



Berg Huettenmaenn Monatsh (2024) Vol. 169 (3): 104–110  
<https://doi.org/10.1007/s00501-024-01427-x>  
© The Author(s) 2024

**BHM** Berg- und  
Hüttenmännische  
Monatshefte

# Gefügeveränderungen an Bronzeteilen während experimenteller archäologischer Kremierungen

Roland Haubner<sup>1</sup>, Susanne Strobl<sup>1</sup>, Michaela Fritzl<sup>2</sup> und Michael Konrad<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute for Chemical Technologies and Analytics, Technische Universität Wien, Wien, Österreich

<sup>2</sup>Österreichisches Archäologisches Institut, Österreichische Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich

<sup>3</sup>Institut für Urgeschichte & Historische Archäologie, Universität Wien, Wien, Österreich

Eingegangen 20. Dezember 2023; angenommen 6. Januar 2024; online publiziert 24. Januar 2024

**Zusammenfassung:** In der späten Bronzezeit (ca. 1300–800 v. Chr.) waren Brandbestattungen die dominierende Bestattungsform über weite Teile Europas. In Anlehnung an Bronzeartefakten aus Brandgräbern der Fundstelle Inzersdorf ob der Traisen wurden archäologische Experimente durchgeführt. Kremierungsversuche mit Schweinen sollten zeigen, wie sich Bronzeobjekte in Bezug auf ihre Position am Scheiterhaufen und den unterschiedlichen Bedingungen, während der Kremierung verändern. Gewölbte Bronzeplättchen (sogenannte „Buckelchen“) aus Cu10%Sn wurden auf ein Leinentuch und verschiedene Kleidungsstücke aufgenäht, gemeinsam mit einem Schwein kremiert, aus dem abgebrannte Scheiterhaufen geborgen und abschließend metallographisch untersucht.

Durch metallographische Analysen soll eine Abschätzung der Temperaturen erfolgen, welcher die einzelnen Bronzeobjekte während der Kremierung ausgesetzt waren. Die Gefügeveränderungen variieren zwischen kaum verändert, rekristallisiert bis aufgeschmolzen.

Vergleiche mit bronzezeitlichen „Buckelchen“ sollen Erkenntnisse über die seinerzeitigen Kremierungsbedingungen und die damals erreichten Temperaturen bringen.

**Schlüsselwörter:** Zinnbronze, Kremierung, Rekristallisation

## Changes in the Microstructure of Bronze Parts during Experimental Archaeological Cremations

**Abstract:** In the Late Bronze Age (approx. 1300–800 BC), cremation was the dominant form of burial over large parts of Europe. Archaeological experiments were carried out

based on bronze artefacts from cremation graves at the site Inzersdorf ob der Traisen. Cremation experiments with pigs should show how bronze objects change during cremation in relation to their position at the funeral pyre and the different conditions. Domed bronze plates (so-called “Buckelchen”) made of Cu10%Sn were sewn onto a shroud and various garments, cremated together with a pig, salvaged from the burnt pyre, and finally examined by metallography.

Metallographic analyses should estimate the temperatures to which the individual bronze objects were exposed during cremation. The structural changes vary between marginally, recrystallized respectively melted.

Comparisons with Bronze Age “Buckelchen” are intended to provide insights into the cremation conditions and the temperatures which were reached at that time.

**Keywords:** Tin bronze, Cremation, Recrystallization

## 1. Einleitung

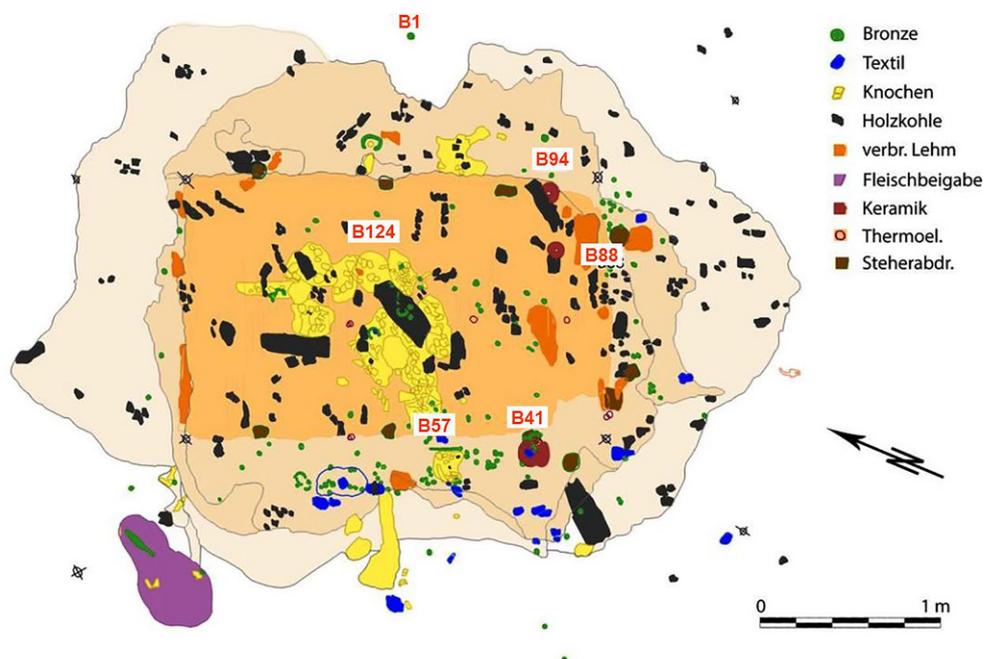
Im Laufe der Mittleren Bronzezeit (1600–1300 v. Chr.) wird die Körperbestattung sukzessive durch Brandbestattung ersetzt. Dieser Prozess ist mit Beginn der Urnenfelderzeit abgeschlossen (1200 v. Chr.) und große Urnenfelder dominieren ab dieser Zeit (Hallstattzeit (Ha A bis Ha B)). Erst ab der Eisenzeit (frühesten 800 v. Chr., Hallstattzeit (Ha C)) treten zunehmend wieder Körperbestattungen auf. [1–3]. Im Bereich des niederösterreichischen Unteren Traisentals konnte im Zuge intensiver Rettungsgrabungen eine hohe Dichte an archäologischen Fundstellen aus allen Zeitperioden ergraben werden [4]. Eine der Fundstellen ist nahe Inzersdorf ob der Traisen, wo eines der größten Brandgräberfelder (273 Gräber) Österreichs, mit unter anderem zahlreichen Bronzebeigaben, wie zum Beispiel verschiedene Knöpfe und anderer vergleichbarer Gewandbesatz, gefunden wurden [5, 6]. Untersuchungen von Gewandknöpfen aus einem hallstattzeitlichen Hügelgrab mit Brandbestat-

Prof. Dr. R. Haubner (✉)  
Institute for Chemical Technologies and Analytics,  
Technische Universität Wien,  
Getreidemarkt 9/164-03,  
1060 Wien, Österreich  
roland.haubner@tuwien.ac.at



Abb. 1: Kremierung im Rahmen der experimentellen Archäologie. **a** vorbereitetes Schwein auf dem Scheiterhaufen; **b** Scheiterhaufen in Vollbrand; **c** weitgehend niedergebrannter Scheiterhaufen; **d** Brandplatz vor der Untersuchung; **e** Bronze- und Keramikstücke in der Asche

Abb. 2: Plan des erkalteten Kremierungsplatzes mit den Fundstellenpositionen der untersuchten Buckelchen

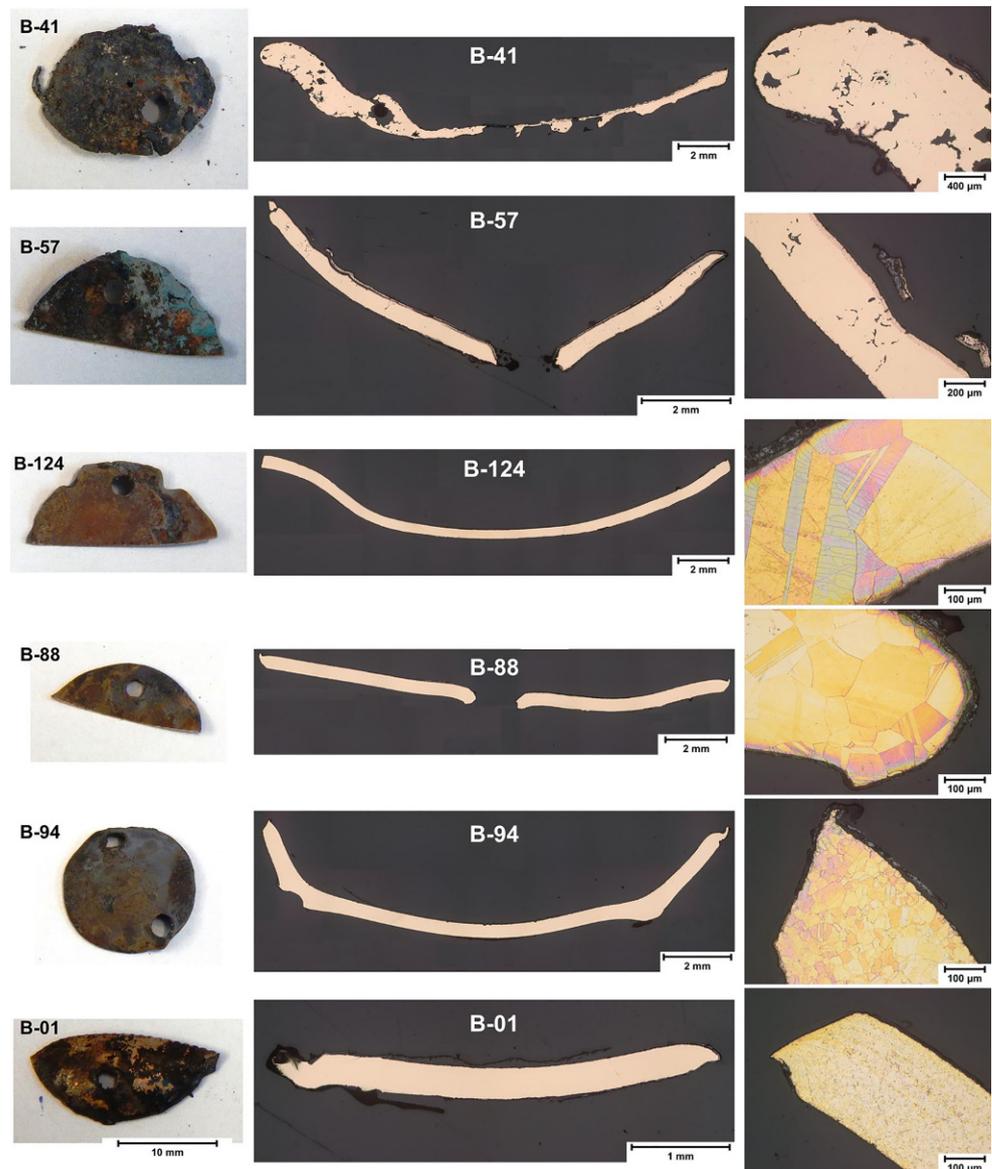


zung in Schandorf, Burgenland, haben gezeigt, dass diese Knöpfe mittels Bronzeguss hergestellt wurden und während der Kremierung teils starke Oxidation der Bronze erfolgte [7].

Im Rahmen der Lehrveranstaltung Experimentelle Archäologie der Universität Wien erfolgten insgesamt fünf Kremierungsversuche mit Schweinen als Proxy, um Brandbestattungen der frühen Urnenfelderzeit nachzustellen. Aus den Ergebnissen werden Informationen auf die Bedin-

gungen während einer prähistorischen Kremation erwartet [8, 9]. Dabei wurden verschiedene, eigens für diese Experimente hergestellte Bronzeobjekte den Kremierungsbedingungen ausgesetzt. Dabei waren auch gebogene Bronzeplättchen (sogenannte „Buckelchen“) aus Cu10%Sn, die auf ein Leinentuch und anderen Kleidungsstücke aufgenäht wurden, mit denen das Schwein bekleidet wurde. Das bekleidete Schwein mit allen Beigaben wurde auf dem Scheiterhaufen platziert und alles gemeinsam kre-

Abb. 3: Zusammenstellung der untersuchten Buckelchen: (links) Fotos der erhaltenen Proben; (mittig) polierte Querschnitte; (rechts) geätzte Proben



miert (Abb. 1a, b, c). Während der Kremierung wurden auch Temperaturmessungen mit einem Infrarotpyrometer durchgeführt. Während des initialen Vollbrands, der etwa 45 min dauerte, wurden Temperaturen bis 900 °C gemessen. Nach dem Vollbrand wurden über 4 h Temperaturen um 800 °C gemessen. Während der nächsten drei Stunden lagen die Temperaturen zwischen 500 und 600 °C. Die weitgehend vollständige Abkühlung dauerte etwa 24 h. Es ist aber verständlich, dass Teile im Zentrum des Scheiterhaufens höheren Temperaturen über längere Zeit ausgesetzt waren als Teile in der Randzone des Scheiterhaufens (Abb. 1d, e). Der abgebrannte Scheiterhaufen (Abb. 1f) wurde archäologisch exakt aufgearbeitet und die Bronzeobjekte aus der Asche geborgen. Abb. 2 zeigt die Fundorte der untersuchten Buckelchen in den Ascheresten des Scheiterhaufens.

## 2. Experimentelles

Die sechs zu untersuchenden Buckelchen wurden kalt in Epoxidharz eingebettet. Die ausgehärteten Proben wurden mit einer feinen Trennscheibe etwa in der Probenmitte durchtrennt. Eine Hälfte wurde abermals kalteingebettet, um den Probenquerschnitt zu präparieren.

Für die metallographische Präparation wurden die Proben nach dem Planschleifen stufenweise bis 1 µm Diamant geschliffen bzw. poliert. Die mikroskopischen Untersuchungen erfolgten im polierten Zustand und nach Ätzungen mit  $(\text{NH}_4)_2\text{CuCl}_4$ - oder Klemm 2-Lösungen [10]. Es wurden Lichtmikroskop (LOM) sowie Rasterelektronenmikroskop (REM) mit energiedispersiver Röntgenanalyse (EDX) verwendet.

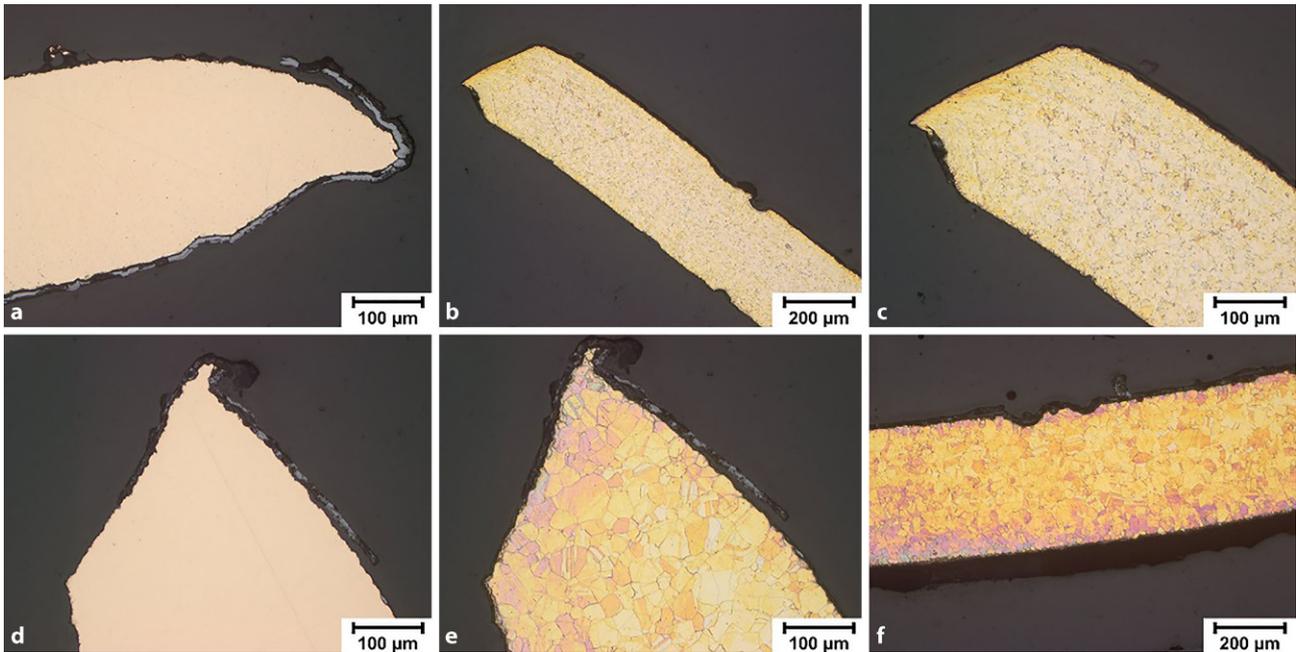


Abb. 4: Gefüge der Buckelchen B01 und B-94 mit geringer thermischer Belastung. a, b, c B-01; d, e, f B-94; a, d poliert; b, c, e, f  $(\text{NH}_4)_2\text{CuCl}_4$ -Ätzung

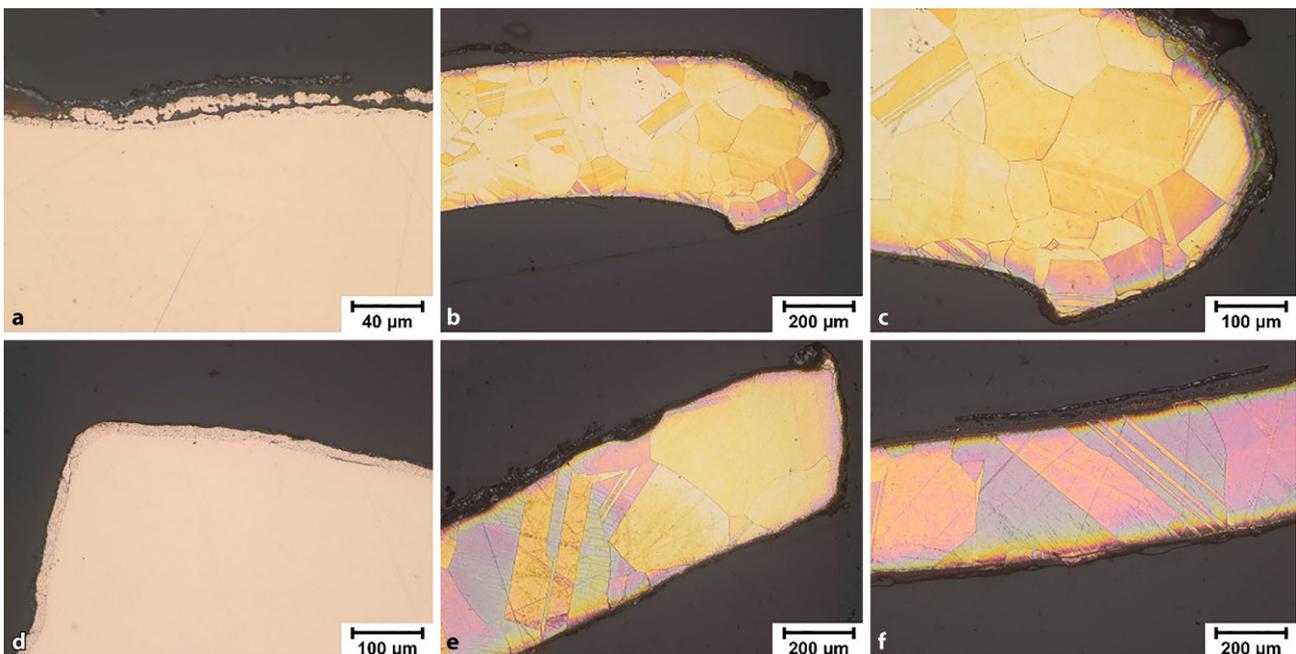


Abb. 5: Gefüge der Buckelchen B-88 und B-124 mit mittlerer thermischer Belastung. a, b, c B-88; d, e, f B-124; a, d poliert; b, c, e, f  $(\text{NH}_4)_2\text{CuCl}_4$ -Ätzung

### 3. Ergebnisse und Diskussion

Abb. 3 zeigt vorweg eine Zusammenstellung der untersuchten Buckelchen im Anlieferungszustand, ein Bild des Querschnitts, sowie eine Detailaufnahme des Gefüges. Bereits bei einer ersten Begutachtung wurde klar, dass die untersuchten Proben unterschiedlichen Temperaturen während der Kremierung ausgesetzt waren. In Abb. 3 sind die Proben nach Temperaturbelastung sortiert, wobei die Temperatur von oben nach unten abnimmt.

Im Folgenden werden die Gefüge der Proben einzeln besprochen.

#### 3.1 Buckelchen mit geringer Temperaturbelastung

Die Gefüge der Buckelchen B-01 und B-94 sind feinkörnig und gleichmäßig.

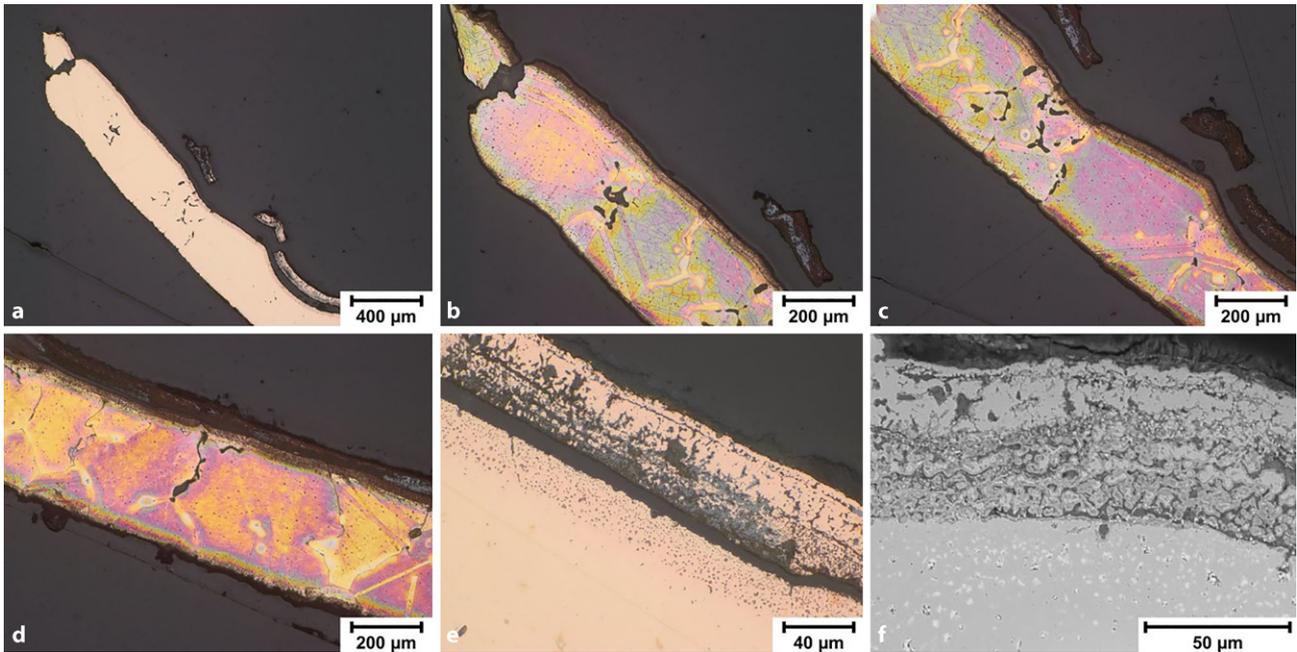


Abb. 6: Gefüge des Buckelchen B-41 mit hoher thermischer Belastung. a, e poliert; c, d, e  $(\text{NH}_4)_2\text{CuCl}_4$ -Ätzung; f REM-BSE

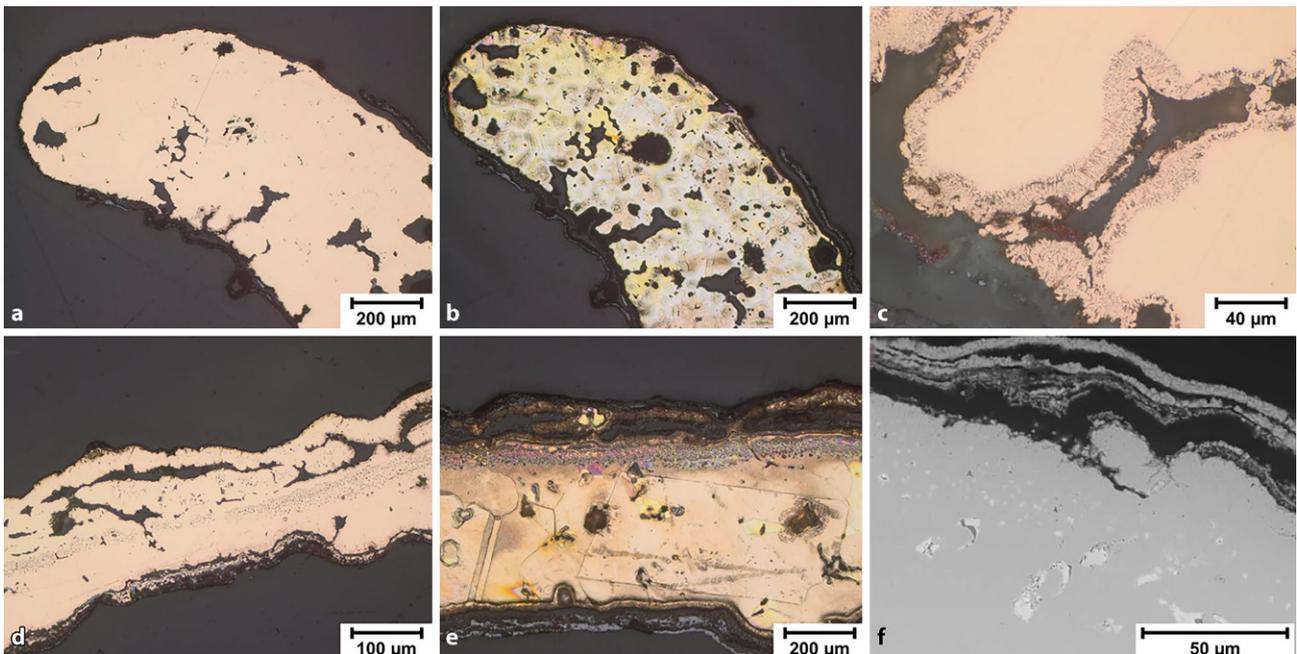


Abb. 7: Gefüge des Buckelchen B-57 mit hoher thermischer Belastung. a, d poliert; b, c, e  $(\text{NH}_4)_2\text{CuCl}_4$ -Ätzung; f REM-BSE

Die Korngröße von B-01 liegt bei etwa 10–20 µm (Abb. 4a, b, c) und die Korngröße von B-94 ist mit 10–30 µm nur geringfügig größer (Abb. 4d, e, f). Da das Ausgangsmaterial für die Buckelchen ein kommerzielles Bronzeblech war, ist davon auszugehen, dass es sich hier um das Ausgangsgefüge handelt.

Diese Buckelchen sind im Randbereich der Kremierung zu liegen gekommen und haben nur eine geringen Wärmebehandlung erfahren, sodass keine Gefügeveränderungen erkennbar sind. Über den tatsächlichen Temperaturverlauf

und die Dauer der Wärmeeinwirkung ist keine Aussage möglich.

### 3.2 Buckelchen mit mittlerer Temperaturbelastung

Einhergehend mit Kornvergrößerung sind diese Proben sehr stark rekristallisiert. Das bedeutet, dass primäre und sekundäre Rekristallisation stattgefunden haben. Bei B-88

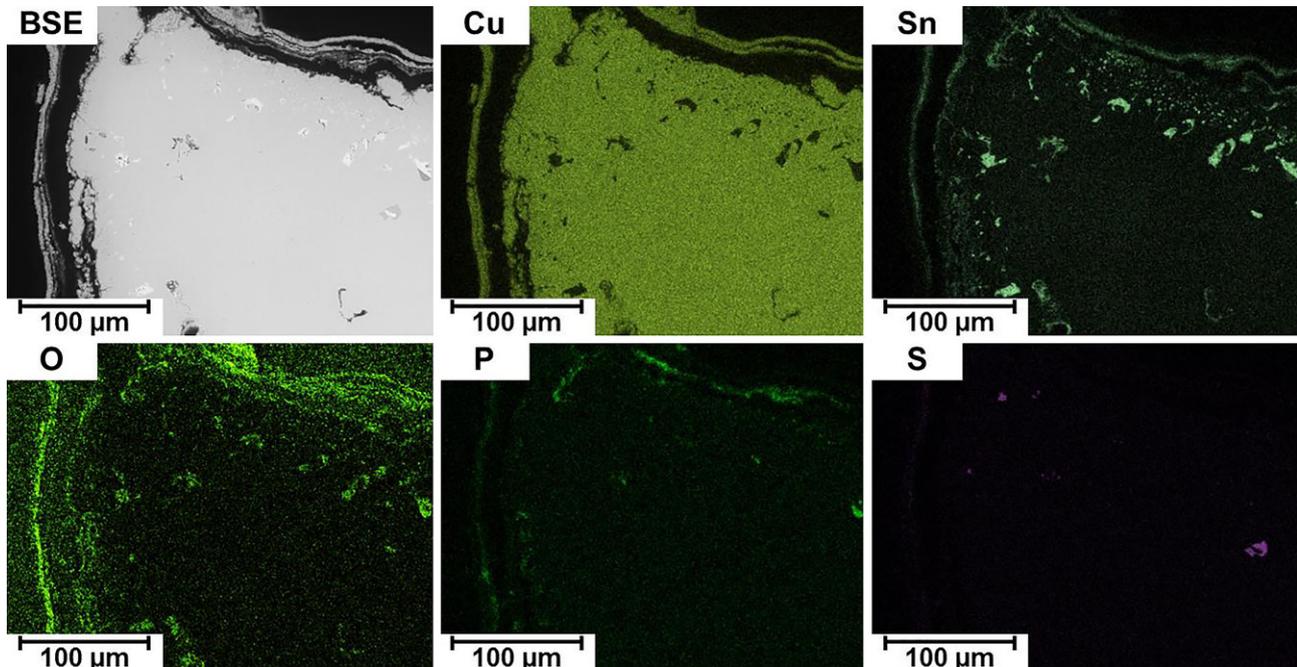


Abb. 8: REM-EDX Elementverteilung im Bereich der Oxidschicht (B-41)

wurden Korngrößen bis  $700\ \mu\text{m}$  gemessen. Es treten auch einige Glühzwillinge auf (Abb. 5a, b, c). Bei B-124 erstrecken sich die Körner teilweise über die gesamte Blechbreite mit Korngrößen teilweise bis  $1\ \text{mm}$  (Abb. 5d, e, f). Auch in diesen Körnern wurden Zwillinge beobachtet.

Diese Buckelchen lagen somit näher beim Zentrum des Scheiterhaufens und erfuhren eine entsprechend hohe Temperatur. Es wurden in der Literatur keine Rekristallisationstemperaturen für diese Bronze gefunden, aber in Anlehnung an Literatur [11] könnte die Temperatur über  $650\ ^\circ\text{C}$  gelegen haben.

### 3.3 Buckelchen mit hoher Temperaturbelastung

Diese Proben wurden während der Kremierung so weit erhitzt, dass bereits Schmelzphase aufgetreten ist. In Probe B-57 sind neben Bereichen mit groben Korn (Korngrößen  $200\text{--}800\ \mu\text{m}$ , und Zwillinge) auch Lunker zu sehen (Abb. 6a, b). Diese Lunker liegen in den Bereichen von Korngrenzen und sind bei der Erstarrung der partiell aufgeschmolzenen Bronze entstanden (Abb. 6c, d). Laut Cu-Sn Phasendiagramm liegt die Bildung einer ersten Schmelzphase bei einer 10 Gew.% Sn Bronze bei etwa  $850\ ^\circ\text{C}$  [12]. Auffallend ist bei dieser Probe auch ein stark veränderter Randbereich, der auf Verzunderung zurückgeführt werden kann (Abb. 6e, f).

Bei Probe B-41 war die Temperatur noch höher, womit mehr Schmelzphase und starke Lunkerbildung auftrat (Abb. 7a, b). Die Bronze ist wiederum sehr grobkristallin mit Korngrößen bis  $900\ \mu\text{m}$ . Im Bereich der Oberfläche, aber auch in zur Oberfläche hin offenen Lunkern ist eine auf Oxidation beruhende, etwa  $30\ \mu\text{m}$  dicke Schicht zu erkennen (Abb. 7c). Die durch partielles Aufschmelzen entstande-

nen Lunker sind in weiten Bereichen der Probe zu finden (Abb. 7d, e). Im REM ist erkennbar, dass durch die Erstarrung der Schmelze die intermetallische  $\delta$ -Phase,  $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_{11}$  entstand (Abb. 6c, f). Um die beobachtete Zwischenschicht zu charakterisieren, wurde eine REM-EDX Elementverteilung durchgeführt (Abb. 8). Dabei zeigt sich, dass durch Eindiffusion von Sauerstoff Sn selektiv oxidiert und  $\text{SnO}_x$  gebildet wurde. Daneben wurde in den Zunderschichten noch etwas Phosphor nachgewiesen, der aus organischen Materialien stammen dürfte.

Eine Erklärung dafür, dass die Buckelchen nicht einfach zu einer Kugel zusammengesmolzen sind, könnte sein, dass sich während der Anfangsphase der Kremierung eine Zunderschicht gebildet hat, die dem Stück eine gewisse Stabilität gab. Es spielt aber sicher auch eine Rolle, welche Menge an Bronze aufgeschmolzen ist.

Bezüglich der unregelmäßigen, selektiven Oxidation des Sn in der Bronze spielte der Sauerstoffzutritt eine wesentliche Rolle. Auf der Seite des Buckelchens, an welcher der Stoff befestigt war, ist die Verzunderung verringert, da dort der Sauerstoffzutritt behindert war.

## 4. Schlussfolgerungen

Die späte Bronzezeit wird auch als Urnenfelderzeit bezeichnet und Brandbestattungen waren üblich. In Inzersdorf ob der Traisen wurde eines der größten Brandgräberfelder Europas, mit zahlreichen Bronzebeigaben ausgestattet, gefunden. Die sogenannten Buckelchen wurden dabei in größerer Anzahl gefunden. Um zu untersuchen, wie sie sich bei der Kremation verändert haben, wurden bei Kremierungsversuchen, im Rahmen der experimentellen Archäologie,

Buckelchen aus Cu10%Sn eingesetzt. Einige dieser Buckelchen wurden nun metallographisch untersucht.

Je nach Positionierung der Buckelchen im Scheiterhaufen traten unterschiedliche Gefügeveränderungen – zwischen kaum verändert, rekristallisiert bis geschmolzen – auf.

Es wurde abgeschätzt, dass die Rekristallisation ab etwa 650 °C stattfindet und die erste Schmelzphase ab etwa 850 °C auftritt.

In weiterer Folge sollen Bronzebleche gezielt wärmebehandelt werden, um genauere Daten über Rekristallisation und Schmelzbeginn zu erhalten. Zuguterletzt sollen alte Buckelchen aus Inzersdorf ob der Traisen untersucht werden, um aus deren Gefüge auf die Bedingungen während der bronzezeitlichen Brandbestattungen rückzuschließen.

**Danksagung.** Unser herzlicher Dank gilt Franz Pieler und dem Urgeschichtlichen Museum MAMUZ, dem ÖAI, dem VIAS, dem NHM, Karina Grömer, Herbert Böhm, Vera und Ludwig Albustin und den Studierenden der Universitäten Wien, Innsbruck und Southampton sowie der FF-Asparn für ihre Hilfe bei der Vorbereitung und Durchführung der Versuche.

**Funding.** Open access funding provided by TU Wien (TUW).

**Open Access** Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

## Literatur

1. Neugebauer, J.-W.: Bronzezeit in Ostösterreich. Wissenschaftliche Schriftenreihe Niederösterreich, Verlag Österreichisches Pressehaus (1994)
2. Lochner, M.: Bestattungssitten auf Gräberfeldern der mitteldonauländischen Urnenfelderkultur. In: M. Lochner, F. Ruppenstein (Hg.): Brandbestattungen von der mittleren Donau bis zur Ägäis zwischen 1300 und 750 v. Chr. *Cremation Burials in the Region between the Middle Danube and the Aegean, 1300–750 B.C.*, Mitteilungen der Prähistorischen Kommission 77 / Veröffentlichungen der Mykenischen Kommission 32, Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (2013) 12–32
3. Sørensen, M.L.S., Rebay-Salisbury, K.: *Death and the body in Bronze Age Europe. From inhumation to cremation.* Cambridge, New York, Port Melbourne, New Delhi. Cambridge University Press, Singapore (2023)
4. Lochner, M.: Brandbestattung und Bronzemetallurgie – Die Urnenfelderkultur in Niederösterreich (1300–800 v. Chr.), *Archäologie Niederösterreichs*, 5 (2021)
5. Fritzl, M.: Die mehrfach belegten Gräber des urnenfelderzeitlichen Gräberfeldes von Inzersdorf ob der Traisen, Niederösterreich. MA Thesis, University of Vienna (2017)
6. Lochner, M.: Eine Mehrfachbestattung mit Keramiktrommel aus dem älterurnenfelderzeitlichen Brandgräberfeld von Inzersdorf ob der Traisen, Niederösterreich. In: *der Grenze der Bronze-, A., Magyar Nemzeti Múzeum, E. (Hrsg.) Ildikó Szathmári, S. 339–351.* Budapest (2015)
7. Haubner, R.: Garment buttons from a Hallstatt period tumulus – Gewandknöpfe aus einem hallstattzeitlichen Hügelgrab, *Pract. Metallogr.* 60, 331–342 (2023). <https://doi.org/10.1515/pm-2023-0027>
8. Grömer, K.: Wieviel Textil bleibt übrig bei einer Brandbestattung? Experimentelle Kremationen Inzi 18 und Inzi 19, *Experimentelle Archäologie in Europa 19. Jahrbuch 2020*(19), 68–81 (2020)
9. Fritzl, M., Konrad, M.: Die Materie von Ritualen, *Experimentelle Archäologie in Europa 19. Jahrbuch 2020*(19), 48–67 (2020)
10. Vander Voort, G.F.: *Principles and Practice*, ASM International, 3rd printing. *Metallography* 642, (2004)
11. Schumann, H.: *Metallographie.* VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig (1967)
12. Massalski, T.B.: in: *Binary Alloy Phase Diagrams.* ASM International, Metals Park OH (1990)

**Hinweis des Verlags.** Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.