

EXPERIMENTELLE ARCHÄOLOGIE IN EUROPA
Jahrbuch 2018
Heft 17

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 2018

Unteruhldingen 2018

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: S. Guber, M. Arz, O. Ostermann

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 978-3-944255-11-8

© 2018 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

Gunter Schöbel

Vorwort

8

Experiment und Versuch

Sonja Guber

Prähistorische Bienenhaltung in Mitteleuropa – ein archäoimkerliches Projekt

10

Hans Reschreiter, Michael Konrad, Marcel Lorenz, Stefan Stadler, Frank Trommer, Claus-Stephan Holdermann

Keine Tüllenpickel im bronzezeitlichen Salzbergbau in Hallstatt! Aspekte der experimentellen Fertigung bronzezeitlicher Gezähe als Interpretationsbasis bergmännischer Spezialisierung

19

Hannes Lehar

Auf der Suche nach dem „dehnbaren“ Beton

34

Martin Schidlowski, Tobias Bader, Anja Diekamp

Mineralogische und chemische Charakterisierung römischer Estriche

43

Klemens Maier, Daniel Draxl, Matthias Leismüller, Manuel Muigg, Alexander Hanser, Oskar Hörtnner

Rezeptentwicklung von Opus Caementitium zur Verwendung in Hypokaustheizungen

50

Peter Kienzle

Erfahrungen aus dem Betrieb der rekonstruierten kleinen Thermen in Xanten

59

Gregor Döhner, Michael Herdick, Anna Axtmann

Ofentechnologie und Werkstoffdesign im Mayener Töpfereirevier um 500 n. Chr.

71

Frank Wiesenberg

Glasperlenherstellung am holzbefeuerten Lehmofen

87

Sayuri de Silva, Josef Engelmann

Überlegungen und Rekonstruktion zum Drahtziehen im Mittelalter

101

Rekonstruierende Archäologie

- Thorsten Helmerking*
„Burn-out“ als Arbeitstechnik beim Einbaumbau? 111
- Karl Isekeit*
Das Einbaumprojekt Ziesar 121
- Gabriele Schmidhuber-Aspöck*
Römische Schiffe im Experiment. Schiffbau im LVR-Archäologischen Park Xanten 129
- Wolfgang Lobisser, Jutta Leskovar*
Die experimentalarchäologische Errichtung der neuen Herrinnenhalle von Mitterkirchen an der Donau im oberösterreichischen Machland 140
- Wolfgang Lobisser*
Man muss das Eisen schmieden, solange es heiß ist! Das neue Modell einer keltischen Schmiede im MAMUZ in Niederösterreich 158
- Clio Felicitas Stahl*
Gut gerüstet. Der Nachbau eines frühsarmatischen Schuppenpanzers aus Filippovka I unter Berücksichtigung technisch-konstruktiver Fragen 174
- Maren Siegmann*
Die Spur der Fäden. Perlenensembles und ihre Aussagemöglichkeiten 186
- Thomas Flügen, Carsten Wenzel*
Alten Mauern mit neuem „Glanz“ – Sanierung und Neupräsentation der „Kaiserpfalz Franconofurd“ 199
- Andreas Klumpp*
„Wie man guote kraphen mag machen“. Neue Experimente zur Herstellung mittelalterlicher Krapfen – erste Grundlagen 209

Vermittlung und Theorie

- Peter Kienzle*
Der Forscher – die Botschaft – der Besucher. Kommunikation an archäologischen Stätten 220

<i>Sylvia Crumbach</i> Experimentelle Archäologie – Was für eine Frage?	230
<i>Claudia Merthen</i> Neuer Name – bewährtes Konzept. Das Potential von Citizen Science für die Experimentelle Archäologie	236
 Jahresbericht und Autorenrichtlinien	
<i>Ulrike Weller</i> Vereinsbericht der Europäischen Vereinigung zur Förderung der Experimentellen Archäologie e.V. (EXAR) für das Jahr 2017	245
Autorenrichtlinien „Experimentelle Archäologie in Europa“	249

Vorwort

Liebe Mitglieder des Vereins, liebe Leserinnen und Leser,

Die Vereinigung zur Förderung der Experimentellen Archäologie in Europa EXAR tagte 2017 in Xanten auf dem Gelände der einstigen römischen Stadt Colonia Ulpia Traiana. Rund 400 Jahre lang war Xanten neben Köln, Trier und Mainz eine der größten und bedeutendsten römischen Städte in Germanien. Ein Glücksfall war, dass das Gelände der einstigen Römerstadt in Mittelalter kaum besiedelt wurde, sodass sich vieles im Boden gut erhielt. 1973 beschloss der Landschaftsausschuss des Landschaftsverbands Rheinland (LVR) die Einrichtung des Archäologischen Parks auf dem Areal der ehemaligen Colonia, der am 8. Juni 1977 eröffnet wurde. Über 570.000 Besucher, darunter 40 Prozent Kinder, Jugendliche, Schüler unter 18 Jahren, haben den Archäologischen Park Xanten (APX) 2017 besucht, der damit zu den meistbesuchten Museen Deutschlands zählt. Es war ein idealer Ort für die 15. EXAR Jahrestagung vom 28. September bis 1. Oktober 2017. Ein besonderer Dank geht an Dr. Martin Müller, den Leiter des APX und an seine Mitarbeiter, die sich jederzeit bestens um uns kümmerten und hervorragende Voraussetzungen für die gelungene Durchführung der Tagung schufen. Zugleich gaben sie uns tiefe Einblicke in Organisation und thematische Orientierung des Parks.

Zwei Vortragstage und ein abschließender Exkursionstag, der uns durch den weitläufigen Archäologischen Park mit Römermuseum, Schiffswerft, Hafentempel und Amphitheater führte, füllten das dreitägige Programm. Rund 20 Vorträge

beleuchteten aktuelle Vorhaben der Experimentellen Archäologie aus unterschiedlichen Blickwinkeln. Wie jedes Jahr konnte dabei ein breites Spektrum aus dem Bereich „Experiment und Versuch“, „Rekonstruktion“ sowie „Vermittlung und Theorie“ vorgestellt werden. Das 250 Seiten umfassende Jahrbuch fasst in 22 Beiträgen das Wichtigste der vergangenen Jahrestagung zusammen. Passend zum Ort der Zusammenkunft lag ein besonderer Schwerpunkt auf Experimenten und Versuchen zur Archäologie der Römischen Provinzen. Römische Bautechniken – genannt seien die Stichworte Opus Caementitium, Estriche und Beton – wurden ebenso thematisiert wie praktische Erfahrungen im Betrieb einer Therme und beim Nachbau eines Römerschiffes. In den Bereich der Mobilität zu Wasser führten uns neben dem römischen Schiffsbau zwei Einbaum-Experimente. Unterschiedliche Fragestellungen zur Rekonstruktion nahmen sich Vorträge zur neuen Herrinnenhalle von Mitterkirchen an der Donau, Österreich, und zur Kaiserpfalz „Franconofurd“ an. Drei Berichte aus dem Bereich „Vermittlung und Theorie“ widmeten sich der Rezeption archäologischer Versuche und dem Potential von „Citizen Science“, bei der sich Bürgerinnen und Bürger an der Wissensbeschaffung und am Erkenntnisgewinn beteiligen. Ein Rückblick über die Vereinstätigkeiten aus der Feder von Frau Ulrike Weller rundet den aktuellen Band ab.

Wir wünschen Ihnen viel Spaß beim Lesen

Prof. Dr. Gunter Schöbel
Vorsitzender EXAR

Keine Tüllenpickel im bronzezeitlichen Salzbergbau von Hallstatt!

Aspekte der experimentellen Fertigung bronzezeitlicher Gezähe als Interpretationsbasis bergmännischer Spezialisierung

Hans Reschreiter, Michael Konrad, Marcel Lorenz, Stefan Stadler,
Frank Trommer, Claus-Stephan Holdermann

Summary – No socketed picks at the Bronze Age salt mining site of Hallstatt! Aspects of experimental production of Bronze Age mining tools as interpretation base for specializing in mining. *The salt mining in Hallstatt is characterized by a variety of special developments in the late Bronze Age. These are exclusively known in this mining area and are not employed in neighbouring contemporaneous copper deposits. This simultaneously applies to the question of hafting of the miners toolsets. In Hallstatt winged picks are predominantly used during the Bronze Age, whereas in the remaining Eastern Alpine area, as for example in Mitterberg, socketed haftings are deployed. Despite existing relations between the two areas, there is no technology transfer. In order to draw a comparison between these two contrasting types of toolsets, the production process of socketed and winged picks has been reconstructed in a number of archaeological experiments. The comparison shows that socket haftings require less time and work, as far as form production, casting technique, casting finishing and the production of haftings are concerned. Moreover, haftings for winged picks show various weak spots and are therefore considerably more fragile than socketed haftings. Why people in Hallstatt still opted for winged picks despite the easier production process of hafting picks, cannot be explained. The produced toolsets will be implemented in a follow-up project within a set of mining experiments and the thus resulting data will facilitate a more detailed comparison.*

Keywords: Hallstatt, Mitterberg, mining, winged picks, socketed picks, reconstruction of casting techniques

Schlagworte: Hallstatt, Mitterberg, Bergbau, Lappenpickel, Tüllenpickel, Rekonstruktion der Gusstechnik

Einleitung

Der Hallstätter Salzbergbau zeichnet sich in der späten Bronzezeit durch eine Vielzahl von Spezialentwicklungen aus, die

nur aus diesem Bergbau bekannt sind und in den benachbarten zeitgleichen Kupferrevieren nicht zum Einsatz kommen (RESCHREITER, KOWARIK 2015, 292). So sind etwa Fülltröge, Tragsäcke aus



Abb. 1: Nachgüsse von Lappen- und Tüllenpickel mit Schäftung. – Experimental casted winged and socketed picks with hafting.



Abb. 2: Bronzezeitliche Originalschäftung mit Lappenpickelkopie. – The original Bronze Age hafting with the reconstructed winged pick.

Rinderhaut und Holztreppe bisher nur im Salzbergwerk nachgewiesen, obwohl auch in manchen Kupferbergwerken die Erhaltungsbedingungen für Geräte aus

Holz sehr gut sind. Andererseits sind auch keine ‚Erfindungen‘ aus den Kupferrevieren, wie die Spankübel oder die Spatel (THOMAS 2018) im Salz in der Form zum Einsatz gebracht worden. Der nicht nachweisbare Technologietransfer ist insofern bemerkenswert, als auf anderer Ebene intensiver Kontakt vorausgesetzt werden muss. Die Hallstätter Betriebe benötigen ständigen Kupfernachschub, um den Verschleiß des Gezähes, der durch regelmäßiges Schleifen verursacht wird, auszugleichen (KOWARIK 2016, 308). Andererseits kann davon ausgegangen werden, dass die Kupferreviere Salz zum Konservieren ihrer Lebensmittel einsetzten (STÖLLNER ET AL. 2016). Der eigenständige Weg Hallstatts ist auch beim Abbaugerät erkennbar. In der Bronzezeit sind in den Alpen und in Siebenbürgen zwei unterschiedliche Gezähetyphen im Einsatz – Tüllenpickel und Lappenpickel. Die 20 bekannten Tüllenpickel stammen aus den Ostalpen und wurden zuletzt von Peter Thomas und Thomas Stöllner zusammengestellt und ausgewertet. Sie datieren vom 15. Jh. bis ins 9. Jh. v. Chr. (STÖLLNER, SCHWAB 2009; THOMAS 2018) und weisen, soweit erhalten, eine recht kurze gedrungene Schäftung auf (THOMAS 2018). Für die Tüllenpickel (Abb. 1) konnte nachgewiesen werden, dass sie aus lokalen Erzen gefertigt sind (STÖLLNER ET AL. 2016, 93).

Lappenpickel hingegen kommen in Hallstatt, Sippachzell, der Koppentraun, in Tschechien und in Siebenbürgen vor. Sie datieren ins 13.-12. Jh. v. Chr. (HÖGLINGER 1996; THOMAS 2014, 182-183) und könnten in den Alpen, eventuell Hallstatt, entwickelt worden sein, da nach neueren Überlegungen die Oberösterreichischen Funde älter als die Siebenbürger sein könnten (THOMAS 2014). Die bronzezeitlichen Lappenpickel aus Hallstatt sind mit einer bis zu einem Meter langen, sehr dünnen Schäftung (Abb. 2) versehen. Die spezielle Ausformung der Schäftung legt



Abb. 3: Blick auf den Schäftungsbereich eines Lappenpickels. – Hafting section of a winged pick.

eine unübliche Art der Handhabung nahe (RESCHREITER 2017). Über tausend gebrochene Pickelstiele zeigen die exklusive Verwendung dieses Gezähes. Bisher wurde im Salz kein einziger Stiel für ein Tüllengerät entdeckt.

Fragestellung

Es ist vorderhand nicht nachvollziehbar, warum die Hallstätter Bergleute nicht das etablierte und bewährte Gezäh der Kupferbergleute übernahmen und für ihre Bedürfnisse adaptierten. Es ist verständlich, dass die Hallstätter in „ihrer“ Lagerstätte, in der es möglich ist, riesige Abbaukammern anzulegen, anderes Gerät zum Einsatz brachten, als ihre Kollegen in den beengten Erzgängen des Kupferreviers. Um zu verstehen, warum diese Unterschiede im Gezäh bestehen, wurden als erster Schritt mehrere Tüllen- und Lappenpickel gegossen und dabei die Gusstechnik rekonstruiert. In späteren Versuchen soll mit diesen Pickeln gearbeitet werden.

Lappenpickel

Die Röntgenfluoreszenzanalysen der Lappenpickel des Salzbergwerks in Hallstatt konnten zeigen, dass diese unterschiedliche Legierungstendenzen aufweisen. Bei den spätbronzezeitlichen Stücken wurden höhere Zinnwerte nachgewiesen, die zwischen 10% und 12% streuen, während die eisenzeitlichen deutlich niedriger legiert, eine breitere Streuung aufwiesen (GRASBÖCK 2008). Auf diesen Informationen aufbauend, wurden im Rahmen des experimentellen Nachvollzugs bei spätbronzezeitlichen Pickeln Bronzen mit einem Zinnanteil von 8% bis 12% verwendet. Weiterhin konnten die naturwissenschaftlichen Analysen zeigen, dass alle untersuchten Stücke ein unbearbeitetes dendritisches Gussgefüge aufweisen. Auf Grund dessen kann eine weitere Bearbeitung der prähistorischen Pickel, etwa durch Dengeln oder Glühen, im Wesentlichen ausgeschlossen werden (GRASBÖCK 2008).

Eine Ausnahme bildet hierbei der Bereich

des Hauses (Abb. 3). Die hier ansetzenden Lappen halten den Stiel, der zwischen ihnen klemmt. Sie hätten als dünne Platten oder Lappen im Wachs-ausschmelzverfahren gegossen werden können. Die archäologischen Funde belegen durch das wiederholte Auftreten von Gussnähten jedoch, dass die Pickel im Kokillengussverfahren hergestellt wurden. Pickel, die durch Gussvorgänge entstanden, bei denen nicht auf eine absolute Passgenauigkeit der beiden Formenhälften geachtet wurde, zeigen, dass hierbei eine gewisse Toleranz bestand, innerhalb der auch ungenau abgeformte Werkstücke funktionstüchtig gemacht wurden.

Im Kokillenverfahren können aber die noch senkrecht stehenden und nach dem Guss zu biegender Lappen nicht komplett ausgeformt gegossen werden, da diese die Form beim Abkühlen (Stichwort: Schrumpfen) zerstören würden. Ihr Volumen muss daher unter Berücksichtigung der Materialeigenschaften der Gussform möglichst flächig angelegt und später, nach dem Guss, zu Lappen ausgeschmiedet werden. Generell gilt hierbei: Je größer die späteren Lappen als stehende Platten gegossen werden können, desto weniger Arbeitsaufwand ist notwendig für das aufwendige Ausschmieden (s. u.), desto ökonomischer ist die Fertigung des Werkzeuges.

Auf Erfahrungen aus bisher durchgeführten Experimenten aufbauend, sind derzeit zwei verschiedene Fertigungsmodelle vorstellbar, die auf der Verwendung von unterschiedlichem Kokillenmaterial basieren: Kokillen aus Stein und Kokillen aus Keramik. Im Wesentlichen unterscheiden sich die beiden Materialien in ihrer Verfügbarkeit, im Aufwand bei der Formfertigung und in der Standhaftigkeit als sich im Gussprozess befindende Form. Steinformen benötigen im Allgemeinen für ihre Herstellung einen höheren Zeitaufwand (für die bronzezeitlichen Pickel ca. 360 min), sind aber standhafter. Somit ist es

von Vorteil, wenn eine hohe Anzahl von Objekten gegossen werden soll, deren Form in einer Kokille gegossen werden kann, in Steinkokillen zu gießen. Wie bereits erwähnt, ist bei der Ausformung der Gussform zu berücksichtigen, dass sich das Bronzeobjekt beim Erkalten zusammenzieht. Es muss hierbei „aus der Form rutschen“. Hierfür sind Hinterschneidungen oder beim Abkühlen klemmende Gussformensegmente zu vermeiden.

Im Fall des hier skizzierten Fertigungsmodells besteht die Gefahr des Verklemmens, wenn bei der Ausformung der Lappen in der Form deren Hohlräume zu weit in das Gussformenmaterial hineinreichen. Der abkühlende Pickel würde die Form zerbrechen oder zumindest in dieser klemmen. Eine Gefahr, die bei dem hohen Aufwand des Baus einer Steinform vermieden werden muss, da diese im Hinblick auf ein ökonomisches Fertigungsmodell wiederholt gegossen werden muss. Die Pickel werden daher in Steinformen gegossen, deren Lappen in der Form konisch, mit einer Tiefe von 3 cm und einer Breite von 2 mm bis 4 mm, angelegt werden. Das verwendete Formenmaterial ist derzeit Lettenkohlen-sandstein, dessen Benutzung in Südwestdeutschland durch den Depotfund von Neckargartach bei Heilbronn (PARET 1952-54, 35-39) nachgewiesen wurde. Für Hallstatt wäre die Verwendung des lokalen Sandsteins der näheren Umgebung plausibel. Versuche bezüglich seiner Tauglichkeit als Formenmaterial sind in Vorbereitung.

Das zweite Formenmaterial, das für die Fertigung von Kokillen in Frage käme, ist Keramik (Lehm/Ton/Magerungsmittel), dessen Formenmaterialien unproblematisch in ihrer Verfügbarkeit sind. Das Ausformen einer Keramikkokille erfordert wenig Aufwand (HOLDERMANN, TROMMER i. Vorb.). Es wäre somit von Vorteil, wenn aufgrund der Form des zu gießenden Objektes eine hohe Wahrscheinlichkeit be-

stände, die Form beim Gussprozess zu beschädigen, diese aus Keramik zu fertigen. Die Fertigung der Kokille kann ökonomisch durch das Abdrücken eines, bis auf das Umbiegen der noch stehenden Lappen gefertigten, Halbfabrikates durchgeführt werden. Die Kokille wäre danach noch zu brennen. Diese Formen sind generell nicht so standhaft. Der Arbeitsaufwand bei ihrer Fertigung ist im Vergleich zu den Steinformen nicht so hoch. Der Verlust einer Kokille könnte somit eingeplant sein, wenn sich hierdurch möglichst große Lappen gießen lassen würden. Versuche bezüglich der Herstellung von keramischen Pickelformen sind derzeit in der Planung.

Ist das Rohstück gegossen, abgeschrotet und geglättet, erfolgt das Ausschmieden

der Lappen. Dieser Vorgang wird am kalten Werkstück durchgeführt, wobei die Kaltverformung eine Härtung des Stückes bewirkt, die immer wieder durch einen Zwischenglühvorgang rückgängig gemacht werden muss (weiterführend: HOLDERMANN, TROMMER 2010, 791-806). Aus diesem Grunde ist das Ausschmieden der Lappen aufwendig. Hierbei muss ständig berücksichtigt werden, dass das Werkstück im Lappenbereich bei einer zu starken Verformung einreißen könnte. Als Richtwert sind pro Lappen 10 Schmiede- und Ausglühzyklen notwendig. Ausgeschmiedet wird auf einem L-förmigen Gesenk.

Geschmiedet wird zuerst mit einem Bronzehammer, der eine Finne aufweist. Abschließend erfolgt dann das Glätten und



Abb. 4: Die Pickel 3 (Inv. Nr. PA/NHM-Wien 36471) und 11 (Inv. Nr. PA/NHM-Wien 4902) und Skizze der Pickel mit Tülle in Schäftungslage. – Pick 3 (Inv. Nr. PA/NHM-Wien 36471) and 11 (Inv. Nr. PA/NHM-Wien 4902) with a drawing of the socketed pick with the assumed hafting position.

Biegen der Lappen. Zwei Personen halten und führen den Pickel am Gesenk, die dritte schmiedet mit wuchtigen Schlägen. Der Arbeitsaufwand beträgt hierbei für alle vier Lappen etwa 2,5 h pro Person.

Versuche, einen Metallkern zwischen die Lappen zu platzieren und die Lappen über diesem auszuschmieden, haben nicht funktioniert. Die in der Steinform gegossenen Lappen müssen konisch sein, damit der Pickel beim Erkalten nicht in der Form klemmt (s. o.). Ihre Form führt aber auch dazu, dass ein zwischen zwei Lappen platzierter Kern beim Schmieden herausrutscht.

Die Rekonstruktion der Tüllenpickel

Theoretische Überlegungen

Als Ausgangsbasis für die späteren Versuche wurde in der Literatur nach Tüllenpickel der Mitterberger Form gesucht. Einen Überblick gibt Peter Thomas (THOMAS 2009, 176). Einige der hier dargestellten Pickel sind im Original im Naturhistorischen Museum verfügbar.

Die Pickel selbst sind sowohl aus Kupfer als auch aus Bronze gefertigt (STÖLLNER, SCHWAB 2009, 162, Tab. 6), haben einen trapezoiden Querschnitt, dessen breiteste Seite flach und zur Seite gekehrt ist (Abb. 4). Die Tülle ist bei allen unterschiedlich, jedoch zwischen 5 und 8 cm tief. Die Wandstärken sind ebenso sehr unterschiedlich (zwischen 0,5 und 1,2 cm), die flache Seite ist immer etwas dicker ausgeführt (THOMAS 2009, 176). Wie an den Stücken 12 und 13, vom Pass Lueg, zu sehen ist, sind diese sehr oft überschmiedet worden. Dies deutet auf eine sehr starke Abnützung und ein wiederholtes Nachschleifen hin.

Für die Versuche wurden die Pickel Nummer 3 (Inv. Nr. PA/NHM-Wien 36471) und 11 (Inv. Nr. PA/NHM-Wien 4902) aus dem Umfeld des Mitterberger Hauptganges als Vorbilder verwendet (Abb. 5). Diese wurden von der Restaurierwerkstatt des Na-

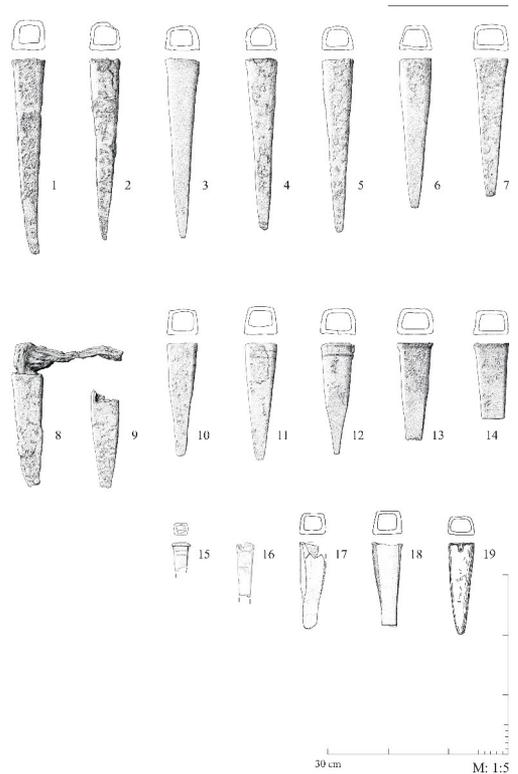


Abb. 5: Zusammenstellung der Tüllenpickel der Mitterberger Form: 1-11: Mitterberg; 12-14: Pass Lueg; 15: Fundbereich „Mittleres Koppental“; 16: Fundbereich „Kainischtraun“; 17-18: Sipbachzell; 19: Inn bei Töging. – Circulation area of the socketed picks type Mitterberg: 1-11: Mitterberg; 12-14: Pass Lueg; 15: Fundbereich „Mittleres Koppental“; 16: Fundbereich „Kainischtraun“; 17-18: Sipbachzell; 19: Inn near Töging.

turhistorischen Museums Wien in Kunststoff abgegossen und zur Verfügung gestellt. Der Pickel Nummer 3 scheint noch in seiner gesamten Länge vorhanden zu sein. Anhand dieses Stückes lässt sich die Tülle nicht rekonstruieren, da diese noch bislang nicht identifiziertes Material enthält.

Bei Pickel Nummer 11 hingegen ist die Tülle sehr schön erhalten und auf der Oberfläche des Pickels zeichnen sich

Merkmale ab, die auf die verwendete Gussform rückschließen lassen. Die Oberflächen der Tüllenpickel sind durchgehend körnig und homogen. Pickel Nummer 11 weist auf seiner flachen Seite, relativ in der Mitte, eine Delle auf, welche durch einen Lufteinschluss oder durch temperaturbedingte Volumenänderungen entstehen kann.

Da es bislang keine aufgefundenen Formen für diese Art von Tüllengerät gibt, wurden anhand der oben beschriebenen Gussmerkmale an Pickel 3 und 11 verschiedene Gussmöglichkeiten diskutiert. Dabei wurden mehrere Aspekte in Betracht gezogen:

- Welches Formmaterial wurde verwendet?
- Welche Methode kommt für den Guss infrage?
- Wurde der Guss stehend oder liegend durchgeführt?
- Wurde über die Spitze oder über die Tülle eingegossen?
- Und wie wurde die Tülle ausgeformt (Kernmaterial)?

Der Guss im Wachsausschmelzverfahren ist vorstellbar, schien hier aber nicht sinnvoll, weil der Aufwand für die benötigte Menge an solch schweren Arbeitsgeräten und die starke Abnutzung dieser dagegen sprechen. So sind zum Beispiel die beiden Pickel vom Pass Lueg (Abb. 5, Pickel 12 und 13) sehr stark ausgeschmiedet und stark abgenützt.

Folgende Möglichkeiten wurden als sinnvoll erachtet und im Gussexperiment nachvollzogen.

Der Guss im Sand ist für prähistorische Zeiten ein schwieriges Thema. Wie schon öfter beschrieben, ist diese Gussmethode für die Prähistorie durchaus denkbar, auch wenn sich im archäologischen Befund nichts erhält. Auch die Herstellung von Tüllengeräten ist mit dieser Technik möglich (OTTAWAY 1994, 117; GOLDMANN 1981, 109-115; FASNACHT 1995, 23-28).

Die einseitig gerade Bahn und der trapezoide Querschnitt legen eine einschalige Form mit Kern für die Tülle nahe. Für diese Art des Gusses bieten sich zwei verschiedene Methoden an. Einmal der offene Herdguss, hierbei wird das flüssige Kupfer liegend in eine einschalige Form ohne Abdeckung gegossen. Dies könnte die dicker ausgeführte flache Seite der Pickel erklären. Allerdings entsteht beim offenen Herdguss sowie beim gedeckten Herdguss (rasches Abdecken der frei liegenden Metalloberfläche nach dem Guss) auf der offenen Seite eine Oxidschicht und eine sehr unregelmäßige Oberfläche. Diese kann sich beim offenen Herdguss während des Abkühlens des Metalls sogar leicht konkav verziehen (HOLDERMANN, TROMMER 2005, 127). Die Oxidschicht und die unregelmäßige Oberfläche muss im Nachhinein abgearbeitet werden, um eine plane Oberfläche wie bei den Mitterberger Pickeln zu erhalten.

Die zweite Methode ist der Guss in gedeckter Form. Hierbei wird der Pickel als Negativ ebenso nur in eine Formhälfte eingearbeitet, die zweite Formhälfte dient hier von Anfang an als Abdeckplatte (JOCKENHÖVEL 1994, 38; HOLDERMANN, TROMMER 2005, 127). Diese Methode hat den Vorteil, dass der Guss von allen Seiten umschlossen ist und somit keine Oxidschicht oder eine einziehende Oberfläche entstehen kann. Daher muss darauf geachtet werden, dass die eingeschlossene Luft während des Gussvorganges entweichen kann. Dies wird einerseits durch Luftkanäle, welche sich auf zahlreichen gefundenen Gussformen aus Stein nachweisen lassen, und andererseits durch vegetabile Magerungsbestandteile im Tongemisch bei Keramikformen erreicht (KONRAD, LOBISSER 2015, 127). Generell kommen hier, wie auch bei den Lappenpickeln, Formen aus Stein oder Keramik in Frage.

Beim Guss in gedeckter Form kann diese entweder liegend oder stehend gegossen

werden. Für beide Varianten wird ein Eingusstrichter benötigt. Die verdrängte Luft steigt hierbei an die höchstgelegene Stelle innerhalb der Form.

Bei der liegenden Form ist dies die plane Seite des Pickels, auf der kleine Luftblasen über die gesamte Länge der Bahn zu erwarten sind, egal ob über die Spitze oder über die Tülle eingegossen wird.

In stehender Form gegossen ist dies entweder der obere Bereich der Tülle oder der Pickelspitze, je nachdem, auf welcher Seite eingegossen wird.

Hier muss grundsätzlich überlegt werden, welcher Teil des fertigen Werkstückes den höchsten Beanspruchungen bei der Benutzung ausgesetzt ist. Bei Tüllenpickeln ist dies wohl der Schneidenbereich, der daher besonders dicht gegossen werden soll. Deswegen empfiehlt sich ein Eingießen über den Kern, wie wir es auch aus zahlreichen Funden von Steinformen für Tüllengeräte kennen (NESSEL 2012, 145-159).

Das Material für den Kern ist für das Gelingen des Gusses von entscheidender Bedeutung. Denkbar sind Kerne aus Keramik, Holz, Stein oder Metall. Kerne aus Keramik sind aus wenigen Funden von Tüllenbeilen mit erhaltenem Kern bekannt, dabei handelt es sich um stark sandige Tonmischungen, die fest genug sein müssen, um auch in einem Stück herausgezogen werden zu können (OTTAWAY 1994, 121). Kerne aus Metall kennen wir zum Beispiel aus dem Depotfund von Crévic (Dép. Meurthe-et-Moselle; Frankreich) zur Herstellung von Tüllenlanzen-spitzen (HÄNSEL, HÄNSEL 1997, 122).

Vorexperimentierphase

Um diese Merkmale nun mit den Herstellungsprozessen vergleichen zu können, wurden mehrere Pickel gegossen und alle oben beschriebenen Varianten getestet. Als Kernmaterial wurde Folgendes getestet: Keramik, Holzkohle und Kupfer.

Der Keramikern birgt das Problem, dass

der Kern nicht einfach herausgelöst werden kann, sondern aufwendig herausgestemmt werden muss. Auch verschiedene Lehm-mischungen brachten hier keinen nennenswerten Unterschied. Keramikkerne mögen also eine gute Lösung für Schaftlöcher sein, da hier das Material durch Hinausstoßen einfacher entfernt werden kann. Für die Rekonstruktion der Tüllenpickel scheinen diese Kerne aber nur bedingt geeignet zu sein.

Der Holzkohlekern erwies sich ebenfalls als ungeeignet, da dieser bei Kontakt mit dem flüssigen Kupfer sehr stark ausgast und zu einer unvollständigen Tülle führt.

Ein Kupferkern ist in seiner Herstellung und Nachbearbeitung sehr zeitaufwendig, allerdings mehrfach verwendbar. Er muss sehr genau gearbeitet werden, da schon die geringste Hinterschneidung zu einer Verklemmung mit dem Artefakt führt und somit das Lösen des Kernes unmöglich wird. Bei den Vorexperimenten zeigten sich einige Vorteile, die für einen Kupferkern sprachen, weder das Herauslösen noch Luftblasen führten zu Schwierigkeiten.

Als Formmaterial wurden folgende drei Möglichkeiten getestet:

- Sandguss
- Keramikform, offener Herdguss mit und ohne Deckel
- Sandsteinform mit Deckel

Der Sandguss ist für die Bronzezeit nicht direkt nachweisbar und erwies sich als ungeeignet für die Produktion einer Tülle. Diese bildete sich nie vollständig aus und der Kern konnte nicht zufriedenstellend fixiert werden. Die Versuche mit Guss-sand dienten in Folge hauptsächlich für Testzwecke, um ein Gefühl für den Umgang mit zwei Kilogramm flüssigem Kupfer zu bekommen und um verschiedene Kernmaterialien zu testen.

Die Keramikformen sind sehr schnell und einfach herzustellen. Dieser Formtyp wurde im offenen Herdguss (Abb. 6) und



Abb. 6: Keramikform für offenen Herdguss mit darin gegossenem Pickel. – Clay mould for open casting with the casted pick.

dem Guss in einer gedeckten Form getestet. Im Rahmen der Vorversuche wurden diese immer liegend gegossen. Die Formen wurden auf ca. 200°C vorgewärmt und in einem Sandbett waagrecht positioniert. Durch eine Einbettung in Sand sind kleinere Risse in den Keramikformen vernachlässigbar, da diese durch den Sanddruck verschlossen werden. Die Ausrichtung der Form wird damit sehr vereinfacht und ist ein kritischer Schritt, da kleinste Abweichungen zu einem unvollständigen Ausfüllen der Form führen. Bei einem liegenden Guss empfiehlt es sich außerdem über die Spitze einzugießen, da das Gewicht des einfließenden Kupfers die Position des Kerns beeinflussen kann. Die Formen hielten trotz unterschiedlichen Magerungszuschlägen, wie z. B. Stroh, Sand usw., den hohen Belastungen durch fast zwei Kilogramm flüssiges Kupfer nicht stand. Die Kernfixierung konnte nicht entsprechend umgesetzt

werden, sodass keine Kontrolle über die Wandstärke der Tülle vorlag. Beim Gießen über die Spitze wurde wiederholt beobachtet, dass aufgrund des geringen Gefälles das Kupfer zu früh erstarrte und somit die Tülle nicht vollständig ausgebildet wurde (Abb. 6).

Es wurden drei verschiedene Sandsteine der Variation St. Margarethen auf Kalkbasis vom Steinmetz unseres Vertrauens erworben. Sie wurden bereits geschnitten, in Blockform und mit dazu passender Deckplatte geliefert. Diese hatten unterschiedliche Härtegrade und wiesen eine gute Stabilität und Bearbeitbarkeit auf. Diese Thematik wird im folgenden Kapitel noch näher erörtert.

Versuchsdurchführung

Aufgrund der Erkenntnisse aus den vorhergegangenen Versuchen wurde der Guss stehend über die Tülle durchgeführt, ein Kern aus Kupfer verwendet und als



Abb. 7: Gussofen in Betrieb. – The used furnace.

Gussformmaterial Sandstein gewählt. In der Versuchsreihe wurden insgesamt fünf Rekonstruktionen gefertigt. Als Versuchsumfeld fiel die Entscheidung auf das Freilichtmuseum Asparn an der Zaya, da dort die nötige Infrastruktur, die Öffentlichkeitsnähe und ein harmonisches Umfeld gewährleistet ist. Die Durchführung von Gussexperimenten ist im Freien aus arbeitstechnischen, wahrnehmungsspezifischen und authentischen Gründen zu empfehlen.

Für die Umsetzung der Versuche wurden Kupferrohre zugekauft und zerkleinert. Für den Schmelzprozess wurde ein Lehmofen mit ca. 40 cm Durchmesser und 25 cm Höhe herangezogen. Als Gebläse fungierte ein umgebauter regulierbarer Staubsauger (Abb. 7). Des Weiteren war eine Gusstiegelzange, mehrere Klemmen und persönliche Sicherheitsausrüstung (Lederschürze, Schutzbrille, Stahlkappenschuhwerk und Gusshandschuhe) im Einsatz.

Die Sandsteinformen wurden vor Ort mit dem entsprechenden Steinmetzwerkzeug aus Stahl (Stemmeisen, Raspeln, Hammer) gefertigt. Aufgrund der Beschaffenheit des Sandsteines kann an dieser Stelle angemerkt werden, dass die Bearbeitung von Sandstein in dieser Qualität mit Bronzewerkzeugen durchaus denkbar ist. Es wurden mehrere Luftkanäle in die Form geritzt (Abb. 9). Nach Fertigstellung der Form wurde der Ofen in Betrieb genommen und mit handelsüblicher Holzkohle gefahren. Zeitgleich wurde der Kupferkern mit mehreren Schichten Schlicker (feines Ton-Wassergemisch) eingepinselt, um ein Verschmelzen mit dem Artefakt zu verhindern und um etwaige Unebenheiten am Kern auszugleichen. Gleichzeitig wurde die gefertigte Sandsteinform nahe dem Ofen in glühende Kohlen gebettet, um sie vorzuwärmen. Aufgrund der Hitzeeinwirkung riss die Form in zwei Teile, konnte aber ohne Schwierigkeiten wieder zusammengesetzt



Abb. 8: Zwei der in Sandstein gegossenen Repliken (Mitte) mit den Abgüssen der Originale (oben und unten). – Two of the picks which were casted in sandstone (middle) with the replicas of the original picks.

werden. Zusätzlich wurde der Riss mit Schlicker ausgeschmiert. Dieser Vorfall führte dazu, dass nur das Negativ der Form mit glühenden Kohlen gefüllt wurde, um weitere Temperaturspannungen abzumildern.

In einem Graphittontiegel mit ca. 0,3 l Fassungsvermögen wurden zwei Kilogramm vom zuvor aufbereiteten Kupfer eingeschmolzen. Die in der Sandsteinform befindlichen glühenden Kohlen wurden entfernt und die Form ausgeblasen. Der Kupferkern wurde oben in die Form eingesetzt und die Abdeckplatte mit zwei Klemmen und Brettern fixiert. Zusätzlich wurde ein Erdmantel um die Form aufgeschüttet, da kein Sandbett zur Verfügung stand. Der Kupferschmelze wurde etwa ein Esslöffel Weinstein (Kaliumhydrogentartrat) zugesetzt. Dieser wirkt innerhalb



Abb. 9: Frisch gegossener Tüllenpickel in der Sandsteinform, mit Kern und Abdeckplatte. – Newly casted pick in the sandstone mould, with the core and the cover.

der Schmelze desoxidierend, wodurch sich die Gießbarkeit des Kupfers verbessert.

Der Guss wurde von zwei Personen durchgeführt. Einer führte den Tiegel, während der zweite mit einem Holzseil aufschwimmende Verunreinigungen in der Schmelze zurückhielt. Nach ungefähr fünfminütiger Abkühlphase wurde die Form vom Erdmantel befreit und der Tüllenpickel vorsichtig herausgelöst (Abb. 8). Nach dem Abschrecken im Wasserbad wurde der Kern durch mehrfache Hammerschläge gelockert und konnte problemlos entfernt werden. Das fertige Objekt wurde mit den Originalabgüssen verglichen und wies vergleichbare Gussmerkmale auf (Abb. 9). Aufgrund dieser guten Übereinstimmungen wurde dieselbe Versuchsanordnung weitere viermal angewandt und konnte wiederholt werden.

Zusammenfassung des Experiments

Die Nachbildungen weisen starke Ähnlichkeiten zu den Originalfundstücken auf, insbesondere die Vertiefungen und die Oberflächenstruktur sind vergleichbar. Ähnliche Oberflächen wie beim Guss in Sandstein können ebenso mit einem Guss in verlorener Form produziert werden und lassen sich makroskopisch kaum unterscheiden. Von Originalstücken kann nur bedingt auf das Material der Gussform rückgeschlossen werden.

Der Zeitaufwand betrug insgesamt 60 Arbeitsstunden, die sich auf drei Personen aufteilten. Insgesamt wurden für fünf Nachbildungen drei Sandsteinformen produziert und etwa 100 kg Holzkohle verbrannt. Für einen Pickel wurden zwei Kilogramm Kupfer eingeschmolzen, dieser Vorgang benötigt etwa eine Stunde. Für das Herstellen einer Sandsteinform wurden zwei Stunden aufgewendet. Dies kann durch die nötige handwerkliche Erfahrung und Materialkenntnisse verkürzt werden. Es konnte eine Sandsteinform für drei Güsse verwendet werden. Je nach Handhabung der Form sind mehrfache Güsse möglich. Sandstein ist für die Serienproduktion von Tüllengeräten bestens geeignet. Empirisch bestätigt hat sich, dass der Guss stehend, über den Kern und in eine gedeckte Form, zu guten Ergebnissen führt. Es bedarf wenig Nachbearbeitungen, um zum fertigen Werkzeug zu gelangen. Es bildet sich kein Gusszapfen aus. Der Tüllenpickel muss lediglich nachgeglüht und seine Spitze ausgeschmiedet und geschärft werden. Die Holzkohle hat den größten Gewichtsanteil bezogen auf den Gesamtprozess.

Für weitere Versuche wäre die Verwendung von Sandstein aus der direkten Umgebung des Fundortes der Pickel aussagekräftiger. Der direkte Vergleich von Fertigungszeiten ist schwierig, da diese abhängig sind vom Material, dem Handwerkskönnen und den jeweiligen Rah-

menbedingungen. Abschließend kann gesagt werden, dass hier eine gute Basis für weitere Versuchsreihen geschaffen wurde. Die Originale konnten sehr getreu nachgebildet und ein mögliches Guss-szenario erarbeitet werden.

Schäftung der Gezähe

Auch in Bezug auf die „Schäftung“ liegen grundlegende Unterschiede vor.

Die Tüllenschäftung ist sehr einfach herzustellen. Der aus dem Ast gefertigte Zapfen ist mit wenigen Beilhieben zuge richtet und verkeilt sich durch die konische Form der Tülle sehr sicher (THOMAS 2018).

Falls ein Tüllengerät locker wird, ist durch Einlegen von Holzplättchen oder Hautstreifen in die Tülle rasch wieder ein fester Sitz des Gerätes zu erlangen. Tüllenpickelschäftungen dürften auch wenig bruchanfällig sein, da sie auffällig häufig komplett gefunden werden (THOMAS 2018).

Für die Herstellung der Aufnahme eines Lappenpickels ist es notwendig, die Schäftung mit einem Schlitz zu versehen. Für das Ausstemmen dieser Ausnehmung, durch die dann erst die beiden Schäftungszinken entstehen, auf die dann der Lappenpickel aufgeschoben werden kann, ist ein Spezialgerät notwendig – der lanzettförmige Meißel, der nur für diese Funktion ausgelegt zu sein scheint. Außerdem wird durch den Schlitz das Holz massiv geschwächt. Je weiter der Pickel im Zuge der Verwendung in die Schäftung eingetrieben wird, desto größer ist die Gefahr, dass der Kopf der Schäftung gespalten wird oder ein Zinken ausbricht. Der Großteil der in Hallstatt gefundenen Schäftungen zeigt die Spuren dieses Bruchverhaltens. Bisher wurden über 1000 Fragmente von Pickelschäftungen geborgen. Dem stehen lediglich zwei komplette Stücke gegenüber. Auch die vielen Versuche mit rekonstruiertem Ge-

zähe, die in den letzten Jahren durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass die gespaltenen Zinken die Schwachstelle der Schäftung darstellen.

Bei Tüllen- und Lappenschäftungen hängt der Arbeitswinkel des geschäfteten Geräts vom Wuchswinkel der Stamm-Astabzweigung des verwendeten Rohlings ab. Bei der Zurichtung der Zinken für die Aufnahme eines Lappengeräts sind so gut wie keine Korrekturen des vorgegebenen Winkels möglich, um den Arbeitswinkel zu verändern. Bei Tüllenschäftungen kann im Zuge der Ausformung des Schäftungszapfens der Arbeitswinkel noch geringfügig angepasst werden.

Conclusio: Vergleich Arbeitsaufwand
Tüllenpickel vs. Lappenpickel

Im Vergleich zu dem aufwendigen und zeitintensiven Herstellungsprozess für Lappenpickel scheinen Tüllenpickel viele Vorteile in Bezug auf die Fertigung zu haben. In der Formherstellung, Gussnachbearbeitung sowie bei der Herstellung der Schäftung ist der Tüllenpickel wesentlich weniger arbeitsintensiv. Die Schäftungen für Tüllenpickel weisen keine Schwachstellen auf und sind daher im Vergleich zu Lappenschäftungen deutlich weniger bruchanfällig.

Die Frage, warum die Hallstätter Bergleute ausschließlich Lappenpickel einsetzten, konnte mit diesen Gussexperimenten nicht beantwortet werden.

Ausblick

In den kommenden Monaten sollen sowohl die Tüllen- als auch die Lappenpickelrekonstruktionen im direkten Vergleich bei Abbaubersuchen im Salzbergwerk Hallstatt eingesetzt werden.

Auch die Gussexperimente werden weitergeführt. Geplant ist, Güsse in Formen aus lokal anstehendem Gestein auszuführen und die Gussformen mit einem re-

konstruierten bronzezeitlichen Werkzeugersatz herzustellen.

Literatur

FASNACHT, W. 1995: Die Schaftlochaxt von Parpan im Gussexperiment. In: B. Schmid-Sikimic, Ph. Della Casa, Trans Europam. Festschrift M. Primas. Bonn 1995, 23-28.

GOLDMANN, K. 1981: Guss in verlorener Sandform – das Hauptverfahren alteuropäischer Bronzegegesser. Archäologisches Korrespondenzblatt 11, 1981, 109-116.

GRASBÖCK, S. 2008: Hallstattzeitliche Bronzepickel: Zur Herstellungsqualität der Gezähe anhand metallurgischer und experimentalarchäologischer Untersuchungen – Ein Vergleich des Bruchverhaltens originaler und nachgegossener Kopien. Unpubl. schriftl. Arbeit, Wien 2008.

HÄNSEL, A., HÄNSEL, B. 1997: Gaben an die Götter. Schätze der Bronzezeit Europas. Berlin 1997, 101-233.

HÖGLINGER, P. 1996: Der spätbronzezeitliche Depotfund von Siepbachzell/OÖ. Linzer Archäologische Forschungen, Sonderheft 16. Linz 1996.

HOLDERMANN, C.-St., TROMMER, F. 2005: Zur Himmelscheibe von Nebra – Metalltechnologie der frühen Bronzezeit im Nachvollzug. Experimentelle Archäologie in Europa. Bilanz 2005, 123-135.

HOLDERMANN, C.-St., TROMMER, F. 2010: Verfahrenstechniken und Arbeitsaufwand im frühbronzezeitlichen Metallhandwerk. Technologische Aspekte der Himmelscheibe von Nebra. Ein Erfahrungsbericht. In: H. Meller, F. Bertemes (Hrsg.), Der Griff nach den Sternen. Internationales Symposium in Halle (Saale), 16.-21. 02.2005. Tagungen des Landesmuseums für Vorgeschichte Halle, 5/II, Halle 2010, 791-806.

HOLDERMANN, C.-St., TROMMER, F. i. Vorb.: Zum bronzezeitlichen Metallhandwerk. Aspekte der Verfahrenstechnik unter besonderer Berücksichtigung des Ofenbaus,

des Formenmaterials und der Gussthroughführung (i. Vorb.).

JOCKENHÖVEL, A. 1994: Arbeiten an Ofen und Tiegel – Frühe Metallurgen und Künstler. In: A. Jockenhövel, W. Kubasch (Hrsg.), *Bronzezeit in Deutschland*. Stuttgart 1994, 36-40.

KONRAD, M., LOBISSER, W. 2015: Das Rekonstruktionsmodell einer idealisierten Bronzegusswerkstätte nach archäologischen Befunden der späten Bronzezeit im Freilichtbereich des Museums für Urgeschichte in Asparn an der Zaya in Niederösterreich. *Experimentelle Archäologie in Europa* 14. Bilanz 2015, 119-132.

KOWARIK, K. 2016: Untersuchungen zu den Wirtschaftsstrukturen der bronze- und ältereisenzeitlichen Salzbergbaue von Hallstatt. Dissertation Universität Wien 2016.

NESSERL, B. 2012: Alltägliches Abfallprodukt oder Marker bevorzugter Gusstechnik? Zu bronzenen Gusszapfen zwischen Karpaten und Ostsee. In: I. Heske, B. Horejs (Hrsg.), *Bronzezeitliche Identitäten und Objekte*. Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie 221. Bonn 2012, 145-160.

OTTAWAY, B. S. 1994: *Prähistorische Archäometallurgie*. Espelkamp 1994.

PARET, C. 1952-54: Der große Fund von Bronzegussformen der Spätbronzezeit von Neckargartach. *Fundberichte aus Schwaben N.F.* 13, 1952-54, 35-39.

RESCHREITER, H., KOWARIK, K. 2015: Die prähistorischen Salzbergwerke von Hallstatt. In: T. Stöllner, K. Oeggel (Hrsg.), *Bergauf Bergab. 10.000 Jahre Bergbau in den Ostalpen*. Wissenschaftlicher Begleitband zur Ausstellung im Deutschen Bergbau-Museum Bochum. Bochum 2015, 289-292.

RESCHREITER, H. 2017: 40 Years of Underground Experiments – Getting to know the prehistoric Hallstatt salt mine with the aid of experimental archaeology. *Experimentelle Archäologie in Europa* 16. Jahrbuch 2017, 45-59.

THOMAS, P. 2009: Die Holzfunde aus dem prähistorischen Bergbau des Arthurstollens bei Bischofshofen im Pongau. Unpubl. Magisterarbeit Universität Marburg 2009.

THOMAS, P. 2014: Copper and Gold – Bronze Age Ore Mining in Transylvania. *Festschrift für Horia Ciugudean*. Apulum 51. Alba Iulia 2014, 161-176.

THOMAS, P. 2018: Studien zu den bronzezeitlichen Bergbauhölzern im Mitterberger Gebiet. *Der Anschnitt*, Beiheft 38. Bochum 2018 (im Druck).

STÖLLNER, T., SCHWAB, R. 2009: Hart oder weich? Worauf es ankommt! Pickel aus dem prähistorischen Bergbau der Ostalpen. *MAG* 139, 2009, 149-166.

STÖLLNER, T. ET AL. 2016: The Enmeshment of Eastern Alpine Mining Communities in the Bronze Age. From Economic Networks to Communities of Practice. In: G. Körlin et al. (eds.): *From Bright Ores to Shiny Metals*. *Festschrift for Andreas Hauptmann on the Occasion of 40 Years Research in Archaeometallurgy and Archaeometry*. *Der Anschnitt*, Beiheft 29. Bochum 2016, 75-108.

Abbildungsnachweis

Abb. 1: Foto F. Poppenwimmer 2017

Abb. 2: Foto A. Rausch/NHM-Wien

Abb. 3: Foto Holdermann/Trommer 2017

Abb. 4: Foto und Grafik M. Konrad 2017

Abb. 5: nach THOMAS 2009, Abb. 4.7

Abb. 6: Foto M. Konrad

Abb. 7: Foto Pokorny 2016

Abb. 8-9: Foto Lorenz 2016

Autoren
Hans Reschreiter
Prähistorische Abteilung/Naturhistori-
sches Museum Wien
Burgring 7
1010 Wien
Österreich
hans.reschreiter@nhm-wien.ac.at

Michael Konrad
OREA
Hollandstraße 11-13
1020 Wien
Österreich
michaelkonrad0@gmail.com

Stefan Stadler
Universität Wien
Universitätsring 1
1010 Wien
Österreich
stefan.stadler@univie.ac.at

Marcel Lorenz
Universität Wien,
Universitätsring 1
1010 Wien
Österreich
marcel_lorenz@gmx.at

Claus-Stephan Holdermann
CONTEXT OG ARCHÄOLOGIE –
BAUFORSCHUNG KULTURRAUM-
ANALYSEN
Oberdorf 24
6179 RANGGEN
Österreich
claus-stephan.holdermann@context-
archaeology.info

Frank Trommer
Schmied - Archäotechniker - staatl. gepr.
Denkmalpfleger
Ulmer Str. 43
89143 Blaubeuren
Deutschland
info@trommer-archaeotechnik.de