

Levey, M. (1954) The early history of detergent substances: A chapter in Babylonian chemistry. *Journal of chemical Education* 31, 521–524.

Ploss, E. E. (1989) Ein Buch von alten Farben. Technologie der Textilfarben im Mittelalter mit einem Ausblick auf die festen Farben. München 6. Aufl.

Randsborg, K. (2011) *Bronze Age Textiles. Men, Women and Wealth.* London.

Rawcliffe, C. (2009) A Marginal Occupation? The Medieval Laundress and her Work. *Gender & History* 21/1, 147–169.

Schaefer, G. (1943) Über einige ältere Methoden der Reinigung von Textilien. *Ciba-Rundschau* 60, 2206–2209.

Schmauderer, E. (1967) Seifenähnliche Produkte im alten Orient. *Technikgeschichte* 34, 300–310.

Schmauderer, E. (1968) Seife und seifenähnliche Produkte im klassischen Altertum. *Technikgeschichte* 35, 205–222.

Stika, H.-P. (2013) Landwirtschaft der frühen Kelten im mittleren Neckarland aus der Sicht der Archäobotanik sowie Hinweise auf alkoholische Getränke durch Bodenfunde. In: Müller, H. A. (Hrsg.) *Keltologische Kontroversen I. Beiträge einer Stuttgarter Vortragsreihe.* Gutenberg, 73–104.

Wilson, A. (2003) The archaeology of the Roman fullonica. *Journal of Roman Archaeology* 16, 442–446.

Winiger, J. (1995) Die Bekleidung des Eismannes und die Anfänge der Weberei nördlich der Alpen. In: Spindler, K. et al. (Hrsg.) *Der Mann im Eis. Neue Funde und Ergebnisse. The Man in the Ice 2.* Wien, New York, 119–187.

Zander-Seidel, J. (1990) *Textiler Hausrat. Kleidung und Haustextilien in Nürnberg von 1500–1650.* München.

Zohary, D./Hopf, M./Weiss E. (2012) *Domestication of Plants in the Old World. The origin and spread of cultivated plants in West Asia, Europe and the Mediterranean Basin.* Oxford 4. Aufl.

Claus-Stephan Holdermann,
Frank Trommer:

Verfahrenstechniken des bronzezeitlichen Metallhandwerks

Aspekte aus 20 Jahren Erfahrung
in der experimentellen Archäologie

Die „Arbeitsgruppe Prähistorische Metall Technologie“ (APMT) befasst sich seit mehr als 20 Jahren mit Techniken der Metallverarbeitung der Bronze- und Eisenzeit sowie des Mittelalters und der frühen Neuzeit. Der Fokus der Arbeiten und Untersuchungen liegt bei Verfahrenstechniken zur Herstellung von funktionstüchtigen Bronzeobjekten, insbesondere der mitteleuropäischen Bronze- und Eisenzeit.

Basierend auf archäologischen Funden und Befunden werden Fertigungsmodelle entwickelt, die auf plausiblen Abläufen basieren (zuletzt Holdermann/Trommer 2014). Hierbei kommen im finalen Fertigungsmodell ausschließlich die Möglichkeiten und Materialien der prähistorischen Metallhandwerker zur Anwendung, die aus den archäologischen Befunden abzuleiten sind. Je nach Aufgabenstellung werden daraus lokale Schwerpunkte gesetzt, etwa bei der Auswahl des Rohmaterials für Gussformen oder der Legierung der zur Verfügung stehenden Werkzeuge und der zu fertigenden Objekte.

Fragestellungen entstehen in der Regel in der Diskussion mit Auftraggebern (Museen und Universitäten), immer bezogen auf bestimmte Artefakte und Fertigungsabläufe, zumeist im Rahmen der Vorbereitung der Präsentation eines musealen Konzeptes oder einer Tagung. Das Experiment, d.h. die Wiederholbarkeit unter gleichen Bedingungen, findet zumeist vor Publikum oder im Zuge der Dokumentation statt, oft in Museen und häufig als Basis für museale Visualisierungen. Die von uns gefertigten Objekte werden als Exponate verwendet oder dienen als authentische Werkzeuge oder Werkzeugbestandteile im Gebrauch bei archäologischen Experimenten. Sie weisen Fertigungsmerkmale der Originale auf, sind jedoch nicht als Repliken oder Kopien zu betrachten.

In diesem Zusammenhang ist insbesondere auf die chemische Zusammensetzung der prähistorischen Bronzen zu verweisen, die nie den Reinheitsgrad unserer heutigen Metalllegierungen erreichten. Es bleibt jedoch hervorzuheben, dass es, neben einem wissenschaftlichen Mehrwert durch plausible Fertigungsmodelle, im Wesentlichen eine möglichst gute Annäherung an die prähistorischen Bedingungen und Materialien ist, die sich in den Eigenschaften und damit in den Anwendungsmöglichkeiten der Endprodukte niederschlägt. Diese erreichen damit einen hohen Authentizitätsgrad, der ihren Wert für weiterführende Experimente ausmacht (Abb. 1).



◀ Abb. 1:
Bronzezeit
im Fälllexperiment.

Wissenschaftliche Dokumentation und Publikationen der Untersuchungen sind wesentliche Bestandteile der Tätigkeit der Arbeitsgruppe.

Fertigungsprozesse

Die im Rahmen von Versuchsreihen entwickelten Modellvorstellungen bronzezeitlicher Fertigungsprozesse gliedern sich grob in fünf Module:

1. Gießen der Rohlinge
2. Anfertigen der zur weiteren Bearbeitung notwendigen Werkzeuge (Verschleißobjekte wie z.B. Stichel, Punzen, Meißel)
3. Kaltverformung, z.B. zur Festigung von Schneidenbereichen und zum Dehnen und Strecken eines Rohlings auf gewünschte Maße oder in gewünschte Formen (hier mit Zwischenglühen)
4. Oberflächenbearbeitung mit den Prozessen Glätten, Polieren, Punzieren, Gravieren und Tauschierplattieren
5. Zusammenfügen verschiedener Objektbestandteile mittels Löten, Nieten und dem dafür notwendigen Prozess der mechanischen Durchlochung.

Bei komplexen Objekten erfolgt generell eine schrittweise Annäherung an die

potenziellen Arbeitstechniken der bronzezeitlichen Metallhandwerker. Diese kann in einer ersten Stufe die Verwendung moderner Produktionsmittel (z.B. Lufthammer, Esse) beinhalten. Hierauf folgen Arbeitsschritte mit einfachen Stahlwerkzeugen oder Werkzeugen aus Industriebronze. Schließlich werden an prähistorischen Bodenfunden orientierte und von den Verfassern entsprechend der Anforderungen legierte Bronzewerkzeuge verwendet. Hierbei erfolgt häufig ein „tastendes“ funktionsorientiertes Einsetzen des Werkstoffes Bronze in mehreren Schritten. Das jeweilige abschließende Fertigungsmodell hat den von uns maximal möglichen Authentizitätsgrad erreicht.

Schmelzöfen, Belüftung und Brennmaterial

Nachdem die technologischen Aspekte eines Fertigungsmodells geklärt sind, verwenden wir am Ende unserer Versuchsreihen einfache schüsselförmige Lehmöfen von etwa 50 cm Länge, 40 cm Breite und 30 cm Höhe, mit auf Bodenniveau liegenden Belüftungsöffnungen (Abb. 2), um auch die Prozesse des Schmelzvorgangs nachvollziehen zu kön-

nen. Hierbei diene uns als Vorbild das Grabrelief des Rechmire (Ägypten, um 1450 v. Chr.), das einen Schmelzfeuerbetrieb unter Verwendung von Topfgebläsen zeigt (Sonnenschein 1985, 12).

Archäologische Kontexte mit erhaltenen Resten von Schmelzöfen dieser Bauart sind in Mitteleuropa selten. In diesem Zusammenhang wurde wiederholt darauf hingewiesen, dass nach ihrem Auflösen nur die verschlackten Bereiche den Witterungsbedingungen standhalten (Fasnacht 1991, 3). Die Überlieferungschancen eines bronzezeitlichen Schmelzofens der oben skizzierten Bauart, noch dazu in einem interpretierbaren Erhaltungszustand, sind somit äußerst gering. Aus eigener Erfahrung gehen wir davon aus, dass die nicht gebrannten Bereiche dieser Öfen beim Bau neuer Schmelzanlagen recycelt bzw. gebrannte Zonen als Schamottzusatz für Gussformen und Gusstiegel verwendet wurden.

Versuche mit Knickdüsen, wie sie aus verschiedenen früh- und spätbronzezeitlichen Fundzusammenhängen belegt sind (Abb. 3), wurden bereits an anderer Stelle beschrieben (Giese u.a. 2002, 94). Sie passen nicht zu dem von uns in erster Linie verwendeten Ofensystem, bei dem wir die am Boden liegenden Topfgebläse der ägyptischen Darstellung aus Gründen der Durchführbarkeit, es steht zur Bedienung des Gebläses in der Regel nur eine Person zur Verfügung, durch zwei griechisch-römische Belüftungssysteme ersetzen (Luftfassungsvermögen 22,5 Liter pro Balg). Wird das modernere Blasebalgsystem durch einfache Schlauchgebläse (Tierbälge) ersetzt, an deren Ofeneinmündungen Tondüsen nach prähistorischem Vorbild befestigt sind, muss für die gleiche Gebläseleistung etwa die vierfache Arbeitsleistung (Anzahl an Arbeitskräften) aufgewendet werden.

◀ **Abb. 2:** Rekonstruierter Bronzeschmelzofen in Funktion mit zwei Belüftungssystemen nach griechisch-römischen Vorbildern, Heuneburg, Herbertingen/Schwäbische Alb.



◀ **Abb. 3:** Rekonstruierter Bronzeschmelzofen in Funktion mit Knickdüsensystem, Ferdersee, Museum, Bad Buchau.

Bei einer Gusspeise größeren Volumens ist ein Gussvorgang auch mittels mehrerer kleiner Tiegel mit einem eingespielten Werkstatt-Team durchführbar (Holdermann/Trommer in Vorbereitung). Hierbei ist zu beachten, dass der Gusskanal, der die flüssige Bronze in die Form führt, entsprechend voluminös gestaltet ist. Ägyptische Abbildungen belegen für das 15. Jh. v. Chr. Tiegelgrößen, die im Schmelzfeuerbetrieb von zwei Personen gehandhabt werden mussten (Sonnenschein 1985, 12). Wir benutzen in der Regel Tiegel, die Bronzeschmelzen mit Massen zwischen 3 kg und 3,5 kg aufnehmen können, deren Volumen wir jedoch nie komplett ausnutzen. Auch bei Vorführungen, bei denen wir aus Sicherheitsgründen Metallzangen verwenden müssen, schöpfen wir nur 2/3 der möglichen Tiegelvolumina aus.

Daneben gibt es eine große Anfälligkeit bei der Nutzung selbstgefertigter Gusstiegel gegenüber Temperaturschwankungen während des Gusses. Hieraus ergeben sich Grundvoraussetzungen für einen geeigneten Gussort. Die Tiegelform war im Rahmen der prähistorischen Bronzetechnologie kein bestimmender Faktor. So differenziert J. Waldhauser für Böhmen und Mähren fünf Tiegeltypen, die er für den Zeitraum Hallstatt D – Latène D1 (5 Jh. v. Chr.) eher chronologisch als funktional interpretiert (Waldhauser 1986, 202), eine Deutung, die wir aufgrund unserer Erfahrungen aus der praktischen Anwendung befürworten.

Gussformen, Formenmaterial und Guss

Gussnähte an Bronzefunden der frühen Bronzezeit belegen bereits für diese einleitende Phase der Metallverarbeitung, dass die Technologie des Kokillengusses (wiederverwendbare Dauergussformen aus Metall oder Stein) allgemein bekannt war. Ihre Anfänge sind in Mitteleuropa

Es ist davon auszugehen, dass der gegenüber Holz höhere Brennwert von Holzkohle in der Bronzezeit bekannt war. Diese Kohlen wären prähistorisch entweder durch wiederholtes Auslesen aus erloschenen Feuerstellen oder durch Köhlertätigkeiten zu beschaffen gewesen. Hier soll nur kurz darauf hingewiesen werden, dass in anderen Versuchsreihen das Aufschmelzen von Bronzen mit Feuerholz gelungen ist (Fasnacht 1991, 5). Gezieltes Experimentieren mit Holzkohlen verschiedener Baumarten und unterschiedlicher Stückigkeit führten zu einer Optimierung des oben beschriebenen Schmelzsystems mit auf Bodenniveau liegenden Belüftungsöffnungen unter Verwendung von Buchenholzkohle mit Größen von 4–6 cm.

Schmelzvorgänge mit identischen Massen und Legierungen, die wir an verschiedenen Orten unter unterschiedlichen Bedingungen (Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit) durchführten, haben gezeigt, dass häufig kein aussagekräftiger Durchschnittswert für den Holzkohleverbrauch eines Fertigungsmodelles angegeben werden kann. Als Richtwert soll hier gelten, dass auch bei widrigen Witterungsbedingungen, bei denen das Schmelzen einer 8 % Bronze (8 % Zinnanteil) noch

möglich ist, die Gussfähigkeit von 2,5 kg mit etwa 5 kg Buchenholzkohle erreicht werden kann. Für einen versierten prähistorischen Handwerker wäre es somit unnötig gewesen, für einen einzelnen Schmelzvorgang dieser Masse und Legierung einen Holzkohlemeiler zu errichten.

Schmelztiegel und Guss

Kupferzeitliche Schmelztiegel der Pfyner Kultur, z.B. mit einem Volumen von 125 cm³ (Schreckensee, Kr. Ravensburg, Deutschland) oder 135 cm³ (Bodman, Kr. Konstanz, Deutschland), belegen, dass diese frühen Exemplare bei randvoller Füllung bereits 1,1 kg bzw. 1,2 kg Kupfer hätten fassen können (Schlichtherle/Rottländer 1982, 69). Unsere Versuche zeigten, dass das Volumen von Schmelztiegeln in einem prähistorischen Fertigungsmodell ohne Metallzangen zur Handhabung nicht komplett ausgenutzt werden kann, da ein sicheres Ausgießen eines randvollen Tiegels mit einfachen Werkzeugen (Holzzangen, Holzgriffe) nicht möglich ist. Die von uns durchgeführten Schmelz- und Gießversuche verdeutlichten, dass sie maximal bis etwa zu 3/4 ihrer Höhe gefüllt werden sollten.

bereits für das späte Neolithikum belegt (Drescher 1962, 817). Beim Kokillenguss werden zwei Formhälften mit aufeinander passenden Negativhälften verwendet (Jockenhövel 1994, 38; Velten 1941, 48).

Daneben fand häufig auch das Verfahren des einseitigen Kokillengusses Anwendung, bei dem das Negativ nur in eine Formhälfte gearbeitet ist und die zweite Hälfte plan verbleibt. Der Einguss ist hierbei in die Formhälfte mit dem Negativ eingearbeitet (Seidel 1995, 19). Bei beiden Verfahrensweisen wird die flüssige Bronze in die aufrecht stehende Kokille gegossen. Die Formen werden in unseren Fertigungsmodellen bei Größen bis zu 30 cm in einem Sandbett fixiert, das leicht geneigt ist (Abb. 2, linke Bildhälfte mittig). Artefakt-Formen mit Tüllen, die einen in die Form eingesetzten Kern benötigen (z.B. Speerspitzen, Tüllenäxte), werden senkrecht fixiert. Kokillen, die größer als 40 cm sind – unsere Schwertformen erreichen Längen von bis zu 1,20 m –, verkeilen wir in Gruben, die die Formen aufrecht aufnehmen können. Bei Vorführungen, bei denen wir nicht die Möglichkeit haben, Gruben anzulegen, gießen wir diese stehend und fixieren die Formhälften aus Sicherheitsgründen mit modernen Mitteln (Abb. 4).

Die größten von uns gefertigten Objekte, die in Steinkokillen gegossen werden, sind Schwertrohlinge der späten Bronzezeit mit Maximalmaßen von bis zu 100 cm Länge und der Scheibenrohling der Himmelsscheibe von Nebra/Sachsen Anhalt (Kupfer/Zinn-Legierung, Zinngehalt 2,5 %; Holdermann/Trommer 2010, 791–806; Meller 2004a; Meller 2004b) mit etwa der Masse der Originalscheibe (ca. 2,25 kg) und einem Maximaldurchmesser von 19 cm (Materialstärken: ca. 5 mm am Scheibenrand, ca. 10 mm im Zentrum).

In der Literatur wird immer wieder das Verfahren des verdeckten Herdgusses beschrieben. Hierbei soll das Formnegativ in nur eine Formhälfte eingearbeitet und mit der anderen Formhälfte, die plan verbleibt, nach dem Guss abgedeckt oder abgezogen werden. Dies ist ein Verfahren, das über seine offene liegende Fläche eine Gusspeise aus Bronze während des Gusses unnötig schnell abkühlen lässt und somit das saubere Ausfließen gefährdet. Die Gussfähigkeit der Schmelze wird in diesem Verfahren unnötig verkürzt, darüber hinaus wird die offene Oberfläche des Werkstückes einer unnötigen Oxidation ausgesetzt. Dieses Verfahren ist nur sinnvoll, wenn einfache Formen wie Spangenbarren vorliegen,

deren Oberflächen nicht weiter bearbeitet werden und die schnell und unkompliziert ausfließen. Darüber hinaus ist den Autoren kein archäologischer Befund bekannt, in dem eine Formhälfte mit Negativ und der dazugehörige Deckstein zusammen aufgefunden wurden.

Komplexe Formen ohne Einguss existieren jedoch. Wir gießen in derartigen Formen Blei- und Zinnpositive und verwenden diese anstelle von Wachsmodellen in Keramikformen im Gussverfahren der verlorenen Form. Zinn und Blei sind im gussfähigen Zustand wesentlich viskoser (zäher) als Bronze und fließen sowohl im verdeckten als auch im offenen Herdguss gut aus. Das Zinn oder das Bleiobjekt wird, wie das Wachsmo- del im Wachsauerschmelzverfahren (Büll 1959), ausgeschmolzen. Den so entstandenen Hohlraum nimmt später die Gussbronze auf. Darüber hinaus ist es aber auch möglich, Formhälften ohne Einguss, die dem verdeckten Herdguss zugewiesen werden, stehend zu gießen. Hierzu wird der Einguss in der sonst planen Formhälfte angebracht. Da keine Decksteine bekannt sind, fehlen möglicherweise plane Formhälften, die ausschließlich einen Einguss aufweisen, der bei der geschlossenen Kokille in das Negativ der eigentlichen Form mündet. Unserem Wissensstand nach fehlen diese jedoch bisher im archäologischen Kontext.

Gegenüber dem oft unreflektiert angenommenen Guss in einer offenen Form (offener Herdguss), bei dem die Bronze in eine offene Form gegossen werden soll, liegt ein entscheidender Vorteil der Kokillenmethode darin, dass bei richtiger Anwendung glatte Oberflächen ohne störende Oxydschichten entstehen. In offenen Formen bildet sich an der dem Sauerstoff ausgesetzten Seite des Gusskörpers eine Oxydschicht mit rauer „milchhautartiger“ Oberfläche (Abb. 5).

◀ Abb. 4: Schwertgussvorführung ohne Formen-grube auf dem Scheibenstuhl bei Nenzing, Vorarlberg.



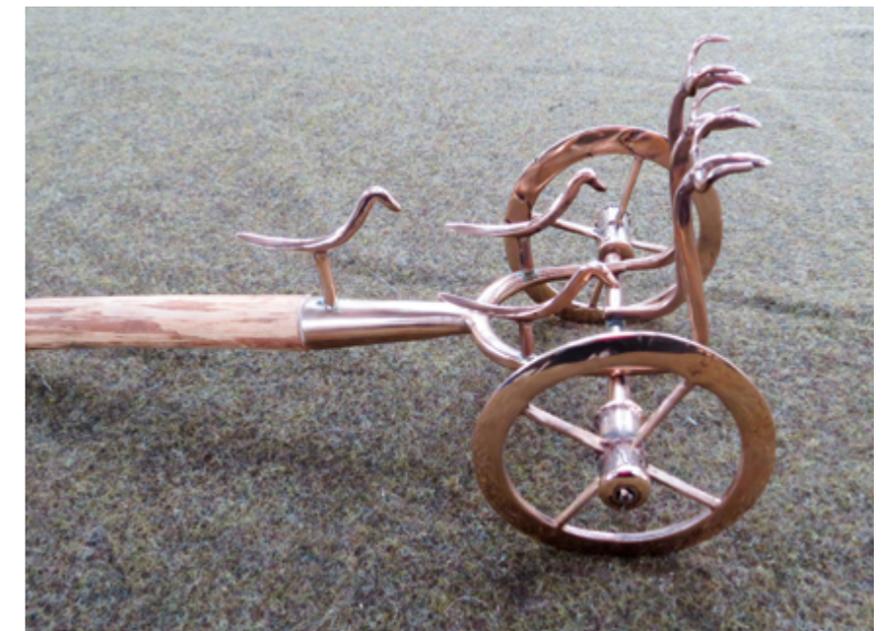
◀ Abb. 5: Oberflächendetail eines im offenen Herdguss gefertigten Gusskuchens.

Bei einer Weiterverarbeitung, etwa dem Ausschmieden eines derartigen Objektes, muss die Oxydschicht entfernt werden, da diese sonst in die Oberfläche des Werkstückes eingearbeitet wird und in der Folge Risse und Fehlstellen auftreten. Dies bedeutet höheren Zeitaufwand und Materialverlust.

Plane, liegende Gussbronzewerkstücke entwickeln darüber hinaus beim Erkalten aufgrund des Volumenverlustes der abkühlenden Gusspeise eine primär nach innen, in die Form gerichtete Wölbungstendenz. Beim Gussverfahren in einer offenen Form, ebenso wie bei der Fertigung in einer abgedeckten Form, zieht sich infolgedessen das Material des Werkstückes an der oben liegenden Fläche deutlich ein. Dieser Volumenverlust verläuft im aufrecht stehenden Kokillenguss innerhalb des Eingussbereichs und nicht im eigentlichen Zielprodukt. Dies ist ein weiterer Vorteil des Kokillenverfahrens, das wir, insbesondere aufgrund der hier umrissenen Prozesse, beim Gießen in Steinformen bevorzugen.

Im Allgemeinen wird angenommen, dass die Beständigkeit und Formbarkeit des Gussformenmaterials ein maßgeblicher Faktor bei der Auswahl des verwendeten

▶ Abb. 5: Der „Kultwagen“ von Burg im Spreewald/Brandenburg, Endprodukt eines Fertigungsmodells mit Güssen im Wachsauerschmelzverfahren und Lötexperimenten.



Sandsteinvarietäten als Gussformenmaterial (Drescher 1962, 817).

Im Bemühen, möglichst nah am prähistorischen Fertigungsprozess zu sein, verwenden wir entsprechend der jeweiligen Fragestellung das archäologisch nachgewiesene Formenmaterial oder suchen verwendbare lokale Lagerstätten. Daher nutzen die Autoren etwa für Gussformen aus dem alpinem Raum tatsächlich auch alpine Specksteine und für Südwestdeutschland insbesondere dort vorkommende Sandsteine (Paret 1952–54, 35–39) mit hoher Beständigkeit, da in der Regel im Rahmen der Versuchsreihen und der Vorführungen das wiederholte Gießen ein und derselben Form beabsichtigt ist.

Die Qualität von Werkstücken aus Keramikgussformen steht der von Objekten, die in Steinkokillen gefertigt wurden, in nichts nach. Bei den Fertigungsmodellen sind im Vergleich zu Steinformen jedoch die geringere Haltbarkeit und der höhere Arbeitsaufwand der Keramikformen zu berücksichtigen. Befunde aus der Aunjetitzer Kultur belegen die Kenntnis des Wachsauerschmelzverfahrens bereits für diese frühbronzezeitliche Kulturperiode (Drescher 1962, 818).



◀ **Abb. 7:** Werkzeuge eines bronzezeitlichen Metallhandwerkers: Rohform eines Bronzemeißels (unten) mit seiner Sandsteinform und funktions-tüchtiger Stichel (oben).

Im Wachsauuschmelzverfahren können entgegen den Werkstücken aus Kokillen komplexe Objekte mit Hinterschneidungen (Abb. 6) oder feinen Oberflächenverzerrungen gegossen werden.

Kleine schnell trocknende Keramikformen werden von uns nach Möglichkeit am Ort des Gussvorgangs gefertigt und nach einem bis zwei Tagen gesteuerten Trocknens in einem separaten Brennofen mit regelbarer Belüftung gebrannt (Abb. 2, Bildhintergrund, rechte Hälfte). Bei Formen des Wachsauuschmelzverfahrens erfolgt der Guss zumeist in der noch heißen Form, direkt nach dem Brennen. Keramikkokillen sind wie Steinkokillen zu verwenden, wozu wir sie zur besseren Handhabung zuerst abkühlen lassen. Auf die Anwendung des in der modernen Gießerei gängigen Formsandes verzichten die Autoren, weil aus prähistorischen Fundzusammenhängen bisher keine Belege für seine Verwendung als Gussformenmaterial vorliegen (Goldmann 1981, 109–116).

Werkzeuge und Weiterverarbeitung

Bronzewerkzeuge, die man ursächlich mit der Weiterverarbeitung von Metall, insbesondere von Bronzegegenständen, verbinden kann, sind im archäologischen Kontext selten überliefert. Sie unterliegen, vor allem wenn es sich um nachzuschärfende Werkzeuge wie Meißel und Stichel handelt (Abb. 7), einem starken

Verschleiß. Somit erscheint ein zügiges Recycling dieser schnell abgearbeiteten Stücke wahrscheinlich, was ihr seltenes Auftreten in archäologischen Kontexten, wie z.B. im Fürstengrab von Leubingen (Bertemes 2004, 145), erklären könnte.

Diese Werkzeuge von Spezialisten sind – abgesehen von Hämmern und Ambossen – schwer als solche zu identifizieren. Genau genommen ist dieses erst nach einer metallurgischen Untersuchung und dem Nachweis einer ausreichenden werkzeugtechnischen Materialeignung möglich. Bei schneidenden, spanabhebenden oder verdrängenden Werkzeugen ist der Nachweis eines erhöhten Zinnanteils und/oder einer Härtung durch Kaltverformung erforderlich. Hierbei werden spezielle Eigenschaften von Kupfer-Zinnbronzen genutzt, mit denen sich durch Veränderungen des

Zinngehalts bestimmte Materialeigenschaften (Härte, Zugfestigkeit, Dehnung) bewusst steuern lassen (Dies 1967; Deutsches Kupferinstitut 2004).

Mit Bezug auf eigene Versuchsreihen schlug H. Drescher für die Fertigung von Punzen Bronzen mit 6–15 % Zinngehalt vor, deren Schneiden durch Hämmern gehärtet wurden (Drescher 1957, 25). Die Bandbreite der Mischungsverhältnisse unserer Punzen-, Stichel- (Abb. 8) und Meißelbronzen liegt zwischen 8–17 % Zinn und 83–92 % Kupfer. Die Verwendung reiner Zinnbronzen mit einem Zinngehalt von über 8–15 % ist nicht unproblematisch. Diese Bronzen neigen zu starken Seigerungserscheinungen (Fehlstellen im Guss) bei der Erstarrung. Unterschreitet man den Varianzbereich beim zugefügten Zinn, so verlieren die Schneiden der Werkzeuge an Standzeit. Überschreitet man ihn, werden die schneidenden Kanten deutlich spröder. Die Gefahr eines ausbrechenden Schneidbereichs, insbesondere bei Sticheln, erhöht sich deutlich.

Innerhalb des frühbronzezeitlichen Metallhandwerks lassen sich nur wenige Fundstücke klar als Werkzeuge der Metallverarbeitung erkennen. Aus der späten Bronzezeit hingegen sind Ambosse, Hämmer, Meißel, Stichel und Punzen überliefert. Für diese Zeitstellung belegen Werkzeugdepots, wie der Befund von G nelard (Saône-et-Loire, Frankreich; Mohen 1988, 37) den hohen Spezialisierungsgrad des Metallhandwerks.



▶ **Abb. 8:** Bronzestichel (12 % Zinnanteil), während der Tauschierplattierung der Himmelscheibe von Nebra (2,5 % Zinnanteil).

Aufgrund dieser archäologischen Quellenlage sind wir oft gezwungen, uns auch für Fertigungsmodelle fr hbronzezeitlicher Prozesse an sp tbronzezeitlichen Befunden zu orientieren oder eigene Wege zu gehen (Holdermann/Trommer 2010).

Wir möchten uns hiermit bei unseren zahlreichen Unterstützern und Auftraggebern, die wir hier nicht im Einzelnen nennen können, bedanken. Hervorzuheben ist hierbei insbesondere die freundschaftliche Zusammenarbeit mit dem Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen Anhalt, dem Landesmuseum für Vorgeschichte in Halle (Saale) und mit dem Naturhistorischen Museum in Wien, deren Archive, Sammlungen und Ausstellungsexponate uns wiederholt für Untersuchungen zugänglich gemacht wurden.

Anschrift der Verfasser

Claus-Stephan Holdermann
Oberdorf 24
A-6179 Ranggen
claus-stephan.holdermann@context-archaeology.
info

Frank Trommer
Ulmer Str. 43
D-89143 Blaubeuren
info@trommer-archaeotechnik.de

Abbildungen

Abb. 1: Foto: A. Rausch, Naturhistorisches Museum Wien, 2013.
Abb. 2: Foto: Michael Thumm 2007.
Abb. 3: Foto: Holdermann/Trommer 2008.
Abb. 4, 7, 8: Foto: Holdermann/Trommer 2007.
Abb. 5: Foto: Holdermann/Trommer 2006.
Abb. 6: Foto: Michael Thumm 2014.

Literatur

Bertemes, F. (2004) Frühe Metallurgen in der Sp tkupfer- und Frühbronzezeit. In: Meller 2004a, 144–149.
B ll, R. (1959) Vom Wachs. Hoehster Beiträge zur Kenntnis der Wachse. Bronze und Feinguss nach dem Wachsauuschmelzverfahren 1,3. Frankfurt a. Main.

Dies, K. (1967) Kupfer und Kupferlegierungen in der Technik. Berlin.
Deutsches Kupferinstitut (Hrsg.) (2004) Kupfer-Zinn-Knetlegierungen. Informationsdruck 15. Düsseldorf.
Drescher, H. (1962) Bronzezeitliche Gie er im östlichen Mitteleuropa. Ergebnis einer Studienreise in die Tschechoslowakei. Gießerei. Zeitschrift für das gesamte Giessereiwesen. 49, 25, 817–822.
Drescher, H. (1957) Zur Verwendung von Bronzewerkzeugen in der älteren Bronzezeit. Hammaburg 5, 23–29.
Fasnacht, W. (1991) Der prähistorische Bronze-guss im Experiment. Minaria Helvetica 11, 3–12.
Giese, E./Schw mmle, K./Trommer, F. (2002) Bronzeguss. Eine Versuchsreihe zur Technik des prähistorischen Bronzegusses unter dem besonderen Aspekt des Formenmaterials. Experimentelle Archäologie in Europa, Bilanz 2002. Oldenburg. 93–106.
Goldmann, K. (1981) Guss in verlorener Sandform – Das Hauptverfahren alteurop ischer Bronze-gie er? Archäologisches Korrespondenzblatt 11, 109–116.
Holdermann, C.-St./Trommer, F. (in Vorbereitung) Organisation und Verfahrenstechniken der mitteleuropäischen Bronzetechnologie. Archäologische Befunde und experimentelle Fertigungsmodelle (Arbeitstitel).
Holdermann, C.-St./Trommer, F. (2014) Zum Fertigungsprozess von „Bergeisen“ im spätmittelalterlichen/frühneuzeitlichen Bergbaubetrieb am Schneeberg, Moos in Passeier/S dttirol. Experimentelle Archäologie in Europa 13 – Bilanz 2014. Unteruhldingen, 153–164.
Holdermann, C.-St./Trommer, F. (2011) Organisation, Verfahrenstechniken und Arbeitsaufwand im sp tbronzezeitlichen Metallhandwerk. In: Dietz, U. L./Jockenhövel, A. (Hrsg.) Bronze im Spannungsfeld zwischen prähistorischer Nutzung und symbolischer Bedeutung. Prähistorische Bronzefunde Abteilung XX, Band 13, 117–129.
Holdermann, C.-St./Trommer, F. (2010) Verfahrenstechniken und Arbeitsaufwand im frühbronzezeitlichen Metallhandwerk. Technologische Aspekte der Himmelscheibe von Nebra. Ein Erfahrungsbericht. In: Meller, H./Bertemes, F. (Hrsg.) Der Griff nach den Sternen. Internationales Symposium in Halle (Saale) 16.–21. Februar 2005. Tagungen des Landesmuseums für Vorgeschichte Halle, 5/II, 791–806.

Holdermann, C.-St./Trommer, F. (2006) Zur Himmelscheibe von Nebra – Metalltechnologie der frühen Bronzezeit im Nachvollzug. Experimentelle Archäologie in Europa, Bilanz 2005, Heft 4, Oldenburg, 123–135.
Jockenhövel, A. (1986) Bemerkungen zur Frage der Metallverarbeitung in der „Wasserburg“ Buchau. Germania 64, 565–572.
Jockenhövel, A. (1994) Arbeiten an Ofen und Tiegel – Frühe Metallurgen und Künstler. In: Jockenhövel, A./Kubach, W. (Hrsg.) Bronzezeit in Deutschland. Stuttgart, 36–40.
Meller, H. (2004a) (Hrsg.) Der geschmiedete Himmel. Die weite Welt im Herzen Europas vor 3600 Jahren. Begleitband zur Sonderausstellung, Landesmuseum für Vorgeschichte Halle (Saale). 15. Oktober 2004–24. April 2005. Stuttgart.
Meller, H. (2004b) Die Himmelscheibe von Nebra. In: Meller 2004a, 22–31.
Mohen, J. P. (1988) La Métallurgie. In: L'Association Abbaye de Daoulas (Hrsg.), Avant les celtes: l'Europe   l'age du bronze, 2500–800 avant J.-C. Abbaye de Daoulas, Musée d partementale breton, 14 mai–31 ao t 1988. Brest, 30–37.
Paret, O. (1952–54) Der große Fund von Bronze-gu formen der Sp tbronzezeit von Neckargartach (Gem. Heilbronn). Fundberichte aus Schwaben N. F. 13 I, 35–39.
Schlichtherle, H./Rottländer, R. (1982) Guss-tiegel der Pfyner Kultur in Südwestdeutschland. Fundberichte aus Baden-Württemberg 7, 59–71.
Seidel, U. (1995) Bronzezeit. Württembergisches Landesmuseum Stuttgart. Stuttgart.
Sonnenschein, F. H. (1985) Technikgeschichte des Schmiedens. Ein kurzer Abriss. Technische Kulturdenkmale 14, 12–17.
Velten, A. (1941) Formerei und Gießerei 1. Leipzig.
Waldhauser, J. (1986) Kupfergewinnung und -verhüttung in Böhmen und M hren während der Sp thallstatt- und Latènezeit (Forschungsstand). In: Gramsch, B. (Hrsg.), Siedlung, Wirtschaft und Gesellschaft während der jüngeren Bronze- und Hallstattzeit in Mitteleuropa. Internationales Symposium Potsdam, 25.–29. April 1983, Bericht. Veröffentlichungen des Museums für Ur- und Frühgeschichte Potsdam 20. Potsdam, 197–212.