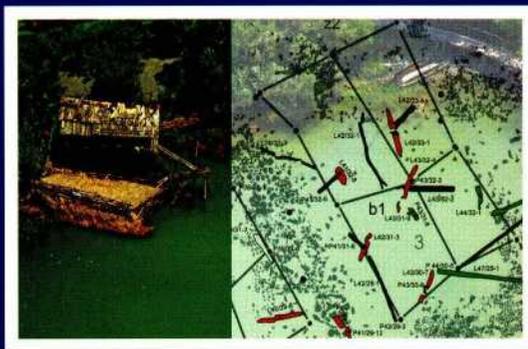
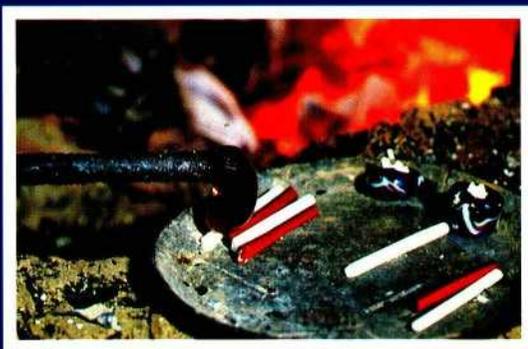


EXPERIMENTELLE ARCHÄOLOGIE

in Europa

Bilanz 2010



EXPERIMENTELLE ARCHÄOLOGIE IN EUROPA
BILANZ 2010
Heft 9

Herausgegeben von 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,
D – 88690 Unteruhldingen-Mühlhofen



EXPERIMENTELLE ARCHÄOLOGIE
IN EUROPA
BILANZ 2010



ISENSEE VERLAG
OLDENBURG

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

Redaktion: Frank Both

Textverarbeitung und Layout: Ute Eckstein

Bildbearbeitung: Torsten Schöning

Umschlaggestaltung: Ute Eckstein

Umschlagbilder: Tine Gam Aschenbrenner, Walter Fasnacht
Gunter Schöbel

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet abrufbar unter:
<http://dnd.dbb.de>

ISBN 978-3-89995-739-6

© 2010 Europäische Vereinigung zur Förderung der Experimentellen Archäologie / European Association for the advancement of archaeology by experiment e. V. – Alle Rechte vorbehalten
Gedruckt bei: Druckhaus Thomas Mützer GmbH, D – 99947 Bad Langensalza/Thüringen

INHALT

<i>Gunter Schöbel</i> Vorwort	7
<i>Ulrike Weller</i> Quo vadis Experimentelle Archäologie?	9
<i>Michael Herdick</i> Das Labor für Experimentelle Archäologie in Mayen (Lkr. Mayen-Koblenz)	15
<i>Ullrich Brand-Schwarz</i> „Living History“ als Beitrag zur musealen Vermittlung – Möglichkeiten, Grenzen und Risiken	23
<i>Andreas Willmy</i> Experimentelle Archäologie und Living History – ein schwieriges Verhältnis? Gedanken aus der Sicht eines Archäologen und Darstellers ¹	27
<i>Tinaig Clodoré-Tissot</i> Archeo-Music The reconstruction of Prehistoric musical instruments: hypothesis and conclusions in experimental music-archaeology	31
<i>Wulf Hein, Kurt Wehrberger</i> Löwenmensch 2.0 Nachbildung der Elfenbeinstatueette aus der Hohlestein-Stadel-Höhle mit authentischen Werkzeugen	47
<i>Leif Steguweit</i> Experimente zum Weichmachen von Elfenbein	55
<i>Friedrich W. Könecke, Jean-Loup Ringot</i> Ovalbohrung neolithischer Steinäxte	65

<i>Peter Walter</i> Bohren im Museum Forschungsgeschichte, Didaktik, Mathetik	71
<i>Gunter Schöbel</i> Das Hornstaadhaus – Ein archäologisches Langzeitexperiment 1996?	85
<i>Holger Junker</i> Autsch! Prähistorische Tätowiertechniken im Experiment	105
<i>Walter Fasnacht</i> 20 Jahre Experimente in der Bronzetechnologie – eine Standortbestimmung	117
<i>Daniel Modl</i> Zur Herstellung und Zerkleinerung von plankonvexen Gusskuchen in der spätbronzezeitlichen Steiermark, Österreich	127
<i>Thomas Lessig-Weller</i> Versuche zur Simulation von Pfeilbeschüssen – erste Ergebnisse	153
<i>Tine Gam Aschenbrenner</i> Glasperlenherstellung in Südsandinavien ... oder: Notruf aus der Feuerstelle ...	163
<i>Ulrich Mehler</i> Das Nibelungenlied in Wissenschaft und Praxis 20 Jahre experimentelle Geschichte, Living History oder Klamauk?	173
<i>Ulrike Weller</i> Vereinsbericht der Europäischen Vereinigung zur Förderung der Experimentellen Archäologie (exar) für das Jahr 2009	179

Zur Herstellung und Zerkleinerung von plankonvexen Gusskuchen in der spätbronzezeitlichen Steiermark, Österreich

Daniel Modl

Einleitung

Dominieren in der Frühbronzezeit noch die Ring- und Spangenbarren den zentraleuropäischen Metallmarkt, setzt sich am Ende der Mittelbronzezeit mit dem plankonvexen Gusskuchen eine Barrenform durch, die aufgrund ihrer einfacheren Herstellung und Handhabung wesentlich geeigneter für die Massenproduktion erschien. Dieses „Erfolgsmodell“ sollte nicht nur im spätbronzezeitlichen Europa, sondern auch im Mittelmeerraum und Nahen Osten eine weite Verbreitung finden. In unterschiedlicher Intensität ist der plankonvexe Gusskuchen als Vertriebsform von Kupfer und Bronze von England bis zum Oman und vom Westen der Iberischen Halbinsel bis in den Zentraliran und das Indusgebiet zwischen dem 3. und 1. Jt. v. Chr. belegt.

Als Zwischenprodukte innerhalb der Metallurgiekette sind Gusskuchen zusammen mit anderen Barrentypen wichtige Bindeglieder zwischen Erzeugern und Endverbrauchern, die zahlreiche technologische Informationen zur Produktion, Verarbeitung und Distribution bereithalten. Damit rückten diese Relikte in den letzten beiden Jahrzehnten verstärkt in den Focus der metallurgischen Forschung, doch wurde bislang nur eine kleine Zahl an ergänzenden archäologischen Experimenten zu ihrer Herstellung durchgeführt (TYLECOTE 1976, 164. MERKEL 1986, 251-264. MER-

KEL 1990, 78-122. CRADDOCK, FREESTONE, DAWE 1997, 1-7. VAN LOKEREN 2000, 275-276. BUNK, KUHNEN 2008, 307-313. LARSON 2009). Einen nur untergeordneten Teilaspekt nahm dabei die Zerkleinerung dieser oftmals massiven Rohmetallstücke ein. Schlagmarken von schweren Hämmern oder tiefe Kerben von Beilen auf Gusskuchen zeigen, dass die Metallzerteilung in der Spätbronzezeit ein üblicher Arbeitsvorgang im Rahmen der Metallurgiekette war. Die einzelnen Trennungstechniken lassen sich besonders anschaulich am reichhaltigen Material der spätbronzezeitlichen Depotfunde des Bundeslandes Steiermark studieren und mit den Methoden der Experimentellen Archäologie rekonstruieren.

Terminologie

Bereits in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts hat sich im deutschen Sprachraum für alle brotlaibartigen bzw. kuchenförmigen Schmelzprodukte die Bezeichnung „Gusskuchen“ durchgesetzt, während in englischsprachigen Publikationen mit „bun ingot“, „discoid ingot“, „hemispherical ingot“ oder „plano-convex ingot“ heute noch mehrere Ausdrücke synonym verwendet werden. In der Regel handelt es sich beim Gusskuchen um einen im offenen Formguss entstandenen Rohmetallbarren mit rundem bis leicht ovalem Umriss, der eine annähernd gerade Oberseite und eine gekrümmte Unterseite besitzt und dementsprechend einen flachgewölbten bis glockenförmigen Querschnitt aufweisen kann (Abb. 1). Von dieser Definition weicht einzig die ungarische Forschung ab, die aufgrund einer anderen Herstellungstheorie die flache Seite als Unterseite und die konvexe als Oberseite anspricht (CZAJLIK 1996, 166).

Der vor allem im Deutschen sprachlich unscharfe Begriff „Gusskuchen“ wurde von der archäologischen Forschung leider völlig undifferenziert für eine ganze Reihe von

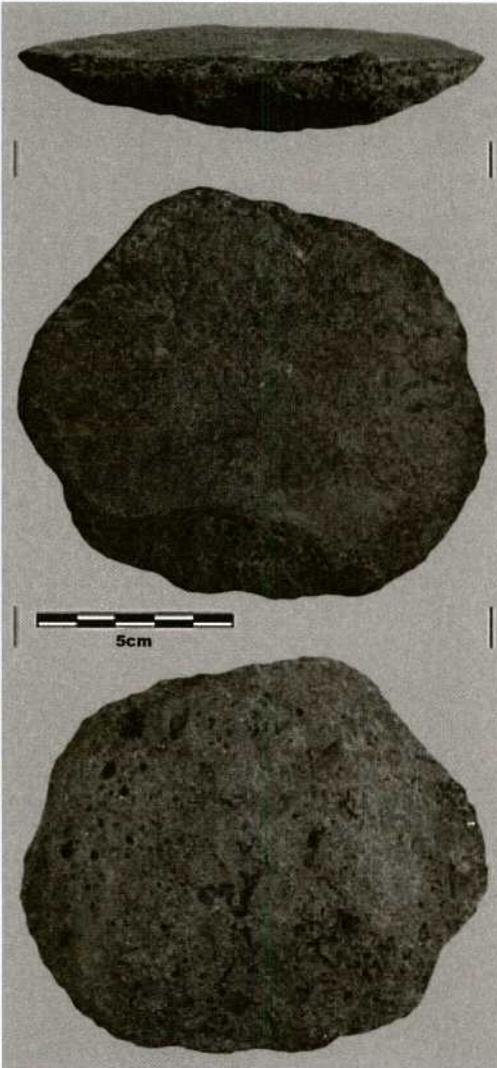


Abb. 1: Schrägansicht, sowie Ober- und Unterseite eines plankonvexen Gusskuchens. Oberösterreich, Hallstatt-Seeufer, Depotfund XIX.

Schmelzresten mit dieser Formgebung aus Kupfer und seinen Legierungen verwendet, die sich mindestens fünf eigenständigen metallurgischen Verfahrensschritten zuordnen lassen:

- kupferhaltige Abfallprodukte oder Rohkupfer (Schwarzkupfer) aus dem Verhüttungsprozess,

- in unterschiedlichem Grade raffiniertes Kupfer aus einem an die Verhüttung anschließenden Reinigungsprozess,
- legiertes Kupfer aus einem der Raffination folgenden Weiterverarbeitungsprozess,
- aufgeschmolzenes Altmetall aus einem Recyclingprozess,
- kleinformatige Gussreste (Reguli) aus einem Fertigungsprozess.

Da es sich beim plankonvexen Gusskuchen um einen Barrentyp handelt, der primär für den Vertrieb bestimmt war, dürfen die erst- und letztgenannten Abfallprodukte konsequenterweise nicht als Gusskuchen bezeichnet werden.

Typologie

Die typologische Untersuchung der Gusskuchen nahm in den 80er-Jahren des 19. Jahrhunderts in Osteuropa mit der Aufarbeitung von spätbronzezeitlichen Depotfunden ihren Anfang (RUSU 1981, 382-384. MOZSOLICS 1984, 35-39. SALAŠ, STRÁNSKÝ, WINKLER 1993, 59-74. CZAJLIK 1996, 165-179), während in Österreich und Deutschland erst eine Dekade später vergleichbare Studien zu den Rohmetallen erschienen (HÖGLINGER 1996, 76-77. PRIMAS, PERNICKA 1998, 35-38. PÜHRINGER 2000, 179-214. BACHMANN, JOCKENHÖVEL, SPICHAL, WOLF 2004, 75-111). In der englischsprachigen Forschung stehen die plankonvexen Gusskuchen nach wie vor im Schatten der „Ochsenhautbarren“, wobei die wichtigste Untersuchungsgrundlage die Schiffswracks von Kap Gelidonya und Uluburun an der Südküste der Türkei waren (HAUPTMANN, MADDIN 2005, 133-140).

Für Mittel- und Osteuropa konnten zwar vielfach Maß- und Gewichtsrelationen bei den plankonvexen Gusskuchen erstellt, sowie einzelne zeitliche und regionale Schwerpunkte herausgearbeitet werden, doch fehlt es nach wie vor an einer gebietsübergreifenden Materialstudie, die

auch unter Einbeziehung breit angelegter Analysereihen und metallographischer Untersuchungen eine allgemein gültige typologische Gliederung des überraschend heterogenen Materials anhand technisch-morphologischer Kriterien vornimmt. Eine derartige Typologie müsste unter Verwendung einer feststehenden Terminologie eine Vielzahl von äußeren Merkmalen berücksichtigen, neben Form und Größe (Durchmesser, Dicke/Höhe, Gewicht), vor allem den Querschnitt, die innere Struktur, die Oberflächenbeschaffenheit der Ober- und Unterseite, sowie das Aussehen des Originalrandes, der Bruchflächen, Trennkanten und etwaiger Werkzeugspuren.

Herstellungsfrage

In der montanarchäologischen Forschung existieren unterschiedliche Erklärungsansätze zu den Umständen, unter denen der Gusskuchen gebildet wurde. Die einzelnen Theorien lassen sich im Wesentlichen auf eine Grundfrage reduzieren: Bildete sich der Gusskuchen im Inneren des Schmelzofens an seiner konkaven Sohle oder entstand er außerhalb, durch das Ablassen des flüssigen Kupfers in eine Auffanggrube im Boden bzw. durch den Guss in eine offene Form?

Eine Antwort liefern einerseits die äußeren Merkmale der Gusskuchen und andererseits die Forschungsergebnisse von über 25 Einzelpersonen oder Projektgruppen, bestehend aus Archäologen und Metallurgen, die in den letzten fünf Jahrzehnten verschiedenartig ausgerichtete Experimente zur bronzezeitlichen Kupferverhüttung durchführten. Im Rahmen von Feldversuchen oder in der sterilen Umgebung eines Labors wurden variierende Mengen an oxidischen und sulfidischen Kupfererzen, Fahlerzen und synthetischen Erzkonzentraten mit diversen Zuschlagsstoffen unter Verwendung natürlicher oder künstlicher Luftzufuhr in unterschiedlich dimen-

sionierten Tiegeln, Schmelzgruben und Schachtöfen unter oxidierenden und/oder reduzierenden Prozessbedingungen verarbeitet (OTTAWAY 1994, 192-203. HERDITS 1997A, 21-31. HERDITS 1997B, 187-193; 221-294. METTEN 2003, 68-69. HERDITS, LÖCKER 2004, 184-186. MODL 2005, 119). Das Endprodukt der Versuche waren Klötze aus Schlacke und Kupferstein (Matte) mit in der Matrix verteilten Kügelchen und Granalien aus Rohkupfer (Prills), aber auch größere amorphe oder fladenartige Rohkupferklumpen, die jedoch in Form und Größe kaum Ähnlichkeit mit den plankonvexen Gusskuchen besaßen. Die experimentellen Ergebnisse lassen auch für die Spätbronzezeit ein ähnlich heterogenes Primärprodukt der Kupferverhüttung erwarten, doch fehlen die entsprechenden Belege im archäologischen Material. Die plankonvexen Gusskuchen dürften erst durch das Zusammenschmelzen der von der Restschlacke mechanisch getrennten Kügelchen, Granalien und amorphen Klumpen aus Rohkupfer entstanden sein (MERKEL 1990, 113-117. METTEN 2003, 67-74. HERDITS, LÖCKER 2004, 186), wobei vor allem ihre Oberflächenbeschaffenheit und innere Struktur genauere Hinweise zum Herstellungsablauf liefern.

Oberflächenbeschaffenheit

Abhängig von der Form der Mulde und der Steilheit der Wandung ergaben sich der Umriss und die Krümmung des Gusskuchens. Während die oftmals glatte oder porige Unterseite den ehemaligen steinigen, sandigen oder tonigen Formuntergrund abbildet (Abb. 1), zeigt die flache Oberseite unterschiedliche Erscheinungsformen. Häufig zeigt sich eine blasige Oberfläche, die das Resultat eines Entgasungsvorganges beim Erstarren des Metalls ist, der „Spratzen“ genannt wird. Kupfer hat die Eigenheit, im flüssigen Zustand Gase, wie Sauerstoff und Kohlen- bzw. Schwefeldi-

oxid aufzunehmen. So können z. B. eine hohe Luftfeuchtigkeit, Vergasungsprodukte aus dem Formmaterial oder die Oxidation von Sulfideinschlüssen im flüssigen Kupfer selbst gasreiche Schmelzen verursachen. Diese gelösten Gase werden bei der Erstarrung des Metalls sprunghaft wieder freigesetzt und führen zur Bildung von Gasblasen (HAUPTMANN, MADDIN, PRANGE 2002, 4-5. HAUPTMANN, MADDIN 2005, 133-136).

Je nach der Zähflüssigkeit des Metalls und der Größe der Gasblasen mit dem daraus resultierenden Auftrieb steigen sie entweder auf und entweichen brodelnd über die Schmelze (Abb. 2, 6 u. 25) oder bleiben einzeln bzw. zu größeren Hohlräumen vereinigt auf unterschiedlichen Niveaus des Gusskuchenninneren stecken (Abb. 3). In Ausnahmefällen dürfte eine gasreiche Schmelze sogar zu ungewöhnlich starken Auftreibungen und damit Erhebungen in der Mitte von Gusskuchen geführt haben (Abb. 4). Im Gegensatz dazu, sorgt der Volumenverlust bei der Abkühlung des Metalls in einer offenen Form und die damit verbundene schnelle Schrumpfung der an der Grubenwand anliegenden Randbereiche auch häufig zu zentralen Einsenkungen an der Oberseite massiverer Gusskuchen (Abb. 5).

Der Austritt der Gasblasen an der Oberfläche der Gusskuchen äußert sich unterschiedlich und reicht von nur leicht aufgeworfenen runden Blaskörpern über zerplatzte und in sich zusammengefallene Blasen bis hin zu tiefen Blasenkratern. Konträr dazu weisen aber auch einige Gusskuchen auf ihrer Oberseite keinerlei Blasenbildungen auf und zeigen stattdessen eine glatte bzw. nur leicht raue Oberfläche (Abb. 1 u. 10). Vergleichsweise selten sind auch jene Exemplare, die einheitlich orientierte Runzeln und Wülste besitzen und damit die mögliche Einflussrichtung des Metalls erkennen lassen (HÖGLINGER 1996, 141, Taf. 29, 518) oder am Rand auffällige Poren- und Lunckerkonzentrationen (Abb. 1) bzw. zapfenartige Ausbuchtungen

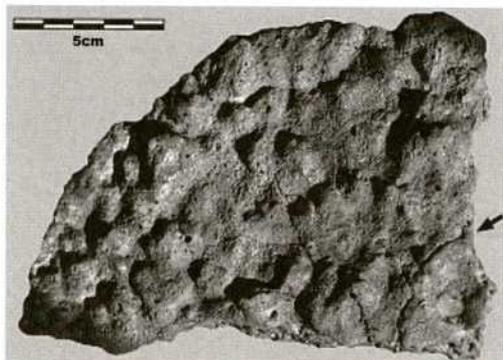


Abb. 2: Oberseite eines geviertelten Gusskuchens mit blasiger Oberfläche und Rissen (Pfeil). Steiermark, Kainischtal-Rabenwand, Depotfund 3.



Abb. 3: Seitenansicht eines geviertelten Gusskuchens mit Gasblasen und Hohlräumen. Steiermark, Kainischtal-Rabenwand, Depotfund 6.



Abb. 4: Seitenansicht eines stark aufgetriebenen Gusskuchens. Oberösterreich, Hallstatt-Seeufer, Werflinger Wand, Depotfund?

(Abb. 6) zeigen, die als ehemalige Eingussstellen interpretiert werden können. Hinzu kommen auch noch sich konzentrisch ausbreitende Wülste, die jedoch stark von der Blasenbildung auf der Oberfläche

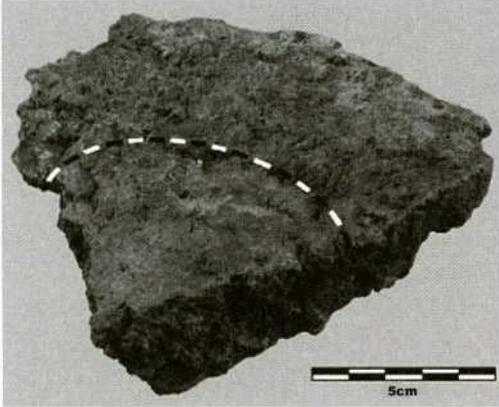


Abb. 5: Oberseite eines geviertelten Gusskuchens mit zentraler Einsenkung. Steiermark, Kainischtal-Brandgraben, Depotfund.

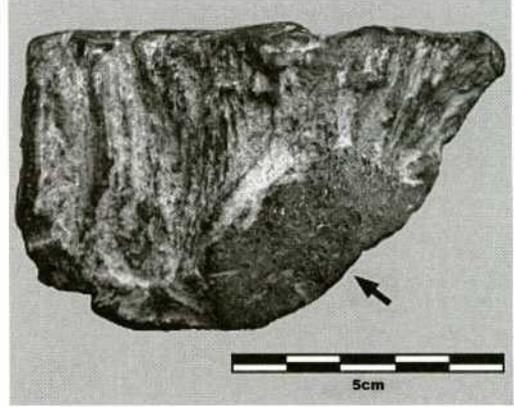


Abb. 7: Seitenansicht eines Gusskuchenfragments mit im Bruch sichtbaren Stengelkristallen und Hammerspuren (Pfeil). Steiermark, Lannach, Depotfund.



Abb. 6: Oberseite eines plankonvexen Gusskuchens mit zapfenartiger Ausbuchtung (Pfeil). Niederösterreich, Mahersdorf, Depotfund.

der Gusskuchen gestört werden (HÖGLINGER 1996, 141 Taf. 29,516). Diese Indizien sprechen also nicht nur für das Ablassen und seitliche Einfließen des Metalls in eine offene Form, sondern machen auch den Guss von oben mittels eines Tiegels als Herstellungstechnik der Gusskuchen wahrscheinlich.

Innere Struktur

Die Porenbildung während der Erstarrung kann primär auf gelöste Gase in der Schmelze zurückgeführt werden, doch darf auch die Makrolunkerung nicht unterschätzt werden. Schwindungslöcher, so genannte „Gusslunker“ entstehen bei der Erstarrung, wenn sich das Volumen der Schmelze zwischen der Eingusstemperatur und der Erstarrungstemperatur verringert und die dabei gebildeten Lücken nicht mehr mit flüssigem Metall aufgefüllt werden können. Im Bruch lässt sich neben dem dadurch entstandenen schwammartigen Gefüge auch das Kristallwachstum bei der Erstarrung der Gusskuchen gut beobachten. Dieses tritt jedoch noch deutlicher bei einem geätztem Anschliff zu Tage, wobei sich hier rundliche Körner ohne Vorzugsrichtung, genannt „Globulite“ und Stengel- bzw. Säulenkristalle (Abb. 7) unterscheiden lassen. Letztere sind besonders charakteristisch für plankonvexe Gusskuchen und entstehen bei ungleichmäßiger Abkühlung z. B. durch Guss überhitzter Metallschmelzen in kalte Formen und wachsen aufgrund des zur Formwand gerichteten Wärmeabflusses senkrecht in Richtung Schmelze

(TYLECOTE 1976, 170, Fig. 3; 6. SCOTT 1991, 97, Fig. 121. HAUPTMANN, MADDIN, PRANGE 2002, 6. LARSON 2009, 53-55; 118-119 FIG. 8).

Das Bruchprofil massiver Gusskuchen zeigt aber auch deutlich, dass viele Exemplare aus zwei oder mehr Schichten aufgebaut sind und ihr Guss demnach in mehreren Schüben erfolgte (GRUBER, PRESSLINGER 1983, 1255). Je nachdem ob das flüssige Metall unmittelbar hintereinander oder zeitlich versetzt in die Mulde oder Form abgelassen wurde, kommt es zur vollständigen Verschmelzung der einzelnen Gussmassen oder zur Entstehung sichtbarer Kaltgussrisse zwischen den Grenzflächen der verschiedenen Schmelzchargen (Abb. 8).



Abb. 8: Unterseite eines zweischichtig aufgebauten Gusskuchenfragments. Steiermark, Bad Mitterndorf, Einzelfund.

Fazit

Zusammenfassend sind Gusskuchen demnach vermutlich nicht nur das Resultat eines Umschmelzprozesses kleinerer Kupfermengen, sondern auch eines eigenständigen Gussvorganges und damit im Grunde ein sekundäres Produkt der Verhüttung. Ihre Morphologie und Materialzusammensetzung aus unraffiniertem, reinem und legiertem Kupfer, sowie recyceltem Altmetall

legt zudem nahe, die Gusskuchen keinem einheitlichen Verarbeitungsprozess zuzuordnen, sie sind vielmehr Produkte einer ganzen Reihe von metallurgischen Operationen, die mit der Verhüttung erst ihren Anfang nahmen. Die Unsicherheit der Forschung, was den Bildungsprozess der Gusskuchen betrifft, beruht im Wesentlichen auf dem Umstand, dass sich in den Ostalpen weder an den nur ausschnittsartig ergrabenen Kupferhütten noch in den ebenfalls nur zum Teil untersuchten talnahen Siedlungen der Bergbaugebiete oder des Alpenvorlandes bislang die pyrometallurgische Gewinnung des Rohkupfers aus dem Kupferstein oder einzelne Raffinationsschritte, direkt und vor allem ununterbrochen anhand der archäologischen Funde und Befunde belegen lassen (HERDITS 1997A, 29. METTEN 2003, 61-81. HERDITS, LÖCKER 2004, 183).

Archäologische Quellenlage

In Mittel- und Südosteuropa sind plankonvexe Gusskuchen hauptsächlich aus mittelbronzezeitlichen bis frühhallstattzeitlichen Hort- bzw. Depotfunden überliefert, während andere Fundkontexte, wie Gräber, Kultplätze oder Siedlungen stark zurücktreten und meist nur einzelne Fragmente für die Ausgräber bereithalten (RUSU 1981, 375-402. MOZSOLICS 1984, 19-72. SALAŠ, STRÁNSKÝ, WINKLER 1993, 59-74. TERŽAN 1995. CZAJLIK 1996, 165-179. HÖGLINGER 1996. WINDHOLZ-KONRAD 2003. BACHMANN, JOCKENHÖVEL, SPICHAL, WOLF 2004, 67-120). Dabei stehen nur wenige Gusskuchenhorte, die ausschließlich vollständige Exemplare enthalten, einer Vielzahl von Brucherzdepots gegenüber, in denen Gusskuchen nur als Teilstücke in Halb-, Viertel- bzw. Achtelformen, aber vor allem unregelmäßigen Bruchstücken mit unterschiedlichen Anteilen am Gesamtgewicht und an der Stückzahl der einzelnen Depots vorliegen. Auffällig für den Alpenraum sind dabei die

beiden regelhaften Tendenzen, dass sich reine Gusskuchenhorte oft nur im unmittelbaren Einzugsgebiet der Bergbaureviere finden und der Fragmentierungsgrad der Gusskuchen mit zunehmender Distanz zu den Abbauregionen ansteigt.

Die bislang für den Zentral- und Ostalpenraum vorliegenden Provenienzstudien zeigen (SPERBER 2004, 303-345. TRAMPUŽ OREL, DRGLIN 2005, 44-50), dass das Gros der Gusskuchen je nach Region und Zeit-horizont aus frischen Kupferkies- oder Fahlerzkupfer hergestellt wurde, welches unterschiedliche Reinheits- bzw. Raffinationsgrade aufweist. Während das fahlerzgeprägte Kupfer von hohen Nebenelementanteilen (u. a. Antimon, Arsen, Silber) dominiert wird, erscheint das aus sulfidischen Kupferkies bzw. Chalkopyrit hergestellte Kupfer relativ rein mit nur geringen Anteilen an Spurenelementen, wobei es sich hierbei im Wesentlichen um Eisen handelt. Der Anteil der Gusskuchen, deren Metall zuvor mit Zinn bzw. anderen Zusätzen legiert, mit wiedereingeschmolzenem Altmetall vermischt oder aus recycelten Bronzeobjekten hergestellt wurden, lässt sich bislang nicht quantifizieren, doch dürfte er nahe an den einzelnen Bergbauregionen noch relativ gering gewesen sein.

Forschungsstand in der Steiermark

Während sich die Kupferreviere im Nordtiroler Unterinntal und im Kitzbühler Raum, sowie rund um den Mitterberg im Salzburger Pongau anhand der Metallanalysen-Programme als die Hauptlieferanten für die Gebiete nördlich und nordöstlich der Alpen identifizieren ließen (SPERBER 2004, 312-319), herrscht aufgrund des Fehlens umfassenden Datenmaterials für die Steiermark nach wie vor völlige Unklarheit über die Vertriebsrichtung des hier produzierten Kupfers. Rund 100 seit den 50er-Jahren des 20. Jahrhunderts entdeckte montanarchäologische Bodendenkmale im Palten-,

Liesing- und Johnsbachtal, sowie in der Radmer und der Eisenerzer Ramsau (Abb. 9), darunter vorrangig Verhüttungsplätze, die überwiegend in die Spätbronzezeit (Urnenfelderzeit), vereinzelt aber auch in die späte Mittelbronzezeit und frühe Eisenzeit datieren, belegen hier eine Kupfergewinnung „industriellen“ Ausmaßes (KLEMM 2003. PRESSLINGER, EIBNER 2004, 63-74). Eine vergleichbare zeitliche Streuung weisen auch die 55 bislang aus der Steiermark bekannten prähistorischen Depotfunde auf, die sich forschungsbedingt auf das Murtal und vor allem zwei zusammenhängende Talabschnitte im steirischen Salzkammergut in der nordwestlichsten Steiermark konzentrieren (Abb. 9). Hier gelang es dem Bundesdenkmalamt und der „Archäologischen Arbeitsgemeinschaft Salzkammergut“ (AAS) in den letzten 16 Jahren auf einer Länge von ca. 21 km am linken Flussufer der Traun eine vor allem in der Spätbronze- und Römerzeit genutzte Altwegtrasse durch das schluchtartige Kainisch- und Koppental zum alten Salzbergbauzentrum Hallstatt im angrenzenden Oberösterreich systematisch zu prospektieren. Die 35 allein aus diesem Gebiet bekannten spätbronzezeitlichen Horte dürften dabei mit dem Beginn des Salzbergbaues in Hallstatt im 13./12. Jh. v. Chr. und dem daraus resultierenden Handel mit Salz, aber auch Pökelfleischprodukten in Zusammenhang zu bringen zu sein (WINDHOLZ-KONRAD 2003. WINDHOLZ-KONRAD 2006, 255-301. WINDHOLZ-KONRAD 2008, 379-397. WINDHOLZ-KONRAD 2010).

Zusammensetzung der Depotfunde

Während im benachbarten Bundesland Salzburg die reinen Barrendepots dominieren, überwiegen in der Steiermark vor allem die gemischten Brucherzhorte, gefolgt von den in wesentlich geringerer Zahl vertretenen Fertigwarendepots, die nur Beile, Sichel oder Armreifen enthal-

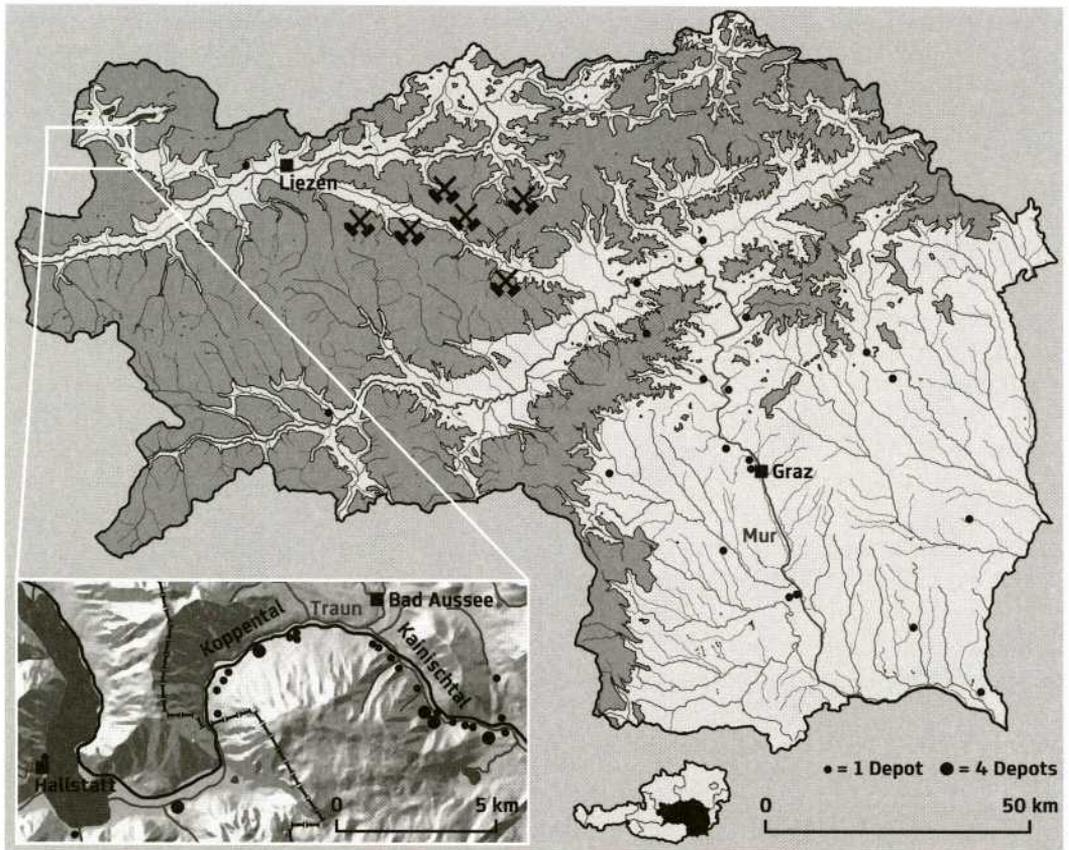


Abb. 9: Übersichtskarte der Steiermark und Detailkarte des steirischen und oberösterreichischen Salzkammerguts mit den spätbronzezeitlichen Depotfunden und den prähistorischen Montanrevieren (Stand 2009).

ten (WEIHS 2004, WINDHOLZ-KONRAD 2003, 77-93, WINDHOLZ-KONRAD 2006, 255-301, WINDHOLZ-KONRAD 2008, 379-397, WINDHOLZ-KONRAD 2010). Gusskuchenorte sind in der Steiermark streng genommen noch nicht entdeckt worden, da diese per Definition nur vollständige Gusskuchen enthalten und uns in den fraglichen Depots nur ihre Teilstücke begegnen. Der gewichtsmäßige Rohmaterialanteil bei den steirischen Brucherzdepots, die Gusskuchenbruchstücke enthalten und bislang publiziert sind, variiert stark und liegt im Durchschnitt bei ca. 50 %. Auch der Fragmentierungsgrad der Gusskuchen ist ziemlich hoch, so stehen nur wenige intakte Exemplare einer

großen Menge an vor allem unregelmäßig gebrochenen Teilstücken gegenüber, die sich jedoch in den meisten Fällen wieder den Rand-, Mittel- oder Kernbereichen der Gusskuchen zuordnen lassen. Bislang können kleine (Dm. <14 cm, St./H. <3 cm, Gew. <2 kg), mittelgroße (Dm. 14-22 cm, St./H. <3 cm, Gew. 2-4 kg) und große Gusskuchen (Dm. >22 cm, St./H. >3 cm, Gew. >4 kg) unterschieden werden, wobei alle Größenklassen gleichmäßig im Depotfundmaterial vertreten zu sein scheinen. Bemerkenswert ist das häufige Auftreten von Gusskuchenvierteln, während Hälften und Achtelstücke in den steirischen Depots bislang nicht belegt sind. Ein weiteres



Abb. 10: Oberseite eines plankonvexen Gusskuchens mit abgeschlagenen Randbereichen. Steiermark, Kainischtal-Rabenwand, Depotfund 1.

auffälliges Bruchmuster lässt sich an vielen Gusskuchenrändern beobachten, die stark unregelmäßig erscheinen. Zur schnellen Gewinnung kleiner Kupfermengen oder als Art Materialprüfung dürften hier die dünnen Randbereiche gezielt abgeschlagen worden sein (Abb. 10).

Zerteilungstechniken

Spezifische Bruchprofile und Werkzeugspuren verweisen auf vielen Bronze- und Kupferobjekten in den Brucherzhorten auf zielgerichtete Zerteilungen und mutwillige Deformierungen. Während derartige Gewaltspuren bei Bronzen zu Recht mit kultischen Zerstörungshandlungen im Rahmen der Depotniederlegung in Zusammenhang gebracht wurden (NEBELSICK 1997, 35-41), werden die bei den Rohmaterialien beobachteten Zerlegungsmuster eher im Kontext mit den Erfordernissen des Handels oder des Metallhandwerks nach kleineren Metallmengen gesehen (MOZSOLICS 1984, 24-27. PÜHRINGER 2000, 203-214).

Im Gegensatz zu den Bronzegegeräten, die in vielen Fällen auch durch Gebrauch oder Unfall entstandene Belastungs- oder Ermüdungsbrüche zeigen, ist grundsätzlich bei allen Arten von Metallbarren davon auszugehen, dass die Brüche intentionell entstanden sind.

In seinem im Jahr 1556 in Basel erschienenen Werk „De re metallica libri XII“ liefert Georgius Agricola (1494-1555) eine anschauliche Darstellung des Zerkleinerungsvorgangs von Rohkupfer, der in einigen Punkten auch die prähistorische Praxis widerspiegelt. Er schildert zunächst das maschinelle Brechen im kalten Zustand mittels eines beweglichen Stempels, dem so genannten „Fall- oder Rammhären“, um kurz darauf die händische Zerteilung von im Feuer erhitzten Kupferbarren mittels eines spitzen Eisenhammers zu erläutern. Er beschreibt diesen Vorgang folgendermaßen: „Hierauf werden die heißen Stücke der Reihe nach [...] herausgegriffen. Sodann wird der erste auf einen Kienstock gesetzt und von zwei Arbeitern so lange mit Hämmern bearbeitet, bis er auseinander bricht. Je heißer der Kuchen ist, um so rascher zerbricht er, je weniger heiß, um so später. Denn wie ein kupfernes Gerät lässt er sich dann hin und her biegen. Ist das erste Stück zerbrochen, legt man das zweite auf seine Bruchstücke und schlägt solange darauf los, bis es ebenfalls in Brocken zerspringt [...]“ (AGRICOLA 1928, 432) Unter welchen Temperaturbedingungen die Zerteilung der Gusskuchen in der Spätbronzezeit erfolgte, lässt sich bei guter Erhaltung der Stücke makroskopisch anhand des Aussehens der Bruchflächen beurteilen. Auffällig ist, dass Gusskuchen mit geringer Stärke oft hakig-splittrige Kaltbrüche zeigen, während die Kanten der massiveren Exemplare teigig, verflossen und abgerundet wirken (Abb. 3 u. 32), was auf eine hohe Umgebungstemperatur und eine Verarbeitung im glühenden Zustand schließen lässt. Die Zerstückelung schloss

sich dabei wahrscheinlich nicht unmittelbar an einen schmelzmetallurgischen Prozess an, vielmehr erfolgte sie bei Bedarf durch nochmaliges Aufglühen des Gusskuchens im Feuer. Während Bronze bei Temperaturen zwischen 250°C und 600°C an Dehnbarkeit verliert und an Sprödigkeit zunimmt, besitzt reines Kupfer keinen derartig ausgeprägten warmspröden Bereich. Da es im rotglühenden Zustand sogar noch an Duktilität hinzu gewinnt, kann es nur mit entsprechend viel Kraftaufwand und Werkzeugeinsatz gebrochen werden.

Werkzeugspuren

Wie uns Bruchmuster, Risse, Verformungen und Werkzeugspuren verraten, erfolgte der Teilungsvorgang in mehreren Arbeitsschritten. Wollte man einen Gusskuchen gezielt halbieren oder vierteln, sorgte in vielen Fällen eine Markierung auf der flachen Oberseite dafür, dass man beim Schlagen der tiefen Trennkerben nicht aus der Bahn kam. Dabei konnte es sich genauso gut um eine kreuzweise, unmittelbar nach dem Guss gezogene Rille handeln, wie auch nur um einige rudimentäre Kerbungen im kalten oder wiedererhitzten Metall. Je nach Porosität und Stärke des Gusskuchens wurde er danach entweder im kalten oder warmen Zustand über einem Auflager durch gezielte Hammerschläge zertrümmert oder glühend nach ein- oder beidseitiger Ankerbung unter Einsatz eines massiven Hammers gebrochen bzw. überhaupt vollständig mittels unterschiedlicher Trennwerkzeuge mit keilförmigen Schneiden durchgehakt oder aufgespalten (Abb. 11).

Hierbei handelte es sich vermutlich um gedrungene Beile oder eigene Abschröter mit Schneidenbreiten von über 3 cm und einem Keilwinkel von 30-45°. Die Kerben dieser Werkzeuge sind im Durchschnitt 0,5-1 cm tief und zeigen zuweilen an ihren Rändern

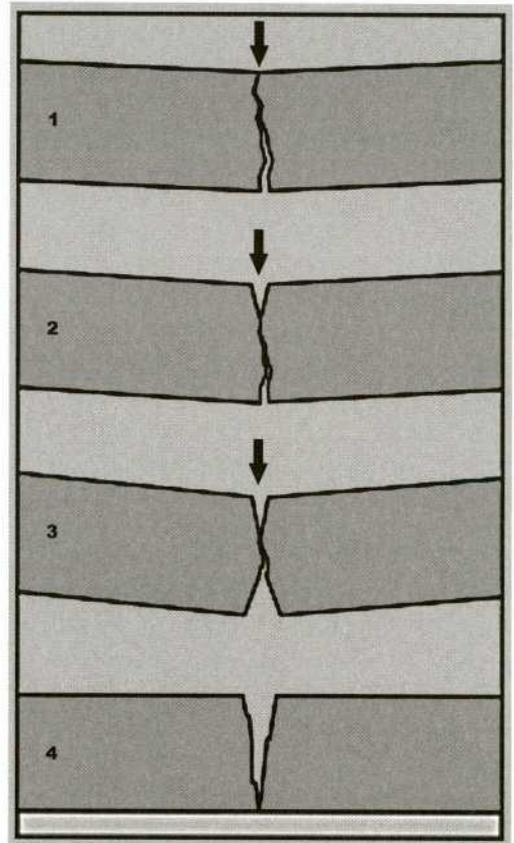


Abb. 11: Zerteilungstechniken im Überblick. (1) Zertrümmerung, (2) einseitige und (3) beidseitige Ankerbung und Zertrümmerung, (4) vollständige Aufspaltung.

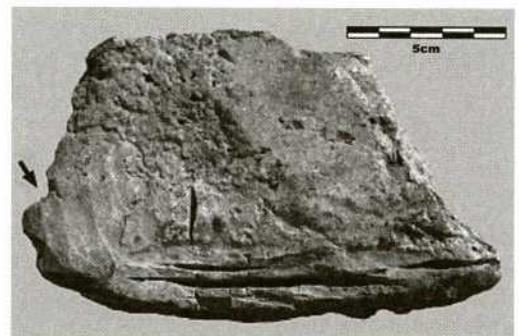


Abb. 12: Unterseite eines Gusskuchens mit Kerbspuren und den länglichen Abdrücken eines Finnenhammers (Pfeil). Steiermark, Kainischthal-Rabenwand, Depotfund 1.

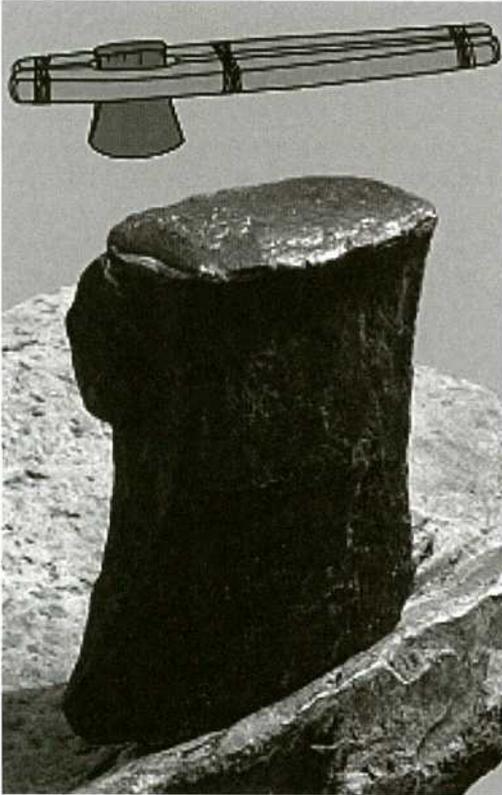


Abb. 13: Klingenfragment eines Beils mit Schlagnacken aus dem Rabenwand-Depot 3 und sein Fixierungsvorschlag zwischen zwei Holzstöcken.

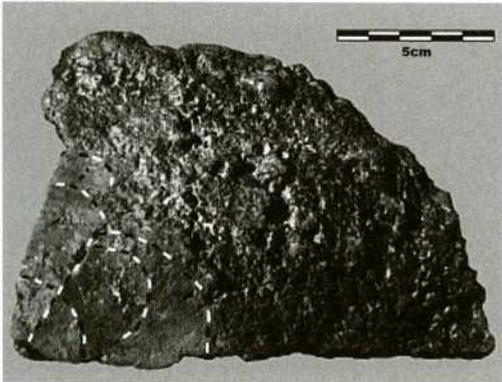


Abb. 14: Unterseite eines geviertelten Gusskuchens mit den rundlichen Spuren eines Planierhammers. Steiermark, Kainischtal-Rabenwand, Depotfund 3.

kleine „teigige“ Grate, was wieder auf eine Zerteilung im glühend-weichen Zustand hinweist (Abb. 12 u. 31). Als Abschrotter können eigens zu diesem Zweck hergestellte keilartige Werkzeuge mit kräftiger Klinge und Schäftungsdorn (v. MISKE 1908, 23, Taf. XXIX,7), aber auch kurze Klingensfragmente von Lappenbeilen bezeichnet werden (Abb. 13), die an der ehemaligen Bruchstelle einen Schlagnacken mit Bartbildung aufweisen (WINDHOLZ-KONRAD 2006, 280, Abb. 23,1). Im unmittelbaren Umfeld der Kerben lassen sich oft einzelne oder dicht gesetzte längliche Abdrücke von Finnenhämmern (Abb. 12), aber vor allem runde und zum Teil auch ovale Hammerspuren beobachten, die zu bronzenen Planier- oder Treibhämmern mit leicht konvexer Bahn und einem Durchmesser der Aufschlagfläche von über 3 cm gehören (Abb. 14). Völlig unbekannt im Depotfundmaterial der Steiermark sind die anderorts an Gusskuchen erwähnten „Sägespuren“ (HÖGLINGER 1996, 77; 141, Taf. 31, 534).

Als Widerlager für das Zerteilen der Gusskuchen mit Beil oder Hammer dürften die aus der Spätbronzezeit bekannten kleinformatigen Steckambosse nicht gedient haben (WYSS 1967, 9-10, Abb. 1; 3. MAYER 1977, 224, Taf. 90, 1337, 1339. HÖGLINGER 1996, 15; 111, Taf. 1, 2), vielmehr dürften je nach den Arbeitserfordernissen möglichst kompakte Unterlagssteine, niedrige Holzböcke und möglicherweise auch die Bruchstücke der Gusskuchen selbst genutzt worden sein. Diese Exemplare zeigen, wie z. B. ein massives Gusskuchenbruchstück aus dem steirischen Depotfund von Lannach ausgeprägte Hammerspuren an Stellen, die eigentlich nicht im Rahmen der Zerteilung beansprucht wurden (Abb. 7). So ging schon JOCKENHÖVEL (1983, 588) davon aus, dass die Mehrzahl der verwendeten Ambosse aus derartig „primitiven“ Formen bestanden haben, die einfach in eine Unterlage aus Holz verkeilt wurden.

Arbeitsziele

Eine in den Wintern 2006/07 und 2008/09 in Graz durchgeführte experimentalar-chäologische Versuchsreihe sollte helfen, die auf Gusskuchen meist durch Korrosion nur mehr undeutlich zu erkennenden Brüche, Verformungen und Werkzeugspuren besser zu interpretieren und die technischen Abläufe bei der Zerteilung, sowie das hierfür verwendete Equipment plausibel zu machen. Zu diesem Zweck wurden Quader und eigens hergestellte Gusskuchen aus Elektrolytkupfer unter Verwendung rekonstruierter Bronzewerkzeuge im kalten, vornehmlich aber im glühenden Zustand mit unterschiedlichen Methoden zerkleinert und die so erzeugten Bruchprofile und Schlag- bzw. Kerbspuren wiederum mit den Originalen auf Übereinstimmung verglichen. Die folgenden Beobachtungen sind das Ergebnis einer Art „Vorexperimentierphase“, die den Beginn eines umfassenden Projekts zu den steirischen Gusskuchen markieren und zeigen, welche Richtung zukünftige Studien und Experimente einschlagen müssen.

Tiegel- und Ofenguss

Bei der Betrachtung der äußerlich eher unscheinbaren Gusskuchen vergisst man leicht, dass besonders große Exemplare, wie z. B. ein vollständiger Gusskuchen aus Feldkirch im Bundesland Vorarlberg (HILD 1948, 88-90, Abb. 1,1) mit einem Gewicht von 14,45 kg und einem ehemaligen Volumen der flüssigen Schmelze von ca. 1,6 Liter zu den größten gegossenen Metallobjekten seiner Zeit in Mitteleuropa gehört! Bedenkt man weiters, dass hier in den meisten Fällen Kupfer bei Temperaturen weit über dem Schmelzpunkt von 1083°C in offene Formnegative vergossen wurde, stellt ihre Erzeugung vielleicht keine großen Ansprüche an die Gusstechnik, aber

hohe Anforderungen an die Organisation des Gussvorgangs und die Beschaffenheit der metallurgischen Keramik bzw. die Leistungsfähigkeit der verwendeten Schmelzöfen. In der Forschung stehen, wie bereits erwähnt zwei Herstellungsverfahren zur Diskussion, die im Experiment erprobt werden sollten. Einerseits der Guss aus einem oder mehreren Schmelzriegeln in eine Formmulde und andererseits das Ablassen des flüssigen Metalls aus dem Schmelzofen in eine direkt davorliegende Grube. Da unser Wissen über das Aussehen von Schmelzöfen in den spätbronzezeitlichen Siedlungen Mitteleuropas rudimentär geblieben ist, wurde für die Herstellung von kleinen Gusskuchen mit 0,5-0,6 kg Gewicht ein Nachbau der bekannten U-förmigen Schmelzwanne von Säckingen in Baden-Württemberg benutzt (JOCKENHÖVEL 1986, 219 Abb. 13,1). Die dabei für das Aufschmelzen von Stanzabfällen aus Elektrolytkupfer verwendeten, dickwandigen Tiegel hatten einen Durchmesser von 12-14 cm, was auch der durchschnittlichen Größe der meisten aus der Spätbronzezeit bekannten Gusstiegel entspricht. Sie wurden aus einem lokalen Naturton mit einer Magerung aus Graphitgrus gefertigt und vorgebrannt. Zur Befuerung des Tiegels wurde Holzkohle verwendet, wobei die Luftzufuhr mittels elektronischen Gebläses über eine Knickdüse von oben erfolgte (Abb. 15). Das Schmelzen der einzelnen Chargen verlief aufgrund von Fertigungsfehlern bei den Tiegeln nicht immer problemlos, gelang aber meist nach 15-25 Minuten. Danach wurde der an den oberen Rändern extrem stark verschmolzene Tiegel aus der Glut geborgen und der Tiegelinhalt in eine seichte Erdmulde am offenen Ende des Schmelzofens gegossen, wo das Kupfer unter Bildung einer schwarzen Oxidschicht zu einem plankonvexen Gusskuchen erstarrte. Insgesamt drei Gusskuchen mit Durchmessern zwischen 8,4-10,2 cm wurden auf diese Weise erzeugt (Abb. 16).

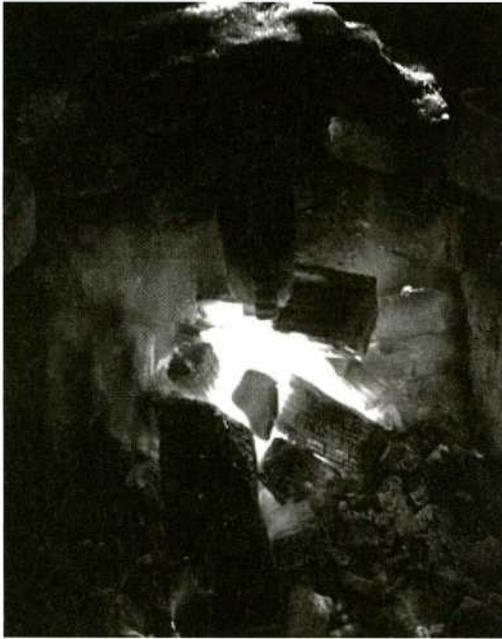


Abb. 15: Blick in das Innere der Schmelzwanne mit der Knickdüse.

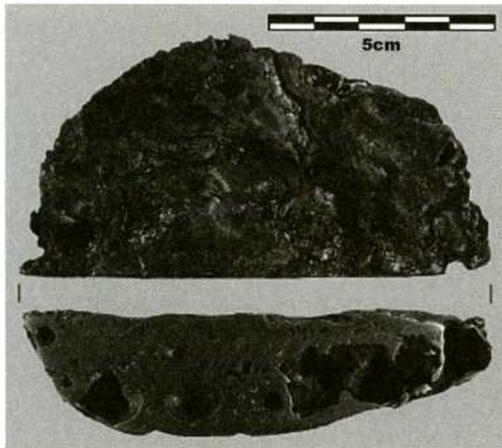


Abb. 16: Oberseite und Querschnitt eines kleinen, halbierten Gusskuchens aus Elektrolytkupfer.

Zur Fertigung massiverer Gusskuchen wurde zunächst ein im Inneren 30 x 32 x 70 cm messender Schachtofen umgebaut, der Teil einer nach ostalpinen Vorbildern

errichteten Doppelofenanlage mit dahinterliegendem Röstbett war (MODL 2005, 115-126) und mehrfach bei Verhüttungsexperimenten von sulfidischen Kupfererzen zum Einsatz kam. Ohne das jemals der archäologische Nachweis erbracht worden wäre, dass in derartigen Öfen auch metallisches Kupfer geschmolzen wurde, war der Abstich aus dem Schachtofen zur Erzeugung größerer Gusskuchen doch eine mögliche Alternative gegenüber einem Gussverfahren mit mehreren kleinen Tiegeln bei ungleich höherem personellen und infrastrukturellen Aufwand.

Hierzu wurde zunächst die Ofensohle mit einem leichten Gefälle zur Abstichöffnung in der niedrigen Ofenbrust hin versehen und eine direkt davor liegende kleine Mulde zwischen den beiden Düsen bzw. Gebläseleitungen ausgehoben. In einem gut isolierten Schachtofen war es nach entsprechender Vorheizzeit nicht besonders schwierig, mit Holzkohle und dem regelbaren elektrischen Gebläse, die für eine gut fließende Metallschmelze notwendige Temperatur von fast 1200°C zu erreichen und länger zu halten. Es gestaltete sich dagegen nicht leicht, das richtige Timing für das Ablassen des Kupfers zu finden, wie auch die Abstichöffnung sauber aufzubrechen und über den gesamten Guss hindurch offen zu halten, sodass drei von sechs Versuchen dazu führten, dass das Kupfer überhaupt nicht abfließen konnte und nach Abstellen des Gebläses an der Ofensohle als unförmiger, stark mit Holzkohle vermengter Kuchen mit einigen Kilogramm Gewicht erkalte.

Eine deutliche Grünfärbung der Flamme an der Ofengicht zeigte wenige Minuten nach der Beschickung an, wann die auch hier eingesetzten Stanzabfälle aus Elektrolytkupfer geschmolzen waren. Der Guss musste dann zügig erfolgen, wobei es nur einmal gelang das Kupfer in einem nicht abreißenden Strom aus dem Schachtofen abzulassen, während bei den anderen bei-



Abb. 17: Ablassen des flüssigen Kupfers aus dem Schachtofen in eine vorgelagerte Mulde.

den Malen das Metall in mehreren Schüben aus dem Ofen in die Mulde floss. Zum Teil musste dabei mit einem Holzstab das Abstichloch geweitet werden, wodurch Holzkohle oder Ofenwandteile in die Schmelze gelangten, die entweder vom flüssigen Metall eingeschlossen wurden oder auf ihm schwammen. In der Mulde erstarrte das Kupfer innerhalb weniger Sekunden unter zischenden Geräuschen und durch Bildung von kleinen brodelnden Blasen (Abb. 17). Um eine unnötig starke Oxidation der Metalloberfläche zu verhindern, wurde die Schmelze zügig mit Holzkohle abgedeckt oder das glühende Metall mit Schnee bzw. Wasser abgeschreckt. Auf diese Weise wurden drei plankonvexe Gusskuchen mit einem Durchmesser zwischen 13,5 und 16,4 cm und einem Gewicht von 1,4 bis 3,3 kg erzeugt (Abb. 18), sowie mehrere unterschiedlich schwere Kupferklumpen und verbackene Stanzabfälle, die nach dem jeweiligen Guss im Ofen zurückblieben.

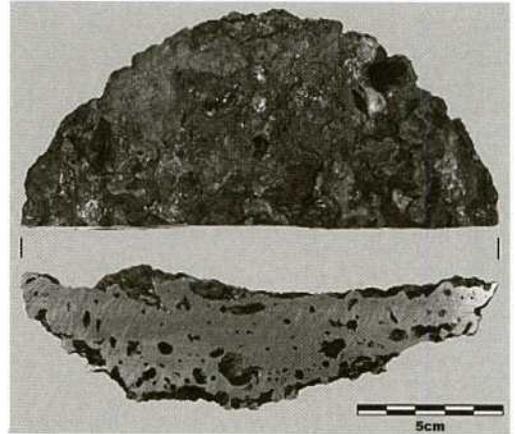


Abb. 18: Oberseite und Querschnitt eines großen, halbierten Gusskuchens aus Elektrolytkupfer.

Materialeigenschaften

Reines Kupfer ist aufgrund seiner Verformbarkeit und Zähigkeit kaum mit roher Gewalt zu zerkleinern. Bestimmte Materialeigenschaften der Gusskuchen, wie Porosität oder Sprödigkeit durch Fremdmetalle, Oxide, Sulfide und Schlackeneinschlüsse, ja sogar bestimmte bei der Erstarrung gebildete Kristallformen erleichterten ihre Zerkleinerung jedoch schon wesentlich. An plankonvexen Gusskuchen, wie auch an „Ochsenhautbarren“ konnten fast durchgehend hohe Porositäten nachgewiesen werden, die in der Regel zwischen 20 und 40 Volumenprozent schwanken (HAUPTMANN, MADDIN, PRANGE 2002, 4. HAUPTMANN, MADDIN 2005, 134). Ein hoher Gasblasenanteil wurde von der Forschung oft als negatives Qualitätsmerkmal interpretiert (CZAJLIK 1996, 169), doch ist es durchaus möglich, dass eine gewisse Porosität bei den Gusskuchen sogar erwünscht war, da die Blasen Hohlräume als „Sollbruchstellen“ innerhalb des Metalls dienten und so die spätere Zerstückelung erleichterten. Wie jüngere Experimente mit Sand-, Stein- und Tongussformen zeigten (VAN LOKEREN 2000, 275. BUNK, KUHNEN 2008, 310-312.



Abb. 19: Einkerbung eines soliden Quaders aus Elektrolytkupfer mittels Abschröter.

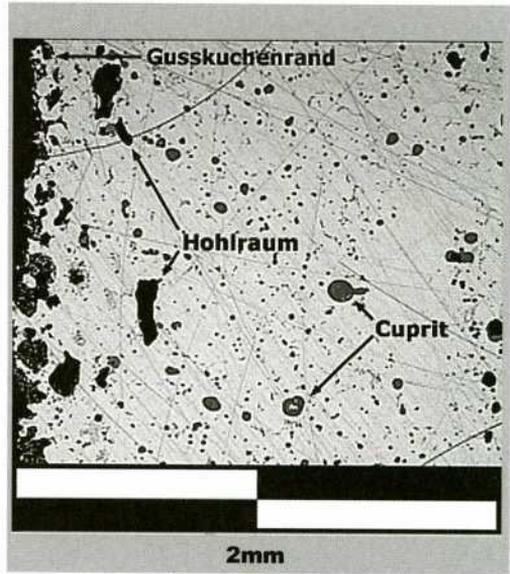


Abb. 20: Rundliche Einschlüsse von Cuprit in der Kupfer-Matrix am Rand eines Gusskuchens der Grabung „Pichl 2009“. Auflicht-Hellfeld, ein Polarisator.

LARSON 2009, 48-133), war der Gasblasenanteil von den Eigenschaften des verwendeten Formmaterials abhängig, darunter seiner Durchlässigkeit gegenüber entweichenden Gasen oder seiner Eigenschaft Wärme zu speichern bzw. rasch abzuleiten. Die im Rahmen der hier vorgestellten Experimente erzeugten Gusskuchen wiesen ebenfalls eine vermehrte Bildung von Gasblasen auf, die wohl auf die heftige Reaktion des flüssigen Metalls mit dem gasundurchlässigen und zum Teil noch recht feuchten Lehmboden der Formmulde bestand (Abb. 17 u. 18). Sie unterschieden sich damit deutlich von den ganz zu Beginn der Versuche benutzten soliden Quadern aus Elektrolytkupfer (Abb. 19).

Neben der Porosität war auch die chemische Zusammensetzung des Kupfers von Bedeutung, da bereits geringe Anteile fremder Spurenelemente, wie Antimon, Arsen, Blei, Eisen und Schwefel zur Versprödung des Kupfers führten und seine Neigung entweder zur Kalt- oder Warmbrüchigkeit

förderten. Einen vergleichbaren Effekt auf die Verformbarkeit und Festigkeit des Kupfers hatte auch das in der Kupfermatrix der Gusskuchen eingeschlossene Kupferoxid Cuprit (Abb. 20). Deutlich zeigt sich die Sprödigkeit des in der Spätbronzezeit verarbeiteten Kupfers an den Bruchflächen von Gusskuchen mit geringer Stärke, die verformungslose Sprödbrüche gegenüber den Trenn- und Verformungsbrüchen (Abb. 21) deutlich in der Überzahl erscheinen lassen. Schlackenreste wiederum, gehören zu jenen Verunreinigungen, die auch makroskopisch gut sichtbar sind, aber verglichen mit den „Ochsenhautbarren“ (HAUPTMANN, MADDIN, PRANGE 2002, 6-7; 17. HAUPTMANN, MADDIN 2005, 137-138) nur vergleichsweise selten bei plankonvexen Gusskuchen aus Mitteleuropa beobachtet und beschrieben wurden. Sie dürften aus vorangegangenen metallurgischen Prozessen eingeschleppt worden sein und erscheinen entweder als dünne glasartige Krusten auf der Ober- und Unterseite von



Abb. 21: Schrägansicht eines Gusskuchenfragments mit Rissen und Deformationen an der Bruchfläche. Steiermark, Obertraun-Traunweg, Einzelfund.

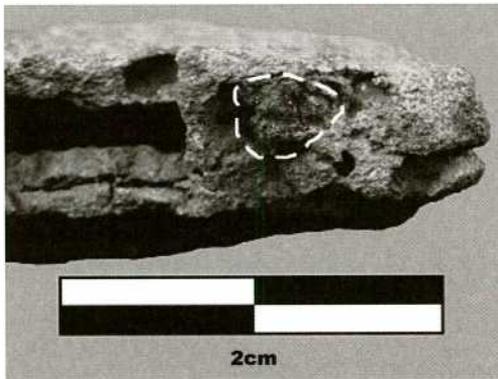


Abb. 22: Seitenansicht eines Gusskuchenfragments mit eingeschlossenem Schlackenrest. Steiermark, Obertraun-Traunweg, Einzelfund.

Gusskuchen oder als mehrere Millimeter große Splitter in ihrem Inneren (Abb. 22). Bei einer entsprechenden plastischen Deformation wären vor allem die spröden Schlackeneinschlüsse Ausgangspunkt von Rissen und Brüchen geworden. Ebenfalls ungünstig auf die Festigkeit der Guss-

kuchen wirkte sich auch die Bildung von langgestreckten Stengel- bzw. Säulenkristallen bei der Erstarrung des Kupfers aus (Abb. 7), die bei plastischer Verformung im Gegensatz zu den feinkörnigen Globuliten eine verringerte Duktilität aufwiesen.

Aus den nun genannten Gründen ist das bei den Experimenten für die Herstellung der Gusskuchen verwendete, hochreine und DIN-genormte Elektrolytkupfer in seinem Bruchverhalten auch nicht mit dem zum Teil sehr inhomogenen und unreinen Kupfer der Spätbronzezeit vergleichbar, weshalb für zukünftige Versuche nach materiellen Alternativen gesucht werden muss. Auch wenn das Elektrolytkupfer ungleich mehr Aufwand bei der Zerteilung erfordert, erlaubt es dennoch, die Verwendungsweise der Werkzeuge und die Zerteilungstechnik gut nachzuvollziehen.

Werkzeuge und Hilfsmittel

Für das Aufglühen, Manipulieren, Fixieren und Zerteilen der experimentell erzeugten Gusskuchen wurden die unterschiedlichsten Werkzeuge und Hilfsmittel verwendet, darunter ein Paar Lederhandschuhe, ein Schlauchgebläse aus Rindsleder, ein Düsenendstück aus Keramik, unterschiedlich dimensionierte Holzböcke und Ambossteine aus Amphibolit und Gneis, eine Holzzange, ein Klemmbrett, Beil- und Hammertypen verschiedener Größe und Gestalt, ein lanzettförmiger Meißel und eine Rahmensäge (Abb. 23 u. 24). Als Vorbilder der aus Zinnbronze hergestellten und mit unterschiedlichen Griffen und Schäften aus Buchen- und Eichenholz versehenen Beile, Hämmer und Meißel dienten spätbronzezeitliche Fundobjekte aus Österreich, Slowenien und der Schweiz.

Die interessanteste Fragestellung bei den Beilen ist natürlich die nach der Form ihrer Schäftung und der damit verbundenen Arbeitsweise. Die Kerbmuster auf den Gusskuchen lassen in dieser Hinsicht



Abb. 23: Werkzeugsatz aus einer Rahmensäge, drei Beilen, einem Meißel und einem mittelschweren bzw. schweren Schaftlochhammer.



Abb. 24: Ein Paar Lederhandschuhe, ein Schlauchgebläse und eine Holzzange als Hilfsmittel für das Aufglühen und Manipulieren der Gusskuchen und ihrer Teilstücke (im Hintergrund, links).

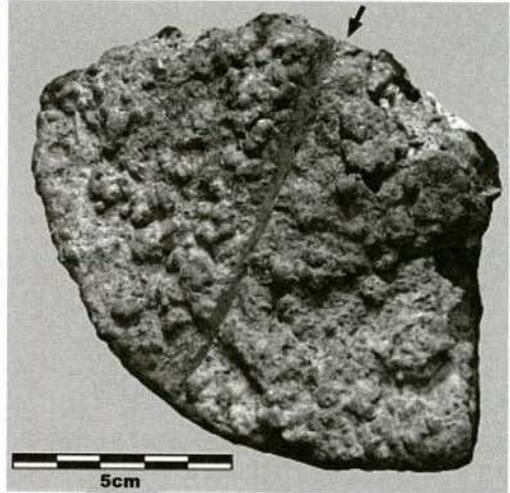


Abb. 25: Oberseite eines geviertelten Gusskuchens mit einzelner, tiefer Trennkerbe. Steiermark, Kainisch-Schottergrube, Depotfund.



Abb. 26: Die Schwung-Druckperkussion mit Beil und Hammer.

zwei Techniken vermuten. Einerseits die Schwingperkussion, wobei es sich um eine Reihe von kraftvollen aber ungenauen Hieben handelte, die neben einer tiefen Kerbe auch viele seichte Seitenkerben auf den Gusskuchen zur Folge hatten (Abb.

12), und andererseits die kombinierte Schwing-Druckperkussion, bei der das Beil, wie ein Meißel geführt wurde und durch gezielte Hammerschläge auf den Schaftkopf eine saubere Trennkerbe erzeugte (Abb. 25). Beide Methoden hätten

mit einer Knieholzschäftung durchgeführt werden können (Abb. 26), doch erwies sich diese Schäftungsart bei letzterer Technik im praktischen Gebrauch für eine Einzelperson als recht unhandlich, weshalb zwei von drei eingesetzten Beilen mit einer geraden Schäftung versehen wurden (Abb. 19 und 23).

Diese in der weiteren Folge als „Abschröter“ bezeichneten Werkzeuge besaßen Schneidenbreiten von 3-4 cm und konnten nur in Kombination mit einem Hammer benutzt werden. Die zahlreichen kleinen Tülnhämmer der Spätbronzezeit schieden wohl aufgrund ihrer geringen Masse von meist weit weniger als einen halben Kilogramm für diese Arbeiten aus (WYSS 1967, 9, Abb. 2. MAYER 1977, 223-224, Taf. 89, 1330-90, 1336. JOCKENHÖVEL 1986, 224, Abb. 4, 2-3; 5, E, 1-2). Auch ein gut 3,5 kg schwerer Schaftlochhammer (MAYER 1977, 223, Taf. 89/1328. TERŽAN 1995, 197, Taf. 88, A, 2), der beim Zertrümmern der Gusskuchen gute Dienste leistet, erwies sich in Verbindung mit dem Abschröter für eine Person als zu wuchtig, weshalb ein in der Form identisches Exemplar mit einem Gewicht des Hammerkopfes von nur 0,9 kg hergestellt wurde. Für diese Arbeit erwies sich auch ein gleichschwerer Rillenschlägel als brauchbar, der primär bei der Erzzerkleinerung zum Einsatz kam und aus einem rundlichen Steingeröll mit umlaufender Rillung bestand, das mit einer Faserschnur an einer Astknorre befestigt worden war.

Ein eigener Problemkreis eröffnet sich bei der Frage nach dem Einsatzumfang von Sägen bei der Zerkleinerung von Gusskuchen. Zwar sind Sägeblätter mit einer für das Sägen von Kupfer brauchbaren Zahnung aus dem archäologischen Material bekannt (WYSS 1967, 11, Abb. 5) und es werden in der Literatur auch Gusskuchen mit entsprechenden „Sägespuren“ beschrieben (HÖGLINGER 1996, 77; 141, Taf. 31,534), doch dürften Sägen generell nicht

bei der Zerteilung von Gusskuchen zum Einsatz gekommen sein (MOZSOLICS 1984, 39. PÜHRINGER 2000, 200-201). Das Sägen von Kupfer ist eine sehr anstrengende und zeitaufwändige Arbeit, da das Material aufgrund seiner geringen Festigkeit eine starke Neigung zum Schmieren und Verkleben besitzt. Dies zeigten schon die ersten Schnitte mit einer rekonstruierten Bogensäge, die später durch eine besser zu spannende Rahmensäge ersetzt wurde. Diese besaß ein 29 cm langes Sägeblatt aus Bronze mit 12 Zähnen pro Zoll (25 mm), dass an beiden Enden Ösen zum Einspannen in den Holzrahmen aufwies.

Da die Gusskuchen nicht nur an ihrer konvexen Unterseite, sondern auch auf ihrer flachen Oberseite Trennkerben und Hammerspuren aufweisen (Abb. 25), müssen in der Spätbronzezeit auch entsprechende Fixierhilfen existiert haben. Organische Zangen scheiden hierfür jedoch aus, da sie es bei größerer Erschütterung nur bedingt erlauben, den halbrunden Metallkörper sicher zu halten. Sie dürften stattdessen bei der Manipulation der glühenden Gusskuchen eine große Rolle gespielt haben, wobei ihre Lebensdauer in den Experimenten durch gründliche Wässerung deutlich verlängert werden konnte. Bei den Teilungsversuchen wurden als Auflager mehrere stabile Holzböcke verwendet, wobei die erhitzten Gusskuchen in den bevorzugt verwendeten Eschenstamm mit der Zeit eine kleine Vertiefung hineinbrannten. Diese wurde schließlich noch mit einem kleinen Bronzebeil erweitert, so dass eine konkave Ausnehmung entstand, in der ein Gusskuchen vollständig Platz fand und nur mehr geringfügig verrutschen konnte (Abb. 27 u. 28). Als besonders hilfreich erwies sich auch ein dünnes „Klembrett“ aus Fichte, das als Puffer diente, wenn es darum ging, einen glühenden Gusskuchen mit dem Fuß zu fixieren um z. B. seine Ränder abzuschlagen (Abb. 29).



Abb. 27: Glühender Gusskuchen auf dem Holzbock.

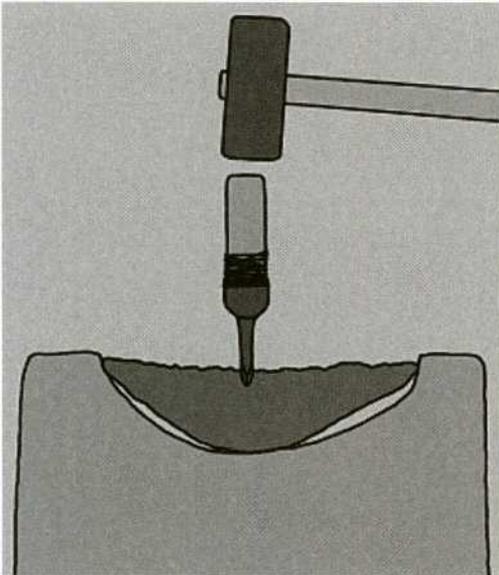


Abb. 28: Die Fixierung und Kerbung eines plankonvexen Gusskuchens in der konkaven Ausnehmung eines Holzbocks.

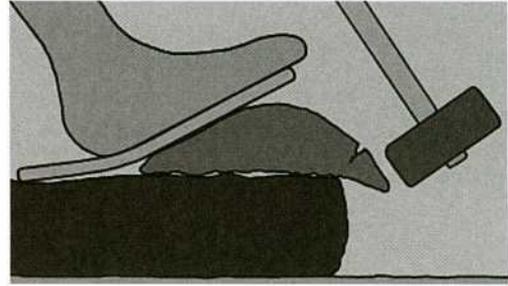


Abb. 29: Die Fixierung eines plankonvexen Gusskuchens mittels „Klemmbrett“ und Fuß.

Zerteilungstechniken

An dieser Stelle folgt keine detaillierte Aufstellung der einzelnen Versuche, vielmehr sollen die gewonnenen Erfahrungen unter Einbeziehung des archäologischen Materials zu einigen allgemeinen Aussagen zusammengefasst werden. Diese dürften auch die spätbronzezeitliche Praxis widerspiegeln und machen eine Kombination von mechanischen und thermischen Belastungen als Ursachen für die Brüche an Gusskuchen wahrscheinlich. Im Einzelnen hing die damalige Vorgangsweise von der Stärke des Gusskuchens und seiner zu erwartenden Materialzusammensetzung und Porosität ab, sodass die Techniken und Werkzeuge wohl jeweils individuell gewählt wurden.

Hohe Verarbeitungstemperaturen haben die Zerkleinerung von Rohkupfer schon immer wesentlich erleichtert, da sie einerseits im Metall Versprödungen hervorriefen und es andererseits Trennwerkzeugen mit keilförmigen Schneiden ermöglichte, Anrisse im Material zu verursachen. Das Holzkohlebett einer einfachen Feuerstelle in Verbindung mit ein oder zwei Handblasebälgen war dabei völlig ausreichend gewesen, um einen mittelgroßen Gusskuchen innerhalb von 10 Minuten auf die ideale Verarbeitungstemperatur von 800–900°C zu bringen. Während die Temperaturmessung bei

den Versuchen mittels Infrarot-Thermometer an den Gusskuchen erfolgte, verlief die Abschätzung der Temperatur durch den spätbronzezeitlichen Metallurgen anhand der Glühfarbe des Metalls. Je höher die Temperatur lag, desto länger konnte der Gusskuchen auch mit Beilen oder Abschröttern angekerbt werden, was bei 800-900°C bzw. einer dunkelroten Glühfarbe in etwa bei 30-45 Sekunden lag. Hatte der Gusskuchen aufgehört zu glühen, war seine Temperatur auf ca. 300-400°C gefallen. In diesem mittleren Temperaturbereich ist unreines Kupfer aufgrund von Oxid- und Sulfidausscheidungen an den Korngrenzen besonders brüchig (TYLECOTE 1976, 159; 162. SCOTT 1991, 97. HAUPTMANN, MADDIN, PRANGE 2002, 8; 12; 19), weshalb nun der richtige Zeitpunkt gekommen war, um mit der Zertrümmerung des Gusskuchens mittels eines schweren Hammers zu beginnen. Die plastische Deformation des bereits erkalteten Metalls führte schließlich zu Spannungen und Versprödungen und ein Gewaltbruch bei den Kerben war die Folge.

Für die flachen „Ochsenhautbarren“ des Mittelmeerraumes wird anhand von mikrostrukturellen Untersuchungen, Hammer Spuren und archäologischer Experimente geschlossen, dass sie unter Hitzeeinwirkung und schlagartiger Belastung aufgrund der bereits beschriebenen Materialeigenschaften relativ leicht brachen (VAN LOKEREN 2000, 275-276. HAUPTMANN, MADDIN, PRANGE 2002, 19. HAUPTMANN, MADDIN 2005, 133-136). Auch die mitteleuropäischen Gusskuchen verfügen über eine vergleichbare Materialbeschaffenheit, doch sind sie ungleich kompakter und vor allem dicker. Bei ihrer Zerteilung kamen, wie bereits erwähnt, deshalb zusätzlich Beile und Abschröter zum Einsatz, die in den glühenden Gusskuchen oft tiefe Kerben auf einer oder beiden Seiten hinterließen (Abb. 30). Ausgehend von Spannungen im Kerbgrund könnten sich nun Brüche über die Gasblasen den gesamten Querschnitt

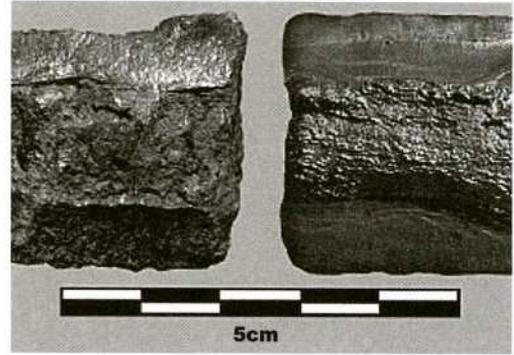


Abb. 30: Gegenüberstellung von Bruchprofilen mit beidseitiger Kerbung. Links: Gusskuchenbruchstück. Steiermark, Kainischtal-Rabenwand, Depotfund 2. Rechts: Arbeitsprobe.

hin ausbreiten. Risse und Verformungen zeigen an (Abb. 2 u. 21), dass aber auch diese Brüche nur unter massiver Gewalt einwirkung mittels Hammerschläge zum Teil sogar durch wechselweise Streck- und Stauchvorgänge über ein oder zwei Widerlagern zustande kamen.

Bei massiven und besonders dichten Stücken war es dagegen unumgänglich, fast den gesamten Gusskuchenquerschnitt unter Hitze mit Abschröttern oder Beilen aufzuspalten bzw. durchzuhacken. Hierzu trieb man die Werkzeuge nicht nur von der Ober- und Unterseite, sondern auch von den Rändern der Gusskuchen her in das Metall ein. Dadurch entstanden senkrechte und ungewöhnlich glatte „Schnittflächen“ (Abb. 32), die auch vereinzelt an Gusskuchenbruchstücken beobachtet werden konnten (MOZSOLICS 1984, 38; 72, Taf. 20). Möglicherweise sind damit auch die tortenförmigen Ausnehmungen mit geraden „Bruchkanten“ an einigen Gusskuchen aus Bosnien und Ungarn in Verbindung zu bringen, wobei sich dies freilich anhand der bislang publizierten Fotos und Zeichnungen und der mangelnden Beschreibung des Aussehens der Kanten nicht entscheiden lässt (MOZSOLICS 1984, 38-39; 69-70, Taf. 16, 4; 17, 2a-b. CZAJLIK 1996, 170, Abb. 13. PÜHRINGER 2000, 198-202, Abb. 6).

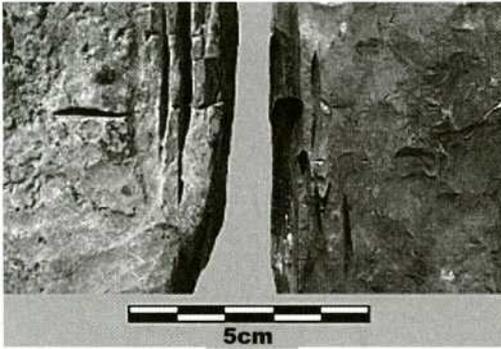


Abb. 31: Gegenüberstellung von Randpartien mit Beilkerben und Hammerspuren. Links: Gusskuchenbruchstück. Steiermark, Kainischtal-Rabenwand, Depotfund 1. Rechts: Arbeitsprobe.

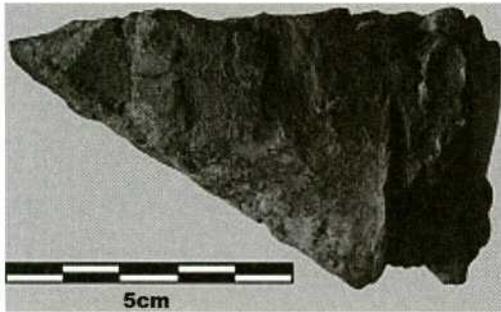


Abb. 32: Seitenansicht eines geviertelten Gusskuchens mit glatter „Schnittfläche“. Steiermark, Kainisch-Prietal, Depotfund.

Die Herstellung gewichtsgenormter Gusskuchenbruchstücke

Unabhängig davon, ob nun die Zerlegung der Gusskuchen aus praktisch-ökonomischen Gründen oder in manchen Fällen gar aus sakralen Intentionen erfolgte, fest steht, dass ihre Zerkleinerung einen wichtigen Bereich des damaligen Metallhandwerks und Handels darstellte. Zwei mögliche Motive für das Fraktionieren der Gusskuchen seien hier nun abschließend mit der Herstellung von „gewichtsgenormten“ Bruchstücken und der Materialprüfung angeschnitten. Die regelhafte Zerteilung

der Gusskuchen, aber auch die Zerstückelung von Bronzeobjekten in bestimmte Gewichtsklassen zusammen mit der damaligen Kenntnis des Wiegens, archäologisch belegt durch Reste von kleinen Balkenwaagen und Feingewichten aus Metall oder Stein (PRIMAS 2008, 162-165) stützen die Vermutung, dass sich in der Spätbronzezeit der Wert des Metalls nach dessen Gewicht orientierte. Serienuntersuchungen an mitteleuropäischen Depotfundinventaren ergaben selektive Gewichtsverteilungen, sowie markante Gewichtsrelationen und -sprünge innerhalb des Brucherzes, die ihre Verwendung als „prämonetäres“ Zahlungsmittel für den überregionalen Metallaustausch wahrscheinlich machen (PRIMAS, PERNICKA 1998, 45-50. PÜHRINGER 2000, 205-214. PÜHRINGER 2004, 15-23). In diesem Zusammenhang stellt sich natürlich die Frage, inwieweit Gewichtsvorgaben bei der Zerkleinerung der Gusskuchen eingehalten werden konnten? Einen ersten Hinweis darauf lieferte ein Versuch, bei dem von den experimentell erzeugten Gusskuchen jeweils 10 Teilstücke mit einem Gewicht von 10 g, 25 g, 50 g, 100 g und 200 g im warmen Zustand mit Abschröter und Hammer abgetrennt werden sollten (Abb. 33). Fehlende Erfahrung bei der Abschätzung von Volumen und Gewicht, aber vor allem Blasen Hohlräume im Inneren der Gusskuchen und unregelmäßig verlaufende Brüche zeigten recht schnell, dass es in der Praxis gar nicht leicht war, innerhalb eines Arbeitsganges das für die Bruchstücke geplante Gewicht zu erreichen. Vor allem bei den Teilstücken über 50 g waren die Gewichtsabweichungen bzw. -schwankungen erheblich und hätten nachträglich weitere Abtrennungen erforderlich gemacht, um sich dem Wunschgewicht zu nähern. Derartige Ungenauigkeiten in der Teilung könnten nicht nur den in der Spätbronzezeit bestehenden Metallhandel verkompliziert haben, sondern würden auch heute zu verfälschten Schlussfolgerungen über die damaligen Gewichtssysteme führen.

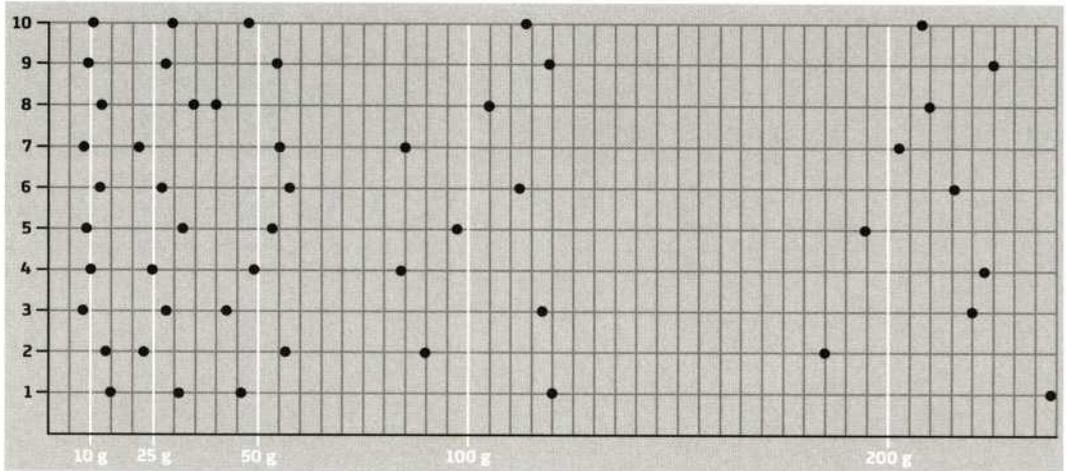


Abb. 33: Gewichtsschwankungen von jeweils zehn abgetrennten Teilstücken mit einem Gewicht von 10 g, 25 g, 50 g, 100 g und 200 g.

Materialprüfung

Ausschlaggebend für den Wert des Kupfers war neben dem Gewicht auch dessen Reinheit. Anhaftende Restschlacken und im Kupfer gelöste Oxide, Sulfide oder geringe Mengen fremder Metalle konnten seine Qualität und damit auch seinen Wert erheblich mindern und machten es notwendig, eingehandeltes Kupfer dessen Reinheit unbekannt war vor dem Erwerb oder der Weiterverarbeitung zu prüfen. Dies geschah möglicherweise durch das Auseinanderbrechen eines Gusskuchens oder durch das Herausschlagen eines kleinen Probestücks von seinem Rand (Abb. 10). Anhand bestimmter Materialeigenschaften und optischer Merkmale, wie z. B. der Verformbarkeit, Sprödigkeit, Zähigkeit oder Härte des Metalls, des Aussehens der Bruchflächen, des Metallklangs oder der Farbe, war es dem spätbronzezeitlichen Metallurgen bei viel Erfahrung möglich, verschiedene Kupfer- und Bronzesorten grob voneinander zu unterscheiden, sowie deren Qualität einzuschätzen.

Dieser erste Materialtest konnte im kalten, wie auch im warmen Zustand erfolgen, erforderte aber, wie die Versuche zeigten, vor

allem für die Farbbeurteilung, die bei mehrmaligem Aufglühen und langsamem Abkühlen auf der frischen Bruchfläche gebildete orange-rote bis schwarzviolette Kupferoxidhaut mechanisch mit Schleifsteinen zu entfernen. Die Unterscheidung und Trennung von Gusskuchen und Rohmetall aus unraffiniertem, reinem und legiertem Kupfer, sowie recyceltem Altmetall war vor der Weiterverarbeitung notwendig, da bei der Anfertigung eines neuen Gegenstandes sonst leicht das Legierungsverhältnis außer Kontrolle kommen konnte und der Guss nicht die notwendige Qualität oder das Produkt nicht die gewünschten Materialeigenschaften aufwies.

Zusammenfassung

Schlagmarken von schweren Hämmern oder tiefe Kerben von Beilen lassen heute nur mehr entfernt erahnen, wie kraftaufwändig das Zerteilen von massiven Bronze- und Kupferobjekten im Rahmen des Metallhandwerks oder von Deponierungen in der Spätbronzezeit gewesen sein muss. Am anschaulichsten lassen sich die einzelnen Trennungstechniken und die daraus

resultierenden spezifischen Brüche und Verformungen an den in großer Zahl in den Depotfunden der Steiermark vorliegenden plankonvexen Gusskuchen studieren. Im Rahmen einer ersten Versuchsreihe in den Wintern 2006/07 und 2008/09 in Graz wurden experimentell erzeugte Gusskuchen aus Kupfer unter Verwendung von Bronzewerkzeugen mit unterschiedlichen Methoden im kalten, vornehmlich aber im glühenden Zustand zerteilt und die so erzeugten Werkzeugspuren und Bruchmuster mit den Originalen auf Übereinstimmung verglichen.

Summary

The production and breakup of plano-convex-ingots in Late Bronze Age Styria, Austria: Indentations from heavy hammers or deep notches from axes today only permit vague speculation of how laborious it must have been to break up massive bronze and copper objects in the course of metal trade or hoarding, in the late Bronze Age. The individual separation techniques and the resulting specific breakages and deformations can be studied most clearly on the basis of the plano-convex-ingots that are present in large numbers in Styria's hoards. In the course of a preliminary series of tests in the winters 2006/07 and 2008/09 in Graz, experimental manufactured ingots made of copper were broken up using bronze tools and various methods in a glowing as well as in a cold state, and the grooves of the tools and the breakage patterns were compared with the originals for any correlation.

Danksagung

Mein Dank gilt Karl Gaisberger (Altaussee), Dr. Günter Grundmann (München), Mag. Hans Reschreiter (Wien) und Dr. Maria Windholz-Konrad (Graz) für zahlreiche In-

formationen und Hilfestellungen, sowie der Prähistorischen Abteilung am Naturhistorischen Museum Wien für die Erlaubnis, den Gusskuchen von Mahersdorf in diesem Beitrag abzubilden.

Literatur

- AGRICOLA, G. 1928: De re metallica libri XII - Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen. Deutsche Übersetzung bearbeitet von Carl Schiffer. Berlin 1928.
- BACHMANN, H.-G., JOCKENHÖVEL, A., SPICHAL, U., WOLF, G. 2004: Zur bronzezeitlichen Metallversorgung im mittleren Westdeutschland: Von der Lagerstätte zum Endprodukt. Berichte der Kommission für Archäologische Landesforschung in Hessen 7. Rahden-Westfalen 2004, 67-120.
- BUNK, W. G. J., KUHNEN, H.-P. 2008: Roman Time Copper Ingots Found at Trier: Original and Experiment. In: F. Verse, B. Knoche, J. Graefe, M. Hohlbein, K. Schierhold, C. Siemann, M. Uckelmann, G. Woltermann (Hrsg.), Durch die Zeiten ... Festschrift für Albrecht Jockenhövel zum 65. Geburtstag. Internationale Archäologie, Studia honoraria 28. Rahden-Westfalen 2008, 307-313.
- CRADDOCK, P. T., FREESTONE, I. C., DAWE, C. D. 1997: Casting Metals in Limestone Moulds. Journal of the Historical Metallurgy Society 31,1, 1997, 1-7.
- CZAJLIK, Z. 1996: Ein spätbronzezeitliches Halbfertigprodukt: Der Gusskuchen. Eine Untersuchung anhand von Funden aus Westungarn. Archaeologia Austriaca 80, 1996, 165-179.
- GRUBER, A., PRESSLINGER, H. 1983: Werkstoffkundliche Untersuchungen an prähistorischen Kupfergusskuchen aus den Ostalpen. Metall 37,12, 1983, 1254-1256.
- HAUPTMANN, A., MADDIN, R. 2005: Die Kupferbarren von Uluburun. Teil 1: Qualitätsmetall für den Weltmarkt? In: Ü. Yalçın, C. Pulak, R. Slotta (Hrsg.), Das Schiff von Uluburun — Welthandel vor 3000 Jahren. Katalog zur Ausstellung des Deutschen Bergbau-Museums Bochum vom 15. Juli 2005 - 16. Juli 2006. Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum 138. Bochum 2005, 133-140.

- HAUPTMANN, A., MADDIN, R., PRANGE, M. 2002: On the Structure and Composition of Copper and Tin Ingots Excavated from the Ship-wreck of Uluburun. *Bulletin of the American Schools of Oriental Research* 328, 2002, 1-30.
- HERDITS, H. 1997A: Experimentalarchäologische Untersuchungen zur bronzezeitlichen Verhüttung sulfidischer Kupfererze. *Archäologische Mitteilungen aus Nordwestdeutschland, Beiheft 18*. Oldenburg 1997, 21-31.
- HERDITS, H. 1997B: Ein bronzezeitlicher Kupferverhüttungsplatz in Mühlbach/Hochkönig (Salzburg). Unpublizierte Diplomarbeit an der Universität Wien, Wien 1997.
- HERDITS, H., LÖCKER K. 2004: Eine bronzezeitliche Kupferhütte im Mitterberger Kupferkies-Revier (Salzburg) - Ausgrabung und Rekonstruktion. In: G. Weisgerber, G. Goldenberg (Hrsg.), *Alpenkupfer – Rame delle Alpi. Der Anschnitt – Beiheft 17*. Bochum 2004, 177-188.
- HILD, A. 1948: Ein Verwahrfund aus Feldkirch, Vorarlberg. *Archaeologia Austriaca* 1, 1948, 88-90.
- HÖGLINGER, P. 1996: Der spätbronzezeitliche Depotfund von Sipbachzell/OÖ. *Linzer Archäologische Forschungen, Sonderheft XVI*. Linz 1996.
- JOCKENHÖVEL, A. 1983: Ein bemerkenswerter späturnfelderzeitlicher Amboss. *Germania* 61/2, 1983, 586-588.
- JOCKENHÖVEL, A. 1986: Struktur und Organisation der Metallverarbeitung in urnenfelderzeitlichen Siedlungen Süddeutschlands. *Veröffentlichungen des Museums für Ur- und Frühgeschichte Potsdam* 20, 1986, 213-234.
- KLEMM, S. 2003: Montanarchäologie in den Eisenerzer Alpen, Steiermark. *Archäologische und naturwissenschaftliche Untersuchungen zum prähistorischen Kupferbergbau in der Eisenerzer Ramsau*. Mit Beiträgen von J. Rescht, H. Weinek, H. Proske, B. Emmerer, E. Steinlechner, P. Trinkaus, W. Gössler, R. Drescher-Schneider. *Mitteilungen der Prähistorischen Kommission der Österreichischen Akademie der Wissenschaften* 50, Wien 2003.
- LARSON, T. S. 2009: Experiments Concerning the Mold Materials Used in the Production of the Copper Ingots from the Late Bronze Age Shipwreck Excavated at Uluburun, Turkey. Unpublished M.A. Thesis, Texas A&M University, o.O. 2009.
- MAYER, E. F. 1977: Die Äxte und Beile in Österreich. *Prähistorische Bronzefunde IX,9*. München 1977.
- MERKEL, J. F. 1986: Ancient Smelting and Casting of Copper for Oxhide Ingots. In: M. Balmuth (Hrsg.), *Studies in Sardinian Archaeology II: Sardinia in the Mediterranean*, Ann Arbor 1986, 251-264.
- MERKEL, J. F. 1990: Experimental Reconstruction of Bronze Age Copper Smelting Based on Archaeological Evidence from Timna. In: B. Rothenberg (Hrsg.), *Researches in the Arabah 1959-1984, Vol. II: The Ancient Metallurgy of Copper*. London 1990, 78-122.
- METTEN, B. 2003: Beitrag zur spätbronzezeitlichen Kupfermetallurgie im Trentino (Südalpen) im Vergleich mit anderen prähistorischen Kupferschlacken aus dem Alpenraum. *Metalla* 10,1/2, 2003.
- v. MISKE, K. 1908: Die prähistorische Ansiedlung Velem St. Vid - Bd. 1: Beschreibung der Raubbaufunde. Wien 1908.
- MODL, D. 2005: Gedanken und Erfahrungen bei der Rekonstruktion prähistorischer Kupferverhüttungsanlagen in der Steiermark, Österreich. *Experimentelle Archäologie in Europa* 3, Bilanz 2004. Oldenburg 2005, 115-126.
- MOZSOLICS, A. 1984: Ein Beitrag zum Metallhandwerk der ungarischen Bronzezeit. *Bericht der Römisch-Germanischen Kommission des Deutschen Archäologischen Institutes* 65, 1984, 19-72.
- NEBELSICK, L. D. 1997: Auf Biegen und Brechen. Ekstatische Elemente bronzezeitlicher Materialopfer – Ein Deutungsversuch. In: A. Hänsel, B. Hänsel (Hrsg.), *Gaben an die Götter – Schätze der Bronzezeit Europas*. Berlin 1997, 35-41.
- OTTAWAY, B. S. 1994: *Prähistorische Archäometallurgie*. Espelkamp 1994.
- PRESSLINGER, H., EIBNER, C. 2004: Montanarchäologie im Palental (Steiermark). *Bergbau, Verhüttung, Verarbeitung und Siedlungstätigkeit in der Bronzezeit*. In: G. Weisgerber, G. Goldenberg (Hrsg.), *Alpenkupfer – Rame delle Alpi. Der Anschnitt – Beiheft 17*. Bochum 2004, 63-74.
- PRIMAS, M. 2008: *Bronzezeit zwischen Elbe und Po. Strukturwandel in Zentraleuropa, 2200-800 v. Chr.* *Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie* 150, Bonn 2008.

- PRIMAS, M., PERNICKA, E. 1998: Der Depotfund von Oberwilfingen. Neue Ergebnisse zur Zirkulation von Metallbarren. *Germania* 76, 1998, 25-65.
- PÜHRINGER, E. 2000: Archäologie und Film - Der Weg in die Urzeit. Unpublizierte Dissertation an der Universität Wien, Wien 2000.
- PÜHRINGER, E. 2004: Als es weder Kilos noch das Einmaleins gab: Gedanken über ein urzeitliches Maßsystem als Ordnungsprinzip. *Experimentelle Archäologie in Europa* 3, Bilanz 2004. Oldenburg 2004, 15-23.
- RUSU, M. 1981: Bemerkungen zu den großen Werkstätten- und Gießereifunden aus Siebenbürgen. In: H. Lorenz (Hrsg.), *Studien zur Bronzezeit – Festschrift für Wilhelm Albert v. Brunn*. Mainz 1981, 375-402.
- SALAŠ, M., STRÁNSKÝ, K., WINKLER, Z. 1993: Příspěvek ke studiu měděných slitků doby popelnicových polí na Moravě (Ein Beitrag zum Studium der urnenfelderzeitlichen Gusskuchen in Mähren). *Acta musei moraviae* LXXVIII, 1993, 59-74.
- SCOTT, D. A. 1991: *Metallography and Microstructure of Ancient and Historic Metals*. Singapore 1991.
- SPERBER, L. 2004: Zur Bedeutung des nördlichen Alpenraumes für die spätbronzezeitliche Kupferversorgung in Mitteleuropa mit besonderer Berücksichtigung Nordtirols. In: G. Weisgerber, G. Goldenberg (Hrsg.), *Alpenkupfer - Rame delle Alpi. Der Anschnitt - Beiheft 17*. Bochum 2004, 303-345.
- TERŽAN B. 1995: Depojske in posamezne kovinske najdbe bakrene in bronaste dobe na Slovenskem. *Hoard and Individual Metal Finds from the Eneolithic and Bronze Ages in Slovenia I*. Narodni muzej – Catalogi et monographiae 29. Ljubljana 1995.
- TRAMPUŽ OREL, N., DRGLIN, T. 2005: ICP-AES Comparative Study of some Late Bronze Age Hoards: Evidence for Low Impurity Bronzes in the Eastern Alps. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research. Section B, Beam Interactions with Materials and Atoms* 239,1-2, 2005, 44-50.
- TYLECOTE, R. F. 1976: Properties of Copper Ingots of Late Bronze Age Type. *Archaeologia Austriaca*, Beiheft 14, 1976, 157-171.
- VAN LOKEREN, S. 2000: Experimental Reconstruction of the Casting of Copper "Oxhide" Ingots. *Antiquity* 74,284, 2000, 275-276.
- WEIHS, A. 2004: Der urnenfelderzeitliche Depotfund von Peggau (Steiermark). *Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie* 114. Bonn 2004.
- WINDHOLZ-KONRAD, M. 2003: Funde entlang der Traun zwischen Ödensee und Hallstätter See. Vorlage der prähistorischen bis neuzeitlichen Metallfunde aus den von Karl Gaisberger und Mitarbeitern vorgenommenen Prospektionen im Salzkammergut, mit besonderer Berücksichtigung der Alt-funde. *Fundberichte aus Österreich, Materialheft A13*. Wien 2003.
- WINDHOLZ-KONRAD, M. 2006: Der spätbronzezeitliche Deponierungsplatz bei der Rabenwand im steirischen Salzkammergut, Österreich. *Das Altertum* 50, 2006, 255-301.
- WINDHOLZ-KONRAD, M. 2008: Ein neues Bronzeschmuckdepot von Bad Aussee im Steirischen Salzkammergut - Zum ausgeprägten Hortphänomen im Alpendurchgang südöstlich von Hallstatt. *Archäologisches Korrespondenzblatt* 38,3, 2008, 379-397.
- WINDHOLZ-KONRAD, M. 2010: Der prähistorische Depotfund vom Brandgraben im Kainischtal, Bad Aussee. Mit einem Corpus der urnenfelderzeitlichen Mehrstückhorte zwischen Öden- und Hallstättersee. Unpublizierte Dissertation an der Universität Graz, Graz 2010.
- WYSS, R. 1967: *Bronzezeitliches Metallhandwerk*. Zürich 1967.

Abbildungsnachweis

Abb. 19 und 26: Claudia Ertl. Abb. 20: Günter Grundmann. Alle sonstigen Abb.: Verfasser.

Anschrift des Verfassers

Daniel Modl
 Universalmuseum Joanneum
 Archäologie & Münzkabinett
 Schloss Eggenberg
 Eggenberger Allee 90
 A – 8020 Graz
 e-Mail: daniel.modl@museum-joanneum.at

ISBN 978-3-89995-739-6