. Zinkspat  $ZnCO_3$ , Hemimorphit ( $Zn_4Si_2O_7(OH)_2 \cdot xH_2O$ ), Willemit ( $ZnSiO_4$ ), Zinkit ( $ZnO$ ), Zinkblende ( $ZnS$ ) (SOMMERLATTE 1988, 46). Bei dieser Auflistung sind die ersten vier oxydische Zinkerze, die mit dem Überbegriff Galmei angesprochen werden. Der Begriff Galmei steht als Sammelbegriff für nicht sulfidische Zinkerze und ist geochemisch betrachtet verwittertes sulfidisches Zinkerz (GUSSONE 1964, 83-86). Galmei ist somit ein Sekundär-Produkt und die Entstehungsbedingungen von Galmei führen dazu, dass dieses im Obertagabbau abgebaut werden kann und sich diese Vorkommen rasch erschöpfen (SOMMERLATTE 1988, 47; GUSSONE 1964, 33). Im Ostalpenraum sind große Vorkommen im Kärntner Raum zu finden (UCIK 2002, 162-163, Abb. 1).

## Ausgangslage

Die Ausgangslage im Frühmittelalter im Ostalpenraum ist aufgrund des Forschungsstandes eine schwierige. Für diesen Zeitraum fehlen bislang gesicherte Hinweise auf Buntmetallproduktionen und -verarbeitungen. Ebenso fehlen umfassend untersuchte Werkstätten, Objektfunde, die im Bezug zur Buntmetallverarbeitung stehen, Gussformen, Tiegel, Halbfabrikate und andere Werkzeuge. Diese Quellenlage liegt jedoch im Widerspruch zu der materiellen Kultur dieses Zeitrau-

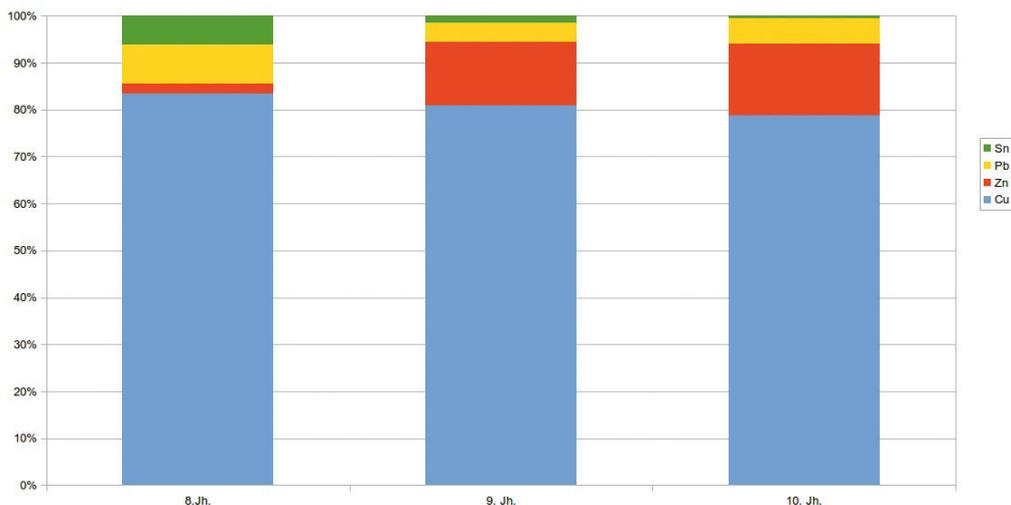


Abb. 1: Mittelwerte der Legierungszusammensetzungen nach Jahrhunderten nach S. Eichert. – Average alloy composition by century from S. Eichert.

mes (8-10. Jahrhundert n. Chr.). Es kann von einer Buntmetallindustrie gesprochen werden, in der zum Beispiel Drahtschmuck als Massenware auftritt (EICHERT 2012, 213). Jüngere naturwissenschaftliche Analysenergebnisse im Ostalpenraum belegen für das Frühmittelalter einen rapiden Anstieg der Messinglegierungen vom 8. auf das 9. Jahrhundert. Während die untersuchten Artefakte des 8. Jahrhunderts einen hohen Zinnanteil und einen verschwindend geringen Zinkanteil zeigen, so verschiebt sich das Bild im 9. Jahrhundert genau ins Gegenteil. Zinn verschwindet aus sämtlichen Legierungen und wird durch Zink ersetzt (Abb. 1). Das sehr homogene Bild der Legierungen ist ein Indiz für eine spezialisierte Produktion für den Ostalpenraum (EICHERT, MEHOFER 2013, 50). Doch woher kam das Zink? Für die Erlangung von Zink gibt es mehrere Möglichkeiten: abbauen und gewinnen, importieren oder recyceln. Hinweise auf frühmittelalterliche Galmei-Gewinnung im Ostalpenraum gibt es nicht, Lagerstätten dafür hingegen schon. Durch einen geochemischen „Fin-

gerabdruck“ könnte ein direkter Bezug vom Erz zum Artefakt nachgewiesen werden, dies setzt jedoch zahlreiche Untersuchungen der noch vorhandenen Lagerstätten voraus (EICHERT, MEHOFER 2013, 51).

Die Recycling-These bedeutet, dass bereits früher produzierte Messingartefakte (aus der Römischen Kaiserzeit) wiederentdeckt und verwendet wurden. Dagegen sprechen der große Zeitunterschied und die bisher gemessenen Artefakte, die erst ab dem 9. Jahrhundert eine gesicherte Nutzung von Messing belegen. Das einheitliche Bild der Kupfer-Zink-Blei-Legierungen im Fundmaterial steht im Widerspruch zum Einschmelzen von Altmetall als Rohstoffquelle und deutet auf spezialisierte Metallurgen (EICHERT, MEHOFER 2013, 52). Zudem nimmt der Zinkanteil in Legierungen ab, wenn diese umgeschmolzen werden. Dies würde bedeuten, dass bei gleichbleibenden Zinkanteilen in den Legierungen neues Zink generiert werden müsste, da sich die Verflüchtigung des Zinks selbst mit neuen Verfahren nicht aufhalten lässt



Abb. 2: Lehmofen während Brennprozess bei Versuch 2. – Clay oven during firing in experiment 2.

(<https://www.kupferinstitut.de/de/werkstoffe/eigenschaften/kupfer-zink-messing.html>) [24.9.16]. Die Frage nach den Importen erweist sich als schwierig, da bislang keine Objekte wie z. B. Gewichte oder Waagen gefunden wurden, die einen Handel oder Austausch für diesen Zeitraum eindeutig belegen würden (EICHERT, MEHOFER 2011, 62-63). Fest steht, dass die Buntmetallbearbeiter dieser Zeit ihr Handwerk verstanden und für bestimmte Anwendungen bestimmte Legierungen wählten und diese auch produzieren konnten. Es müssen fundierte Fachkenntnisse angenommen werden.

#### Fragestellung

Durch die rasche Verdrängung von Zinnbronzen hin zu Messinglegierungen im 9. Jahrhundert stellt sich die Frage wie Messinglegierungen im frühmittelalterlichen

Kontext produziert werden konnten. Eine Antwort auf diese Frage kann durch gezielte Ausgrabungen und mit Hilfe der experimentellen Archäologie angedacht werden. Es existieren zum Galmeiverfahren, das von Presbyter beschrieben wurde, bereits zahlreiche Versuche und Messungen (vergleiche Arbeiten von BOURGARIT, BAUCHAU 2010, BOUGARIT, THOMAS 2011, HAEDCKER 1973, ULLWER 2001 und ULLWER 2008). Dieses steht jedoch in materieller Hinsicht (Gusstiegel) und zeitlicher Relation im Widerspruch zum Frühmittelalter. Es gibt keinerlei archäologische Hinweise (Gusstiegel, Ofenbefund) für den Ostalpenraum und Presbyters Schrift stammt aus dem 12. Jahrhundert. Durch den Zeitabstand und aufgrund des Fehlens der Gusstiegel stellt sich die Frage nach anderen Möglichkeiten. Als Inspiration dienten außereuropäische Techniken wie die indischen (CRADDOCK 1990,

29-58) und chinesischen (SOMMERLATTE 1988, 47-48) Verfahren. Diese Destillationstechniken wurden mit dem Galmeiverfahren nach Presbyter kombiniert. Eine weitere Inspiration und die Möglichkeit einen Gusstiegel zu umgehen bildet der Gelbguss bei den Senufo. Dort wird das zu gießende Metall mit der Gussform (Wachsausschmelzverfahren) in eine Form gepackt und durch Umdrehen der gesamten Form gegossen. Somit wird die Form selbst zum Gusstiegel (FÖRSTER 1987, 132-165). Mit diesem Grundstock wurde ein Verfahren erdacht, das eine direkte Destillation von Zink am Kupfer in einem geschlossenen System vorsieht. Das Kupfer soll dabei als Adsorptionsmedium oder als Kondensationspunkt für das Zink dienen. Wichtig ist die räumliche Trennung von Zement (Kohlestaub und Galmei) und Kupfer um eine Kontamination durch Fremdmetalle ausschließen zu können. Die Möglichkeit der Destillation ermöglicht eine gute Trennung und somit Substanzen mit hoher Reinheit. Meine Versuche sollen dazu einen Beitrag leisten und dazu führen, dass durch gezielte Abfallauswertung in Zukunft vielleicht eine Ausgrabung hierzu Indizien für eine frühmittelalterliche Messingproduktion liefern kann.

## Experimente

Das Konzept sah vor, drei Versuche durchzuführen, davon zwei mit reinem Zinkoxid (<99,9%). Der davon besser funktionierende Versuch sollte dann mit Galmei probiert werden. Als Ofenkonstruktion wurde ein runder Lehmofen (40-50 cm Durchmesser, 20-25 cm Höhe und ca. 7 cm Wandstärke) mit eingebauter Schamott-Düse gewählt. Als Gebläse wurde ein mit zwei Stufen regulierbarer Föhn verwendet. Die Ofenkonstruktion wurde deshalb gewählt, da durch Bronzeschmelzen und Gießen in diesen Öfen bereits Erfahrungen zur Temperaturfüh-



Abb. 3: Versuch 1, links die Rohrbombe, rechts der Zement, unten auf der Waage das rotstichige Kupfergranulat. – Experiment 1, left side the pipe bomb, right side the cement, on the bottom the copper on a scale.

rung gemacht wurden. Als Brennmaterial wurde handelsübliche Holzkohle verwendet (Abb. 2).

## Versuch 1 – die „Rohrbombe“

Beim ersten Versuch wurde eine ca. 30 cm lange gebrauchte Düse aus Schamott mit einem Außendurchmesser von 6,0 cm und einer Wandstärke von 2,0 cm innen mit Zinkoxid, Kohlenstaub und mit Kupfergranulat gefüllt. Das obere und untere Ende wurden nach der Füllung mit Lehm versiegelt. Die erhaltene Bombe wurde in den Ofen in Schräglage eingebracht. Es wurden 50 g Zinkoxid (weißes puderförmiges Pulver) und 50 g Kohlestaub miteinander verrieben und 100 g Kupfergranulat eingesetzt (Abb. 3). Nach vierstündiger Befeuerung wurden 15 kg Kohle verbraucht. Die Bombe wurde aus der Glut herausgenommen und nach dem Auskühlen geöffnet. Die Lehmversiegelung hatte gehalten und war im Brennereich stark zerschmolzen. Das produzierte Messing war oberflächlich mit Asche und weißen Partikeln beschlagen, eine punktuelle Messung mit einem Elektronenrastermikroskop der VIAS ergab folgendes Bild:

C: 12,44%, O: 17,65%, Na: 5,70%, S: 2,78%, Cu: 40,55%, Zn: 20,88%.

Das Produkt ist Messing, es fand eine Adsorption von Zink statt. Es konnte eine Gewichtszunahme von 10 g gemessen werden, allerdings sind die verwendeten Waagen handelsübliche Küchenwaagen und diese Messungen als rein informativ und nicht für die Argumentation zu verwenden. Die eingesetzte Kohle-Zinkoxid Mischung hatte stark abgenommen (100 g auf 60 g reduziert). Das schwarze Pulver war noch mit weißem Zinkoxid durchsetzt. Am oberen Ende der Reaktionsdüse fand sich auf der Innenseite ein weißer Niederschlag, der als Zinkoxid gewertet wird.

#### Versuch 2 – das Siebverfahren

Bei diesem Versuch wurden zwei Viertelliter-Gusstiegel übereinander gesetzt und durch ein selbstgeformtes Keramiksieb getrennt. Die beiden Tiegel wurden an ihren beiden Öffnungen auf das dafür angepasste Keramiksieb zusammengestellt und formten somit ein geschlossenes Reaktionsgefäß. Der untere Tiegel wurde mit der Mischung von 40 g Zinkoxid und 40 g Kohlestaub gefüllt. Auf das Sieb wurden 40 g Kupfergranulat platziert und mit dem zweiten Tiegel abgedeckt. Das gesamte System wurde nochmals gänzlich mit einer ca. 1-2 cm starken Lehmschicht ummantelt. Dieses eiförmige Konstrukt wurde in die Mitte des Ofens platziert. Das obere Viertel des Reaktionsgefäßes ragte aus der umliegenden Kohle heraus. Das Gefäß wurde 4 Stunden befeuert, dabei wurden ca. 15 kg Kohlen verbraucht. Die Öffnung des Gefäßes erfolgte am nächsten Tag. Die Lehmummantelung hatte im unteren Bereich gehalten, im oberen Teil war sie teilweise abgesprungen, hatte ihre Funktion jedoch erfüllt. Der untere Bereich des Gefäßes war stark verschmolzen und verglast (Abb. 4). Die Lehmummantelung wurde vorsichtig abgeschla-



Abb. 4: Das Reaktionsgefäß aus Versuch 2, starke Verglasung an der Front des Gefäßes. – The cooled down reaction vessel from experiment 2 after firing process, the front of the vessel is strongly glazed.



Abb. 5: Versuch 2, produziertes goldfarbenedes Messing. – Experiment 2, produced golden brass.

gen. Als der obere Tiegel abgenommen wurde, strahlte das Messing in goldener Farbe auf dem Sieb (Abb. 5). Es hatte kein Schmelzprozess am Messing stattgefunden. Die Oberflächenanalyse des produzierten Messings ergab im Rasterelektronenmikroskop folgendes Bild (Abb. 6):

C: 7,34%, O: 10,68%, Na: 4,88%, Cu: 58,50%, Zn: 18,60%.

Die goldene Farbe und die punktuelle Messung bestätigen nun den Erfolg des Versuches. Wie weit das Zink in das Kup-

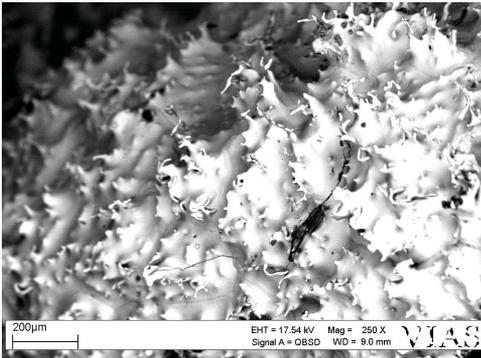


Abb. 6: Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme des produzierten Messings von Versuch 2. – Scanning electron microscope picture of the produced brass in experiment 2.



Abb. 7: Rückstände aus Versuch 2. – Residues of experiment 2.

fer diffundiert ist, kann aus messtechnischen Gründen nicht eruiert werden. Am Messing selbst fanden sich graue Punkte, die als kondensiertes Zink interpretiert werden. Im Reaktionsgefäß fanden sich keine Spuren von kondensiertem Zink oder von niedergeschlagenem Zinkoxid. Da die Lehmummantelung nicht luftdicht ist, werden Teile des entstehenden Zinks wohl durch die Lehmummantelung diffundiert sein. Eine Gewichtszunahme von 4 g konnte festgestellt werden, allerdings mit einer Küchenwaage. Da das eingesetzte Kupfer vorher nicht auf Massenkonstanz erhitzt wurde, ist dies rein informativ zu bewerten und lässt keine absoluten Aussagen zu. Der Kohlerückstand des Ze-

mentes war noch punktuell mit weißem Pulver durchsetzt, fast das gesamte Zinkoxid war umgesetzt worden. Als Überreste dieses Versuches blieben nur ein paar Keramikscherben, die teilweise stark verglast waren, und die beiden Tiegel und das Sieb. Die beiden Tiegel waren unverändert und können wiederverwendet werden. Die Keramikscherben erinnern stark an zerschlagene Gussformen, die entstehen, wenn eine „Verlorene Form“ (Wachsmodell) geöffnet wird (Abb. 7).

### Versuch 3 – die „Babuschka“

Der dritte und letzte Versuch der Reihe wurde mit Galmei (Smithsonit, teilweise Zinkblende enthalten) durchgeführt. Dieses erhielt ich von Helmut Prasnik, der dies im Gitschtal (Steinachbach – nördlich von Jadersdorf) gesammelt hat. Eine Messung an einer Erzader ergab folgendes Ergebnis (Massenprozent):

C: 11,11%, O: 20,05%, Mg: 0,40%, Si: 0,90%, S: 18,38%, Zn: 37,55%, Ca: 6,40%.

Die Messung wurde mit einem Rasterelektronenmikroskop der Universität Wien durchgeführt. Zu beachten ist, dass es sich um eine punktuelle Oberflächenmessung handelt, die keinen repräsentativen oder allgemein gültigen Wert liefert, sondern nur einen punktuell gültigen. Es liegt laut der Messung sowohl Zinkblende, als auch Zinkcarbonat (Galmei) vor. Eine Röstung ist also für das Verfahren unabdingbar. Das Erz wurde zweifach geröstet und auf etwa Haselnussgröße zerkleinert (Abb. 8). Je größer die Oberfläche ist, umso besser der Röstprozess. Nach dem Abkühlen wurde das mürbe Gestein durch einen Hammer zerschlagen, um das Erz vom restlichen tauben Gestein zu trennen. Für die Gewinnung von 700 g Galmei wurden zwei Stunden benötigt. Der erhaltene Galmei war bereits sehr porös und pulverförmig. Er bedurfte keiner weiteren Zerkleinerung und konnte



Abb. 8: Geröstetes Galmei-Erz vor der Zerkleinerung. – Roasted calamine ore before crushing.



Abb. 9: Reaktionsprodukt Versuch 3. – Reaction product experiment 3.

direkt mit 100 g Kohlestaub vermischt werden. Dieser erhaltene Zement wurde in einen Blumentopf gefüllt, der das Volumen gerade noch fasste. Darüber wurde mit Lehm eine Verengung getöpfert, deren Abschluss das Sieb aus Versuch 2 war. Auf dem Sieb wurden 150 g Kupfergranulat positioniert und mit dem Tiegel aus Versuch 2 abgedeckt. Die so erhaltene Form wurde mit einer ca. 1-2 cm dicken Lehmschicht ummantelt.

Nach einer mehrstündigen Trocknungsphase (Sommermonat Juli) wurde die Form in den Ofen mittig platziert und der Brennprozess gestartet. Die Befuerung wurde 5,5 Stunden aufrechterhalten, da aufgrund der Wandstärke und der hohen

Menge die Befürchtung entstand, die Reaktion benötige mit Galmei mehr Zeit. Es wurden insgesamt ca. 20 kg Kohlen benötigt, die im Frontbereich immer mit Holzscheiten aus Fichte abgedeckt wurden, um Brennmaterial zu sparen. Während des Brennprozesses platzen im oberen Segment Teile der Lehmmantelung ab. Das Reaktionsgefäß hielt aber den Beanspruchungen stand.

Nach dem mehrstündigen Brennprozess wurde die Form über Nacht ausgekühlt und am nächsten Tag unter Hochspannung geöffnet. Teile der Lehmmantelung waren wie bei Versuch 1 und 2 stark verglast. Die gesamte obere Seite des Kupfers war mit einer gräulichen Schicht überzogen, Teile der Oberfläche des eingesetzten Kupfergranulates hatten einen Goldstich angenommen (Abb. 9).

Der erste Eindruck war, dass Zink teilweise in das Kupfer diffundiert, aber hauptsächlich daran kondensiert war. An der Kupferoberfläche muss eine Temperatur unter 907°C geherrscht haben, um als Kondensationspunkt zu dienen.

Von den ursprünglich eingesetzten 800 g Zement (Galmei und Kohlestaub) blieben ungefähr 650 g übrig. 150 g Kupfergranulat wurden eingesetzt und die Auswaage betrug 160 g. Es kann also von einer Gewichtszunahme gesprochen werden, allerdings mit der im Versuch 2 diskutierten Waagen-Problematik (Massenkonstanz, Wiegefehler). Der Blumentopf, der den Zement beinhaltete, war bei der Öffnung in zwei Teile zersprungen. Auf der Unterseite des Siebes hatte sich ein gelb-brauner Niederschlag gebildet (Abb. 10). Einen ähnlichen Niederschlag beschreibt Ullwer in seinem Versuch (honiggelb bis braun) und deutet ihn als Zinkoxid (ULLWER 2008, 324-325). Eine Messung des Produktes mittels Rasterelektronenmikroskop ergab folgende Werte:

C: 20,07%, O: 13,84%, Si: 0,40%, K: 0,12%, Ca: 0,17%, Cu: 63,64%, Zn: 1,75%.



Abb. 10: Überreste des Zementes aus Versuch 3. – Residues of the cement from experiment 3.

Der gemessene Zinkanteil war trotz des grauen Überzugs sehr gering. Zu der Rasterelektronenmikroskopie wurde zusätzlich eine chemische Nachweisreaktion durchgeführt. Der graue Überzug wurde als Zink nachgewiesen und ist der Beweis für eine hauchdünne Zinkschicht auf dem vorgelegten Kupfer. Die Ergebnisse werden dahingehend interpretiert, dass im Bereich des vorgelegten Kupfers eine zu geringe Temperatur herrschte. Dennoch hatte sich Messing mit wenig Zinkanteil gebildet und metallisches Zink.

#### Fazit

Das dieser Arbeit zugrunde liegende Vorhaben Zink an Kupfer zu destillieren, ist gelungen. Die Versuchsreihe muss in

zwei Segmente geteilt werden. Versuch 1 und Versuch 2 wurden mit reinem Zinkoxid getätigt. Versuch 3 hingegen mit Galmei. In Versuch 1 als auch in Versuch 2 ist es gelungen, Messing herzustellen, wenn auch mit niedrigen Zinkanteilen. Das Grundkonzept der Destillation hat funktioniert und kann durch Verbesserungen stark optimiert werden. In Versuch 3 wurde mit Galmei gearbeitet. Dabei wurden mehrere Beobachtungen gemacht. Die erzielten Ergebnisse mit Galmei sind stark von der Qualität des Erzes und dessen Vorbereitung abhängig. Diese Feststellung führt zu vielen Folgefragen die noch diskutiert werden. Es ist beim dritten Versuch gelungen, Messing mit wenig Zinkanteil herzustellen. Obendrein bildete sich an der Oberfläche des Kupfers ein

grauer Niederschlag, der metallisches Zink ist. Dieser Umstand wird damit erklärt, dass die Temperatur innerhalb des Reaktionsgefäßes zu niedrig war. Versuch 3 zeigt sehr gut auf, wie schwierig die Bearbeitung von authentischen Rohstoffen ist und welche neuen Problemstellungen damit entstehen. Die Aufbereitungsschritte von Galmei sind aufwendiger und komplexer als angenommen und werden in den meisten Experimenten nicht diskutiert, da die Einsatzstoffe industriell mit heutigen Standards produziert wurden (BOURGARIT, BAUCHAU 2010; BOURGARIT, THOMAS 2011; ULLWER 2001; ULLWER 2008). Die Versuche haben auch gezeigt, dass die gewählte Ofenkonstruktion nicht optimal für das Verfahren ist. Der Ofen der von Ullwer nachgebaut wurde und von Presbyter abgeleitet ist, bietet sich hier an (ULLWER 2001, 320). Bisher sind für den Ostalpenraum noch keine Befunde bekannt. Die Anforderungen für das Verfahren sind ein Temperatursegment von  $1000 \pm 100^\circ\text{C}$  und die Anwesenheit von Zinkoxid und Kohlenstoff. Die Dauer für das Verfahren kann mit rund fünf Stunden, je nach verwendeter Menge, als ausreichend gesehen werden. Naturwissenschaftliche Daten hierzu finden sich in den Experimenten von Bourgarit und Ullwer. Die gemachten Versuche zeigen auf, welche potentiellen Abfälle entstehen, die sich in einem Befund eventuell widerspiegeln könnten. Die gewählten Hilfsmittel wie die beiden Gusstiegel und der Blumentopf können durch lokal gewonnenen Ton ersetzt werden. Davon bleibt als Abfall nur der zerschlagene Rest übrig, der stark an Gussformen („Verlorene Form“) erinnert. Das taube Gestein rund um das Erz und der übrig gebliebene Zement (Reste vom Kohlen-Galmei Gemisch, *Abb. 10*) sind die einzigen sonst erhaltenen Überreste. Im konkreten Fall einer Ausgrabung sind diese schwierig als solche zu erkennen. Das verwendete Werkzeugspektrum ist minimal. Es wurde nur

ein Hammer benötigt, um die Formen aufzuschlagen und das mürbe Erz kleinzuschlagen. Ein weiterer Aspekt ist die Beobachtung, dass sich sowohl beim Galmeiverfahren bei Ullwer, als auch bei den Versuchen 2 und 3 jeweils Zink bildete. Zink kann durchaus in metallischer Form durch Zufall entstehen. Eine Bestätigung hierfür ist die Nennung von Zink in einer Schriftquelle der Antike (CRADDOCK 1990, 4). Diese Indizien machen die Aussage möglich, dass Zink möglicherweise bekannt war. Ob Zink als Metall für die Verwendung und Anforderungen der damaligen Menschen Sinn gemacht hätte, ist zu hinterfragen. Der oft gelesene Satz, dass Galmei als eine Art Färbemittel für das Kupfer betrachtet wurde, ist nicht haltbar. Die Legierungen haben je nach Zinkanteil andere Materialeigenschaften und Bearbeitungseigenschaften. Diese wurden von damaligen Handwerkern gezielt hergestellt. Durch den Zinkabbrand an der Oberfläche kann es zu einer Rotfärbung an dieser kommen, wodurch der „Färbeeﬀekt“ nicht mehr treffend wäre.

#### Ausblick

Das erdachte Verfahren, als Möglichkeit für die Messingherstellung in Betracht zu ziehen, muss noch weiter erprobt und untersucht werden. Der Versuchsaufbau sollte dahingehend verändert werden, dass das Kupfer, das sich durch die Zinkdämpfe zu Messing wandelt, aufschmilzt. Die bisher durchgeführten Experimente zum Galmeiverfahren belegen, dass die Ausbeute und die Effizienz durch eine Schmelze gehoben werden.

Die Problemstellung der räumlichen Trennung von Kupfer und Zement, um eine Fremdmetallkontamination auszuschließen, lässt sich durch ein Zwei-Kammersystem, im Folgenden „Bombe“ genannt, lösen. Diese müssten über ein Rohr im oberen Bereich verbunden sein. Die Ummantelung wäre aus gut gema-

gertem Lehm, der mindestens Temperaturen von 1200°C standhalten muss. Die Befeuerung würde sich auf alle Seiten dieses Gefäßes konzentrieren. Wichtig ist, dass die „Bombe“ gründlich und stabil geschlossen ist und der Galmei durch mehrmaliges Rösten als Zinkoxid vorliegt. Damit soll eine übermäßige Kohlendioxidproduktion verhindert werden (die, wenn der Galmei als Carbonat vorliegen würde, geschehen würde) und die Reaktionszeit wäre kürzer. Eine Ofenkonstruktion, ähnlich der von Ullwer, ist empfehlenswert. Diese erreicht die nötige Reaktionstemperatur ohne die Verwendung eines Gebläses, das den Arbeitsaufwand und die Temperaturführung wesentlich erleichtert. Die Erfahrungen, die bei der Galmeiaufbereitung erzielt wurden, werfen noch weitere Fragen auf. Die Schritte der Aufbereitung des Galmeis sind auch auf ihre Vor- und Nachteile zu diskutieren. Galmei kommt als Oxid, Carbonat oder Silicat vor. Geologisch bedingt sind diese Erze oft mit anderen Metallen vergesellschaftet. Je nach Region kann es zu großen Unterschieden in den Lagerstätten kommen (GUSSONE 1964, 82-89). Diese je nach Lagerstätte unterschiedliche Galmei-Qualität und die Nebenprodukte haben Auswirkungen auf den Prozess. Um diese Einflüsse möglichst klein zu halten beziehungsweise zu normieren, muss das abgebaute Erz vorbehandelt werden. Eine Zerkleinerung des Erzes und eine mehrstufige Röstung haben für das später durchgeführte Verfahren mehrere Vorteile. Durch den Röstprozess wird nicht nur eventuell vorliegender Schwefel verbrannt, sondern auch das Carbonat zum Oxid gebrannt. Das Oxid hat klare Vorteile gegenüber dem Carbonat. Die Reaktion vom Carbonat zum Oxid ist stark endotherm und produziert Kohlendioxid. Diesen Schritt bereits im Vorhinein zu vollziehen, empfiehlt sich für den Prozess. Das so produzierte Zinkoxid muss noch mit ausreichend Kohlenstoff vermengt werden. Da-

bei sollten beide Stoffe möglichst klein, am besten als Pulver, vorliegen. Die in der Literatur gefundenen Hinweise für das Befeuchten des Zementes, um eine Art Paste zu erhalten, sind experimentell nachzuprüfen. Als Bindemittel finden sich mehrere Lösungen, die von Wasser über Sole bis zum Urin reichen (UCIK 2002, 185-186; WERNER 1970, 262; FRIES 2014, 227).

In jedem Fall findet durch diesen Arbeitsschritt eine Verdichtung statt und dies bedeutet mehr Gewicht pro Volumen. Dieser Schritt ist einfach zu tätigen und führt zu einer effizienteren Verfahrensweise. Die somit erhaltene Paste muss noch getrocknet werden. Die Auswirkungen für die Reaktion durch eingebrachte Stoffe (Urin, Salzwasser) sind zu testen und durch eine Fachexpertise zu bewerten und zu diskutieren. Eine große Schwierigkeit ist es, an Galmei zu gelangen. In Österreich sind die meisten Vorkommen erschöpft und nach Auskünften der Bergbaugewerkschaft wird in Österreich derzeit kein Galmei abgebaut.

Der Versuch über ein großes Unternehmen, das Zink produziert, an Galmei zu gelangen, scheiterte, da diese nur aufbereitetes zermahlene Zinksulfat bereitstellen können. Die Zusammenarbeit mit dem Mineralogen Prasnik, der die Vorkommen wie seine Westentasche kennt, ist somit von großem Vorteil. Die Kernfrage, ob es innerhalb des frühmittelalterlichen Ostalpenraums eine eigene Messingproduktion gegeben hat, kann noch nicht beantwortet werden. Die bisher gesammelten Indizien sprechen dafür. Der durchgeführte Versuch zeigt auf, dass das Brennmaterial den höchsten gewichtsmäßigen Anteil am Gesamtsystem hat. Für eine infrage kommende Werkstatt wäre dies somit logistisch und arbeitstechnisch ein wesentlicher Faktor, wie es auch die Verfügbarkeit von Kupfer und Galmei wäre. Kupfer- als auch Galmeilagerstätten befinden sich im Ostalpenraum. Um ein vollständiges Bild

von der chaîne opératoire zu erhalten, bedarf es noch vieler weiterer Untersuchungen.

Der Beantwortung der Frage wie unter frühmittelalterlichen Bedingungen Messing produziert werden kann, ist eine neue Möglichkeit hinzugefügt worden. Dieser Versuch, dem Verfahren auf die Spur zu kommen, ist ein kleiner Schritt in eine Richtung, der uns vielleicht eines Tages bessere Antworten über das Leben der Menschen des Frühmittelalters beschert. Fest steht, dass die Menschen zu dieser Zeit fundiertes Wissen und Expertisen besaßen und diese nutzten, um ihren Alltag zu bestreiten. Mehr als wir uns manchmal vorstellen, wenn wir von einem dunklen Zeitalter sprechen. Ich sehe meine Arbeit als Beitrag, Licht in diese dunkle Zeit zu bringen und der Öffentlichkeit einen anderen Zugang zur Geschichte zu öffnen.

#### Literatur

- BOURGARIT, D., BAUCHAU, F. 2010:** The ancient brass cementation processes revisited by extensive experimental simulation. *Journal of Metals* 62 (3), 2010, 27-33.
- BOURGARIT, D. THOMAS, N. 2011:** From laboratory to field experiments: shared experience in brass cementation. *Historical Metallurgy* 45(1), 2011, 8-16.
- CRADDOCK, P. 1990:** Zinc in Classical Antiquity. 2000 Years of Zinc and Brass. *British Museum occasional papers* 50. London 1990, 1-7.
- CRADDOCK, P., U. A. 1990:** Zinc in India. 2000 Years of Zinc and Brass. *British Museum occasional papers* 50. London 1990, 29-73.
- DUNGWORTH, D. 1997:** Roman Copper Alloys: Analysis of Artefacts from Northern Britain. *Journal of Archaeological Science* 24, 1997, 901-910.
- EICHERT, S. 2012:** Frühmittelalterliche Strukturen im Ostalpenraum. *Studien zu Geschichte und Archäologie Karantaniens*. Aus *Forschung und Kunst* 39. Klagenfurt 2012, 207-294.
- EICHERT, S., MEHOFER, M. 2011:** Frühmittelalterliche Emailscheibenfibeln aus Villach. *Neues aus Alt-Villach* 48, 2011, 29-66.
- EICHERT, S., MEHOFER, M. 2013:** Recycelte Römer oder slawische Metallurgen? *Interdisziplinäre Studien zur frühmittelalterlichen Buntmetallindustrie im Ostalpenraum*. *Archäologie Österreichs* 24/2, 2013, 46-54.
- FÖRSTER, T. 1987:** Glänzend wie Gold: Gelbguss bei den Senufo, Elfenbeinküste. *Veröffentlichungen des Museums für Völkerkunde* 9, 1987, 132-165.
- FRIES, O. 2014:** Die neuzeitliche Zinkhütte in Döllach im Mölltal – Eine bauhistorische Untersuchung. *Beiträge zur Mittelalterarchäologie in Österreich* 30, 2014, 223-239.
- GUSSONE, R. 1964:** Untersuchungen und Betrachtungen zur Paragenese der Blei-Zink-Erzlagerstätten im Raume Aachen-Stolberg. *Dissertation Fakultät für Bergbau und Hüttenwesen Hochschule Aachen* 1964.
- HAEDECKER, K. 1973:** Gleichgewichtsverhältnisse bei der Messingherstellung nach dem Galmeiverfahren. *Erzmetall* 26, 1973, 229-233.
- SOMMERLATTE, H. 1988:** Messing und Zink. *Alte Berichte aus China und neuere Ausgrabungen in Indien*. *Kultur & Technik*, Heft 1, 1988, 46-52.
- UČIK, F. H. 2002:** Messing in Österreich. Die Herstellung und die wirtschaftliche Bedeutung unter besonderer Berücksichtigung der ehemaligen Messinghütte Möllbrücke. *Carinthia II* 192/112, 2002, 161-188.
- ULLWER, H. 2001:** Messingherstellung nach dem alten Galmeiverfahren. *Erzmetall* 54(6), 2001, 319-326.
- ULLWER, H. 2008:** Das alte Galmeiverfahren und die erreichbaren Zinkgehalte. *Erzmetall* 61(5), 2008, 324-327.
- WERNER, O. 1970:** Über das Vorkommen

von Zink und Messing im Altertum und im  
Mittelalter. Erzmetall 23, 1970, 259-269.

Abbildungsnachweis

Abb. 1: Stefan Eichert

Abb. 2-5, 7-10 Stefan Stadler

Abb. 6: Vienna Institut for Archaeological  
Science

Autor

Stefan Stadler

Mariahilferstraße 152, Tür 8

1150 Wien

Österreich

stefan\_stadler@gmx.at