



R. Haubner\*, S. Strobl, J. Leskovar

# Examinations on small bronze items from the Hallstatt period burial ground at Mitterkirchen in Upper Austria

## Untersuchungen an Bronzekleinteilen aus dem hallstattzeitlichen Gräberfeld von Mitterkirchen in Oberösterreich

Received: 03.06.2024

Eingegangen: 03.06.2024

Accepted: 06.06.2024

Angenommen: 06.06.2024

Translation: E. Engert

### Abstract

A partially destroyed burial ground from the Hallstatt period in the area of Mitterkirchen in Upper Austria was archaeologically investigated. The graves are dated to the Hallstatt C period corresponding to the 8<sup>th</sup>/7<sup>th</sup> century BC.

Two triangular-headed nails and two lamellar "Bucket" (domed bronze plates) made of Sn-bronze were available for material inves-

### Kurzfassung

In der Umgebung von Mitterkirchen in Oberösterreich wurde ein bereits teilweise zerstörtes, hallstattzeitliches Hügelgräberfeld archäologisch untersucht. Die Gräber werden der Zeitstufe Hallstatt C zugerechnet, was dem 8./7. Jh.v.Chr entspricht.

Für werkstoffkundliche Untersuchungen standen 2 Dreieckskopfnägel und 2 Lamellenbuckel aus Sn-Bronze zur Verfügung, von denen

### Authors:

\*Corresponding author: Roland Haubner Technische Universität Wien, Wien, Austria;

E-Mail: roland.haubner@tuwien.ac.at

Susanne Strobl Technische Universität Wien, Wien, Austria

Jutta Leskovar Oberösterreichisches Landesmuseum (OÖLKG), Leonding, Austria

Open Access. © 2024 the author(s), published by De Gruyter. This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License.

tigations. One of each was subjected to metallographic examinations.

The triangular-headed nail's bronze contains about 15 wt. %Sn. The dendritic cast structure and the eutectoid phase  $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$  are clearly visible. What is noticeable is that a  $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$  layer formed in some areas of the surface.

The lamellar Buckel's microstructure is recrystallized and exhibits only a few deformation twins. Its bronze contains about 13 wt. %Sn. Hence, only very little  $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$  is present. Elongated  $\text{Cu}_2\text{S}$  precipitates indicate that the initial sheet was manufactured by fine forging.

**Keywords:** Bronze, archaeology, lamellar Buckel, triangular-headed nail

## 1 Introduction

The archaeological site near Mitterkirchen in Upper Austria is a large burial ground from the Hallstatt period dated to the 8<sup>th</sup>/7<sup>th</sup> century BC (Ha C). Inhumation was predominant in the respective burial ground. Owing to intensive agriculture, archaeological objects were repeatedly found and the site was discovered. However, some areas of the burial ground had already been destroyed before excavations began. Nevertheless, around 80 graves containing numerous burial gifts were excavated during the archaeological excavations between 1980 and 1990 [1, 2]. The most significant finds are the approximately 3000 buttons of a ceremonial cloak and three chariot burials [3–6].

The metallurgy/mining of copper and bronze in prehistoric times has already been described in detail [7, 8]. Material science investigations on metallic artifacts aim at gaining detailed information on the manufacturing process and the alloy composition [9].

je ein Stück metallographisch untersucht wurde.

Die Bronze des Dreieckskopfnagels enthält etwa 15 Gew. %Sn. Es sind die dendritische Gussstruktur und die eutektoiden Phase  $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$  deutlich zu erkennen. Auffällig ist hier, dass sich in manchen Bereichen der Oberfläche eine  $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$ -Schicht ausgebildet hat.

Das Gefüge des Lamellenbuckels ist rekristallisiert und weist nur wenige Verformungszwillinge auf. Diese Bronze enthält etwa 13 Gew. %Sn, wodurch nur sehr wenig  $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$  vorliegt. Anhand langerlicher  $\text{Cu}_2\text{S}$  Ausscheidungen ist erkennbar, dass das Ausgangsblech durch Feinschmieden hergestellt wurde.

**Schlagwörter:** Bronze, Archäologie, Lamellenbuckel, Dreieckskopfnagel

## 1 Einleitung

Die archäologische Stätte bei Mitterkirchen in Oberösterreich ist ein großes Gräberfeld aus der Hallstattzeit, das auf das 8./7. Jahrhundert v. Chr. (Ha C) datiert wird. Im Gräberfeld war die Körperbestattung vorherrschend. Die Fundstelle wurde entdeckt, weil infolge der intensiven Landwirtschaft immer wieder archäologische Objekte gefunden wurden. Allerdings waren bereits vor Beginn der Ausgrabungen einige Bereiche des Gräberfeldes zerstört. Trotzdem wurden bei den archäologischen Ausgrabungen zwischen 1980 und 1990 ca. 80 Gräber ausgegraben, die zahlreiche Grabbeigaben enthielten [1, 2]. Die bedeutendsten Funde sind die etwa 3000 Knöpfe eines Prunkmantels, sowie drei Wagenbestattungen [3–6].

Die Metallurgie der Kupfer- und Bronzegewinnung in der Urgeschichte wurde bereits ausführlich beschrieben [7, 8]. Ziel materialwissenschaftlicher Untersuchungen an metallischen Artefakten ist es, Details über den Herstellungsprozess sowie die Legierungszusammensetzung herauszufinden [9].

## 2 Experimental procedure

To identify inhomogeneities, the objects were examined using micro-computed tomography (micro-CT) at a resolution of 10 µm [10, 11]. Before the metallographic examinations, images of the objects were also taken using 3D digital microscopy (3D-DM).

The metallographic examinations paved the way for subsequent more in-depth microstructural examinations. In the first preparation step, the samples were vacuum cold mounted to avoid pores. Since the samples were rather small, the preparation involved gradual material removal, polishing, and documentation. The gross removal was carried out using a P500 diamond grinding wheel (30 µm). The sample was subsequently gradually diamond ground and polished up to a grit of 1 µm. Unetched samples and samples etched with Klemm II solution [12] were examined using a light optical microscope (LOM), scanning electron microscope (SEM), and energy dispersive X-ray analysis (EDS). The chemical compositions of the samples were also determined using X-ray fluorescence analysis (XRF).

## 3 Results and discussion

### 3.1 The triangular-headed nail

The triangular-headed nails were first examined using micro-CT. Those images did, however, not show any peculiarities. Overall views of the nails, in the 3D-DM and SEM, are shown in Figure 1. Both nails exhibit a uniform green patina.

The triangular-headed nail A was used for the metallographic examinations. It was prepared layer by layer. Figure 2 shows a section from about the center of the nail.

In the polished condition (Figure 2a), corrosion spots can be recognized on the edges

## 2 Experimentelles

Mittels mikro-CT wurden die Objekte mit einer Auflösung von 10 µm untersucht, um Inhomogenitäten zu erkennen [10, 11]. Vor den metallographischen Untersuchungen wurden Bilder der Objekte auch mittels 3D-Digitalmikroskopie (3D-DM) aufgenommen.

Die metallographischen Untersuchungen erlaubten danach die detaillierteren Gefügeuntersuchungen. Als erster Schritt der Präparation erfolgte eine Vakuum-Kalteinbettung um Poren zu vermeiden. Da die Proben eher klein waren wurde schrittweise abgetragen, poliert und dokumentiert. Der grobe Abtrag erfolgte mit einer Diamantschleifscheibe P500 (30 µm) und danach wurde stufenweise bis 1 µm Diamant geschliffen bzw. poliert. Ungeätzte und mit Klemm 2 Lösung [12] geätzte Proben wurden mittels Lichtmikroskop (LOM), Rasterelektronenmikroskop (REM) und energiedispersiver Röntgenanalyse (EDX) untersucht. Die chemischen Zusammensetzungen der Proben wurden auch mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) bestimmt.

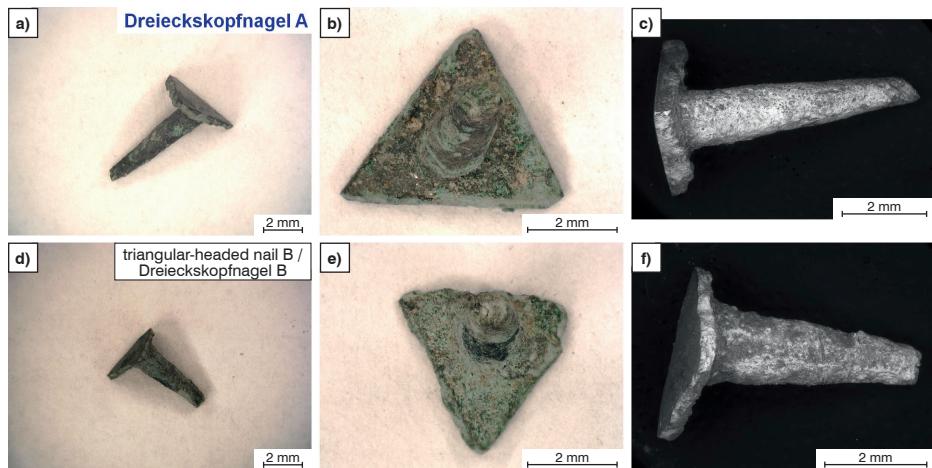
## 3 Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 Der Dreieckskopfnagel

Die Dreieckskopfnägel wurden zuerst mit mikro-CT untersucht, aber die Bilder zeigen keine Auffälligkeiten. Gesamtansichten der Nägel, im 3D-DM und REM, sind in (Bild 1) zusammengestellt. Beide Nägel zeigen eine gleichmäßige grüne Patina.

Für die metallographischen Untersuchungen wurde der Dreieckskopfnagel A herangezogen. Es wurde schichtweise präpariert und in Bild 2 ist ein Schnitt etwa in der Mitte des Nagels zusehen.

Im polierten Zustand (Bild 2a) erkennt man Korrosionsstellen an den Ecken des Kopfs



**Figure 1a to f:** Overall views of the triangular-headed nails: a–c) triangular-headed nail A; d–f) triangular-headed nail B; a, b, d, e) 3D-DM; c, f) SEM.

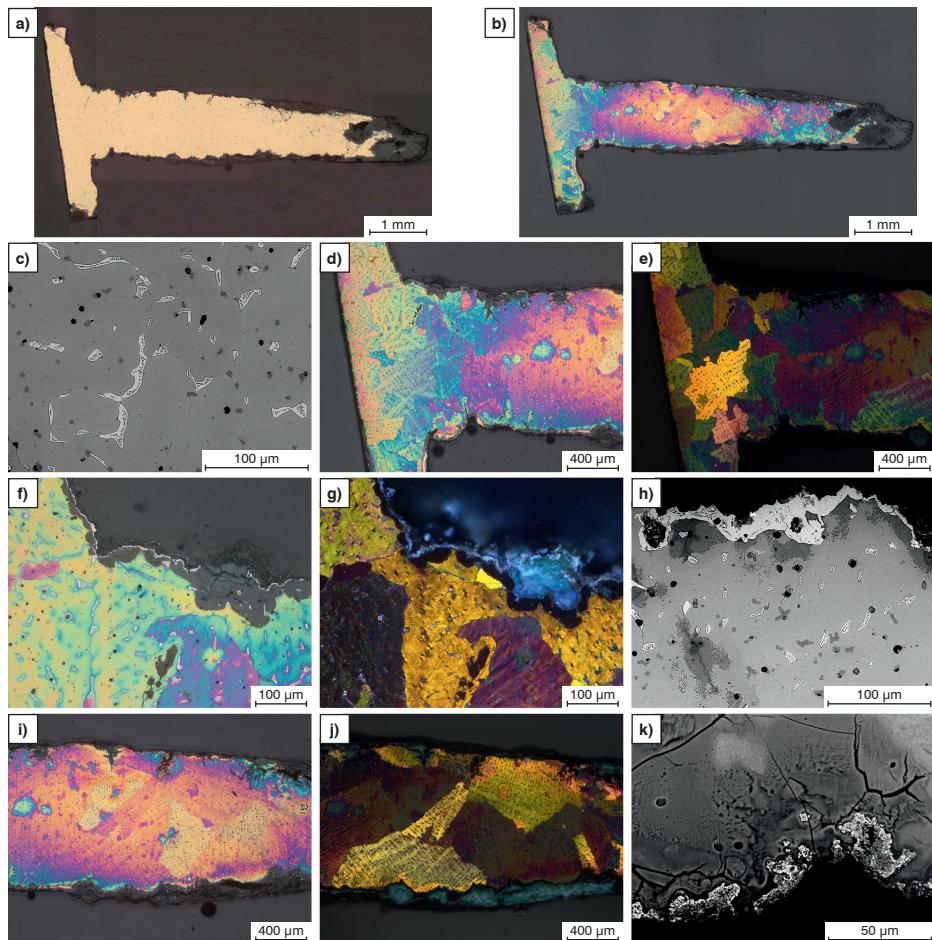
**Bild 1a bis f:** Gesamtansichten der Dreieckskopfnägel: a–c) Dreieckskopfnagel A; d–f) Dreieckskopfnagel B; a, b, d, e) 3D-DM; c, f) REM.

of the head and on the tip. The etched sample exhibits a very coarse structure with dendritic solidification cells up to 500 µm in size (Figure 2b). A metallic area as homogeneous as possible (Figure 2c) was selected and analyzed using EDS to characterize the bronze microstructure. Approx. 15 wt. %Sn and 1.9 wt. %S were found. While the bright areas are Cu<sub>41</sub>Sn<sub>11</sub>, the dark gray spots are Cu<sub>2</sub>S. Figures 2d and 2e show the transition from head to shaft. Some areas are characterized by a dendritic solidification structure. The dendritic solidification cells are particularly easy to recognize in the polarized light and attain a size of up to 500 µm (Figures 2e, g, h).

Corroded areas can be found in the edge area, where a Sn-rich layer is noticeable on the surface. It appears to be Cu<sub>41</sub>Sn<sub>11</sub> (Figures 2f–h). Owing to its bright color, this layer is clearly visible in the SEM (Figure 2h). In an EDS element distribution, the different Sn-enriched areas are clearly recognizable (Figure 3): the outer layer, presumably

und an der Spitze. An der geätzten Probe erkennt man sehr grobes Gefüge mit bis zu 500 µm großen dendritischen Erstarrungszellen (Bild 2b). Um das Bronzegefüge zu charakterisieren wurde ein möglichst homogener metallischer Bereich (Bild 2c) gesucht und mittels EDX analysiert. Es wurden etwa 15 Gew. %Sn und 1,9 Gew. %S festgestellt. Die hellen Bereiche sind Cu<sub>41</sub>Sn<sub>11</sub>, die dunkelgrauen Flecken sind Cu<sub>2</sub>S. Der Übergang von Kopf zu Spitze ist in den Bildern 2d und 2e zu sehen. Teilweise ist ein dendritisches Erstarrungsgefüge zu sehen. Die dendritischen Erstarrungszellen sind besonders gut im polarisierten Licht erkennbar und erreichen eine Größe von bis zu 500 µm (Bild 2e, g, h).

Im Randbereich findet man korrodierte Bereiche, wobei auffällt, dass an der Oberfläche eine Sn-reiche Schicht vorliegt. Es dürfte sich um Cu<sub>41</sub>Sn<sub>11</sub> handeln (Bild 2f–h). Im REM ist diese Schicht deutlich an ihrer hellen Farbe zu erkennen (Bild 2h). In einer EDX-Elementverteilung sind die verschiedenen Bereiche mit Sn-Anreicherung gut zu erkennen (Bild 3). Die

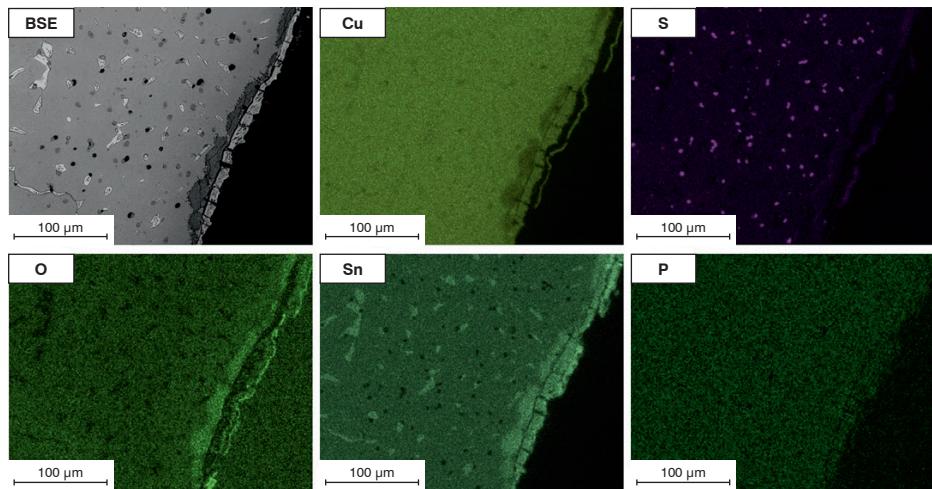


**Figure 2a to k:** Triangular-headed nail A: a, b) overview images of the sections, LOM; c–k) different microstructural areas; b, d, f, i) Klemm II etching, LOM; e, g, j) Klemm II etching and polarized light; c, h, k) SEM.

**Bild 2a bis k:** Dreieckskopfnagel A: a, b) Übersichtsbilder der Schritte, LOM; c–k) unterschiedliche Gefügebereiche; b, d, f, i) Klemm 2 Ätzung, LOM; e, g, j) Klemm 2 Ätzung und polarisiertes Licht; c, h, k) REM.

$\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$ , the corroded area with an enrichment of  $\text{SnO}_2$  [13, 14], and  $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$  phase precipitated in the metal. The point-like enrichment of S can also be observed. In the area of the tip, the eutectically solidified areas are slightly deformed (Figures 2i, j)

äußere Schicht, vermutlich  $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$ , der korrodierte Bereich mit einer Anreicherung von  $\text{SnO}_2$  [13, 14] und im Metall die ausgeschiedene  $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$ -Phase. Ebenfalls ist die punktförmige Anreicherung von S zu erkennen. Im Bereich der Spitze sind die eutektisch erstarrten



**Figure 3:** EDS element distribution of an edge region of triangular-headed nail A.

**Bild 3:** EDX Elementverteilung eines Randbereichs von Dreieckskopfnagel A.

and Sn enrichments can also be found in the corroded areas (Figure 2k).

The metallographic section was also subjected to XRF analysis (Table 1) revealing a

Bereiche etwas verformt (Bild 2i, j) und in den korrodierten Bereichen sind auch Sn-Anreicherungen zu sehen (Bild 2k).

Es wurde auch eine RFA Analyse an dem metallographischen Schliff vorgenommen (Ta-

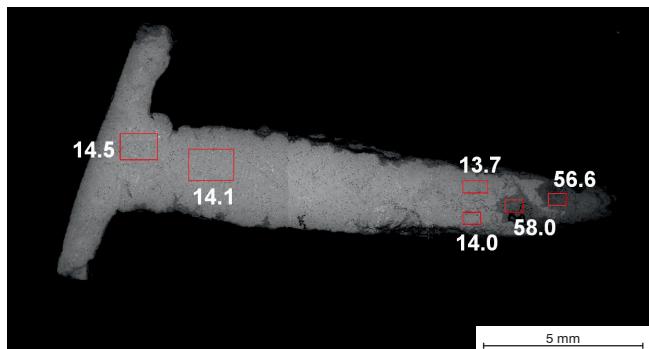
Element / Element	Triangular-headed nail A / Dreieckskopfnagel A	Lamellar Buckel A / Lamellenbuckel A
Cu	74.42	75.29
Sn	24.38	24.04
Pb	0.50	0.13
S	0.23	0.20
Ni	0.06	n.n.
Fe	0.07	0.10
As	n.n.	n.n.
Si	0.23	0.24
P	n.n.	n.n.
Ca	0.12	n.n.

**Table 1:** XRF measurements on the metallographic sections (wt. %).

**Tabelle 1:** RFA Messungen an den metallographischen Schlitften (Gew. %).

**Figure 4:** Sn contents (wt. %) from EDS surface analyses at different locations of the triangular-headed nail.

**Bild 4:** Ergebnisse der Sn-Gehalte (Gew. %) von EDX-Flächenanalysen an verschiedenen Stellen des Dreieckskopfnagels.



content of about 24.4 wt. %. 0.2 wt. %S and 0.5 wt. %Pb were also found. The Sn values are very high and can be explained by the enrichment of Sn during corrosion.

To illustrate the issue, locally measured values of the analysis are compiled in Figure 4. The original bronze alloy probably contained about 14 wt. %Sn.

So far, such triangular-headed nails have only been found in Undingen (Germany) near the famous Heuneburg site [15].

### 3.2 The lamellar “Buckel”

Overall views and SEM images of the lamellar Buckel are assembled in Figure 5.

Lamellar Buckel A has a smooth, grayish surface (Figures 5a–c) which may probably be attributed to thorough cleaning. Lamellar Buckel B has a partially flaked off green patina (Figures 5d–f).

The micro-CT images of both objects show areas of severe corrosion and also cracks, especially in the bends (Figure 6).

belle 1) die einen Sn-Gehalt von etwa 24,4 Gew. % ergab. Auch 0,2 Gew. %S und 0,5 Gew. %Pb wurden gefunden. Die Sn-Werte sind sehr hoch und können auf die Anreicherung von Sn während der Korrosion erklärt werden.

Zur Veranschaulichung der Problematik wurden in (Bild 4) lokal gemessene Analysenwerte zusammengestellt. Die ursprüngliche Bronzelegierung dürfte etwa 14 Gew. %Sn enthalten haben.

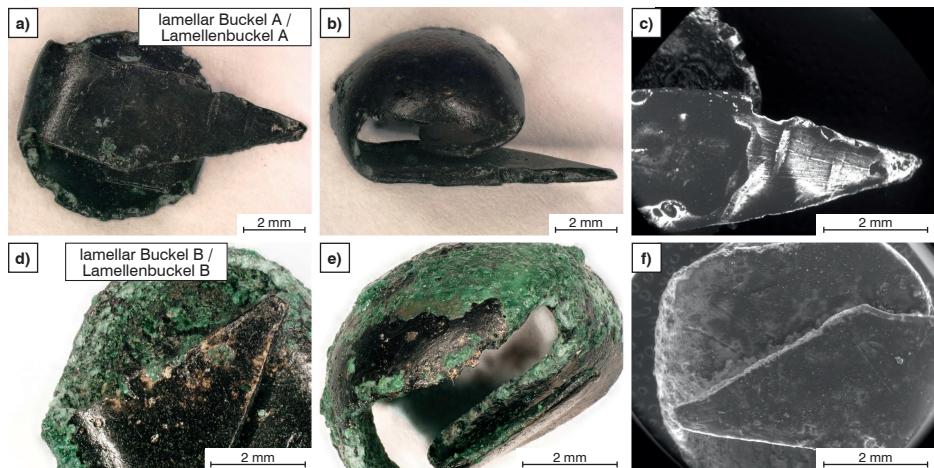
Derartige Dreieckskopfnägel wurden bisher nur noch Undingen (Deutschland) in der Nähe der berühmten Heuneburg gefunden [15].

### 3.2 Der Lamellenbuckel

Gesamtansichten und REM-Aufnahmen der Lamellenbuckel sind in (Bild 5) zusammengefasst.

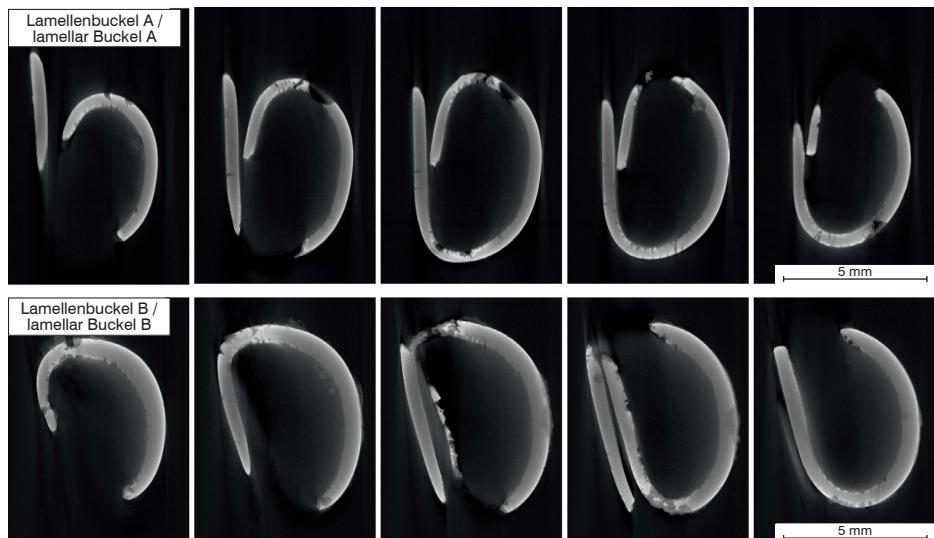
Lamellenbuckel A hat eine glatte, gräuliche Oberfläche (Bild 5a–c), was möglicherweise auf eine gründliche Reinigung zurückzuführen ist. Lamellenbuckel B besitzt eine grüne Patina, die teilweise abgeplatzt ist (Bild 5d–f).

In den mikro-CT Aufnahmen beider Objekte sind vor allem in den Biegungen stärkere Korrosionsbereiche und auch Risse erkennbar (Bild 6).



**Figure 5a to f:** Overall views of the lamellar Buckel: a–c) lamellar Buckel A; d–f) lamellar Buckel B; a, b, d, e) 3D-DM; c, f) REM.

**Bild 5a bis f:** Gesamtansichten der Lamellenbuckel: a–c) Lamellenbuckel A; d–f) Lamellenbuckel B; a, b, d, e) 3D-DM; c, f) REM.



**Figure 6:** Micro-CT of lamellar Buckel A and B.

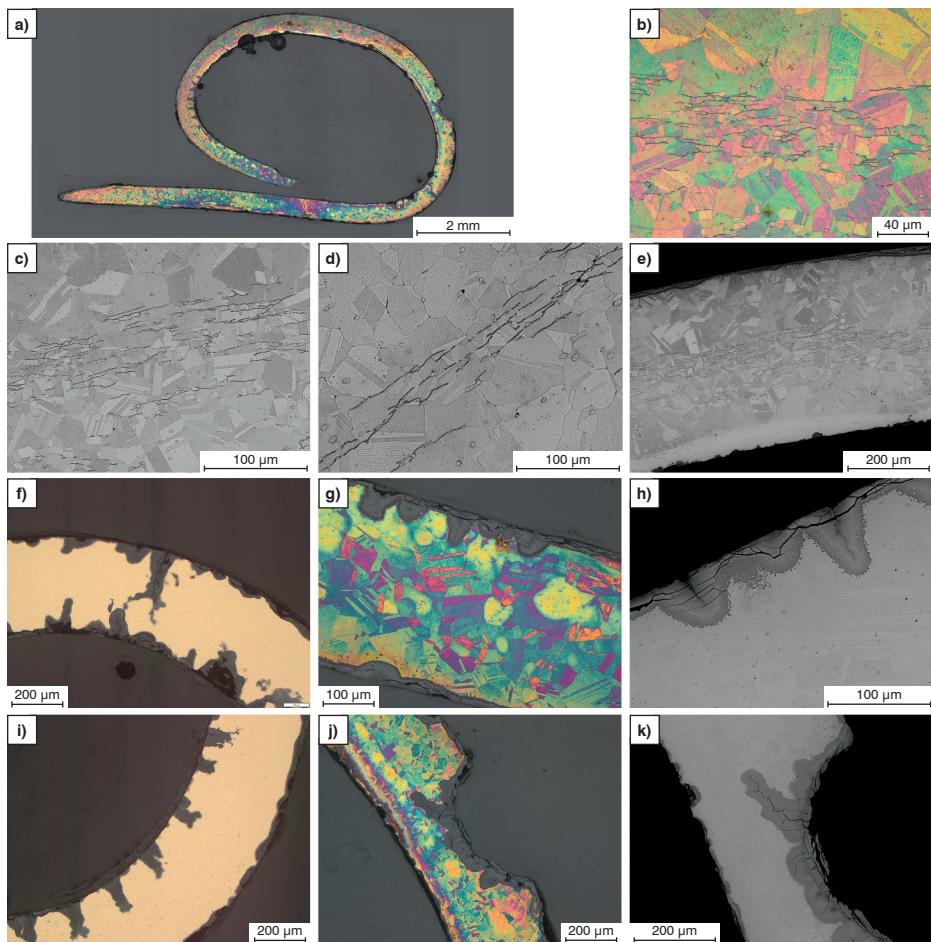
**Bild 6:** Mikro-CT der Lamellenbuckel A und B.

Lamellar Buckel A was subjected to metallographic examinations (Figure 7). Figure 7a is an overview image. It already shows clear signs of corrosion.

The bronze structure has a uniform grain size of up to 100 µm with some deformation twins also present (Figure 7b, c). Some dark

Lamellenbuckel A wurde metallographisch untersucht (Bild 7). Eine Überblicksaufnahme ist in Bild 7a gezeigt, wobei bereits hier deutliche Korrosionserscheinungen zu sehen sind.

Das Bronzegefüge weist eine gleichmäßige Korngröße von bis zu 100 µm auf, wobei auch einige Verformungszwillinge vorliegen (Bild 7b,



**Figure 7a to k:** Metallography of lamellar Buckel A: a, b, g, j) Klemm II etching, LOM; f, i) polished, LOM; c, d, e, h, k) SEM.

**Bild 7a bis k:** Metallographie von Lamellenbuckel A: a, b, g, j) Klemm 2 Ätzung, LOM; f, i) poliert, LOM; c, d, e, h, k) REM.

lines can be seen in the middle of the image (also the middle of the bronze sheet) which, according to EDS analysis, could be  $\text{Cu}_2\text{S}$ . According to the respective surface analysis (Figure 7c), this area contains about 13 wt. %Sn and 2 wt. %S. There is hardly any intermetallic Sn phase  $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$  present.

The values for sulfur correspond approximately to those of the XRF measurement, but the Sn values are clearly too high (Table 1). Increased corrosion can be found at the bends. Cracks probably formed first with corrosion subsequently spreading around the cracks (Figure 7f–i). In one portion of the Buckel, a depression was found (Figures 7j, k) which could also have been a feature of the original aspect.

It can be assumed that the initial sheet used for this lamellar Buckel was manufactured by fine forging. The process caused the sulfides in the center of the sheet to elongate. The sheet was probably subjected to an intermediate annealing step to reduce cold deformation. The twins observed were probably introduced when the lamellar Buckel was eventually attached to a piece of textile. The cracks on the sheet's inside are unusual, as they should have formed on the outside.

## 4 Conclusions

Both bronze objects examined consist of Sn bronze with S and Pb impurities.

The triangular-headed nail contains about 15 wt. %Sn. The dendritic cast structure can be observed. The eutectoid phase  $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$  is evenly distributed in the microstructure, but layers of  $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$  were found in some areas of the surface. In corroded areas of the bronze, Sn contents of more than 55 wt. % were measured, which can be attributed to the enrichment of  $\text{SnO}_2$  during corrosion.

c). In der Bildmitte (auch Mitte des Bronzeblechs) sind einige dunkle Linien zu sehen, bei denen es sich laut EDX-Analyse um  $\text{Cu}_2\text{S}$  handeln könnte. Die Flächenanalyse dieses Bereichs (Bild 7c) ergab etwa 13 Gew. %Sn und 2 Gew. %S. Die intermetallische Sn-Phase  $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$  ist kaum vorhanden.

Die Werte für Schwefel entsprechen etwa jenen der RFA-Messung, aber die Sn Werte sind deutlich zu hoch (Tabelle 1). An den Biegungen wird verstärkt Korrosion festgestellt. Einerseits dürften zuerst Risse entstanden sein, um welche herum sich die Korrosion ausbreitete (Bild 7f–i). An einer Stelle wurde auch eine Mulde gefunden (Bild 7j, k), wobei diese auch bereits zum ursprünglichen Aussehen gehört haben könnte.

Es ist davon auszugehen, dass das Ausgangsblech für diesen Lamellenbuckel durch Feinschmieden hergestellt wurde. Dadurch haben sich die Sulfide im Zentrum des Blechs länglich ausgeformt. Zwischendurch wurde das Blech vermutlich geglüht, um Kaltverformung zu reduzieren. Die beobachteten Zwillinnges sind vermutlich bei der finalen Applikation des Lamellenbuckels auf einem Stück Stoff eingebracht worden. Die Risse an der Innenseite des Blechs sind ungewöhnlich, denn sie sollten eher außen entstehen.

## 4 Schlussfolgerungen

Beide untersuchten Bronzeobjekte bestehen aus Sn-Bronze mit Verunreinigungen an S und Pb.

Der Dreieckskopfnagel enthält etwa 15 Gew. %Sn und es ist die dendritische Gussstruktur zu erkennen. Die eutektoid Phase  $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$  ist gleichmäßig im Gefüge verteilt, jedoch wurden in manchen Bereichen der Oberfläche Schichten aus  $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$  festgestellt. In korrodierten Bereichen der Bronze wurden Sn-Gehalte von über 55 Gew. % gemessen, was auf die Anreicherung von  $\text{SnO}_2$  bei der Korrosion zurückzuführen ist.

The bronze of the examined lamellar Buckel contains about 13 wt. %Sn. Therefore, only very little Cu<sub>41</sub>Sn<sub>11</sub> is present in the microstructure. The microstructure is recrystallized and exhibits only a few twins. This means that heat treatments were also carried out. Elongated Cu<sub>2</sub>S precipitates indicate that the initial sheet used for the lamellar Buckel was manufactured by fine forging. Corrosion predominantly occurred at existing cracks.

The findings show that the casting and processing of small items by fine forging were well established at that time.

## 5 Acknowledgements

We would like to thank Mr. Adrian Wengler (TU Wien) who provided support and assistance with the experiments as part of his bachelor thesis. We would also like to thank Mr. Johannes Zbiral (TU Wien) for the XRF measurements.

The authors would like to thank the TU Wien Library for the financial support through its Open Access Funding Program.

## References / Literatur

- [1] Pertlwieser, M.: Frühhallstattzeitliche Herrschaftsgräber bei Mitterkirchen (Oberösterreich), *Antike Welt* 18 (1987), pp. 48–56.
- [2] Schumann, R.; Leskovar, J.; Marschl, M.: „Corrigenda“ zu den vermeintlichen Kindergräbern mit reicher Ausstattung aus Mitterkirchen. *Archaeologia Austriaca* 99 (2015), pp. 31–52. DOI:10.1553/archaeologia99s31
- [3] Pertlwieser, M.: Frühhallstattzeitliche Wagenbestattungen in Mitterkirchen, in: Prunkwagen und Hügelgrab, Kultur der frühen Eisenzeit von Hallstatt bis Mitterkirchen, Katalog des ÖÖ Landesmuseums, Linz (1987), pp. 55–70.
- [4] Leskovar, J.; Schumann, R.: Das älterhallstattzeitliche Gräberfeld von Mitterkirchen. Ein Beitrag zur frühen Eisenzeit (Ha C) im oberösterreichischen Donauraum. Studien zur Kulturgechichte von Oberösterreich 53 (2023).
- [5] Schumann, R.; Leskovar, J.; Marschl, M.: Neue Forschungen zum hallstattzeitlichen Grabhügelfeld von Mitterkirchen (Oberösterreich), in: F: Nikulka/D. Hofmann/R. Schumann (eds), Menschen – Dinge – Orte. Aktuelle Forschungen des Instituts für Vor- und Frühgeschichtliche Archäologie der Universität Hamburg (2018), pp. 133–140.
- [6] Herrmann, F. R.: Fürstengrabhügel 2 am Glauberg in seinem Umfeld, In: Der Glauberg in Kelischer Zeit. Zum neuesten Stand der Forschung. Fundberichte Hessen, Beiheft 6, Wiesbaden (2008), pp. 89–138.

Die Bronze des untersuchten Lamellenbuckels enthält etwa 13 Gew.-%Sn, wodurch nur sehr wenig Cu<sub>41</sub>Sn<sub>11</sub> im Gefüge vorliegt. Das Gefüge ist rekristallisiert und weist nur wenige Zwillinge auf. Dies bedeutet, dass auch Wärmebehandlungen durchgeführt wurden. Länglich ausgebildete Cu<sub>2</sub>S Ausscheidungen weisen darauf hin, dass das Ausgangsblech für den Lamellenbuckel durch Feinschmieden hergestellt wurde. Korrosion fand vorwiegend an bereits vorhandenen Rissen statt.

Die Ergebnisse zeigen, dass zu dieser Zeit das Gießen von Kleinteilen und die Verarbeitung durch Feinschmieden gut etabliert waren.

## 5 Danksagung

Unser Dank geht an Herrn Adrian Wengler (TU Wien), der uns im Rahmen seiner Bachelorarbeit experimentell unterstützt hat. Ebenfalls danken wir Herrn Johannes Zbiral (TU Wien) für die durchgeführten RFA Messungen.

Die Autoren danken der TU Wien Bibliothek für die finanzielle Unterstützung durch ihr Open-Access-Förderprogramm.

- [7] Tylecote, R. F.: The early history of metallurgy, London–New York (1987).
- [8] Haubner, R.: Die prähistorische Kupfermetallurgie – allgemeine Betrachtungen, BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 166 (2021), pp. 343–351.  
DOI:10.1007/s00501-020-01056-0.
- [9] Haubner, R.; Strobl, S.: Investigations on Copper Cast Cakes, Sickle Fragments and a Spout Axe of the Hoard Find from Drassburg/Burgenland, Metallography, Microstructure, and Analysis 12 (2023), pp. 187–201.  
DOI:10.1007/s13632-023-00936-4
- [10] Haubner, R.: Garment buttons from a Hallstatt period tumulus – Gewandknöpfe aus einem hallstattzeitlichen Hügelgrab. Pract. Metallogr. 60 (2023), pp. 276–288.  
DOI:10.1515/pm-2022-1021
- [11] Haubner, R.; Strobl, S.: Examination of archaeological bronze parts using micro-computed tomography and metallography. Pract. Metallogr. 61 (2024), pp. 216–231.  
DOI:10.1515/pm-2024-1054
- [12] Vander Voort, G. F.: in: Metallography – Principles and Practice. ASM International, 3<sup>rd</sup> printing (2004).  
DOI:10.31399/asm.hb.v09.a0003752
- [13] Haubner, R.; Strobl, S.; Trebsche, P.: Analysis of Urnfield period bronze droplets formed during casting. Materials Science Forum 891 (2017), pp. 41–48.  
DOI:10.4028/www.scientific.net/MSF.891.41
- [14] Haubner, R.: Garment buttons from a Hallstatt period tumulus, Pract. Metallogr. 60 (2023), pp. 276–288.  
DOI:10.1515/pm-2022-1021
- [15] Hansen, L.; Meyer M. G.; Tarpini, R.: Aussergewöhnliche hallstattzeitliche Grabfunde aus Unlingen (Lkr. Biberach). Archäologisches Korrespondenzblatt 48 (2018), pp. 493–521.

## Bibliography

DOI 10.1515/pm-2024-0062  
 Pract. Metallogr. 61 (2024) 9-10; page 630-641  
 © Open Access. © 2024 the author(s),  
 published by De Gruyter.   
 This work is licensed under the Creative  
 Commons Attribution 4.0 International  
 License.  
 ISSN 0032-678X · e-ISSN 2195-8599

### Roland Haubner



is Ao.Univ.Prof. at TU-Wien. His fields of activity till now were industrial tungsten production, CVD (Chemical Vapor Deposition) and the low-pressure diamond deposition. He is also involved in materials characterization, ceramics, corrosion and archaeometallurgy.

### Susanne Strobl



is working as a scientific officer at the Institute of Chemical Technologies and Analytics (TU-Wien) and is teaching supervisor of metallography. She studied chemistry and her doctoral thesis was about sintered steels.