

R. Haubner, S. Strobl

Examination of archaeological bronze parts using micro-computed tomography and metallography

Untersuchung archäologischer Bronzeteile mittels Mikro-Computertomographie und Metallographie

Received: 16.06.2023

Accepted: 03.08.2023

Translation: E. Engert

Eingegangen: 16.06.2023

Angenommen: 03.08.2023

Abstract

Archeological finds, such as old coins among which some show signs of corrosion, are, in general, unique pieces even though several copies exist of individual types. Subferrati, Roman coins with an iron core and a bronze coating, for instance, could be examined by conventional computed tomography (CT). The CT image allows an easy distinction of corrosion products, metallic iron, and the bronze so that appropriate sections could be selected from the images for metallography.

Kurzfassung

Archäologische Fundstücke sind prinzipiell Unikate, auch wenn es von einzelnen Typen mehrere Exponate gibt, so zum Beispiel alte Münzen, welche zum Teil Korrosion aufweisen. Mit konventioneller Computertomographie (CT) konnten so Subferrate untersucht werden, wobei es sich um römische Münzen mit einem Eisenkern und einer Beschichtung aus Bronze handelte. Da die Korrosionsprodukte, das metallische Eisen und die Bronze in den CT-Aufnahmen gut unterscheidbar sind, konnten aus den Bildern geeignete Schnitte für die Metallographie festgelegt werden.

Authors:

Roland Haubner, Susanne Strobl TU Wien, Institute for Chemical Technologies and Analytics, Austria; E-Mail: roland.haubner@tuwien.ac.at

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

The micro-CT technology even allows examining smaller archaeological objects to get an overview. The resolution of the micro-CT is a function of the object size and lies between 5 and 10 μm . The following metallographic examinations are intended to characterize the microstructure. Apart from these examinations, SEM analyses may also be performed on the sections.

Different bronze pieces from cremation and inhumation burials were examined. Micro-CT provides a well recognizable contrast between corrosion products and the metallic bronze.

If several similar objects exist, micro-CT examinations allow a decision to be made on which parts are suitable for metallographic analyses and which are not.

Keywords: *bronze, computed tomography, archaeology*

1 Introduction

Austria is conveniently located in Central Europe in an area of the Alps rich in raw materials and therefore offers numerous archaeological sites – from the Neolithic period to modern times [1].

Metallic finds which may be examined with regard to their composition are of particular interest. They are expected to provide information on raw material sources, metal extraction, and processing [2].

Burial rites changed locally over the years and across different cultures. As the term "Urnfeld period" suggests, cremation burials were customary at the time, rather than inhumation burials. The actual burials were carried out using flat graves, burial mounds, and large tumuli in either single or multiple occupancy [3, 4].

Mittels Mikro-CT können auch kleinere archäologische Objekte untersucht werden, um einen Überblick zu erhalten. Je nach Objektgröße beträgt die Auflösung der Mikro-CT zwischen 5 und 10 μm . Nachfolgende metallographische Untersuchungen dienen zur Gefügecharakterisierung, und es können an den Schlifflinien auch Analysen im REM durchgeführt werden.

Es wurden verschiedene Bronzeteile aus Brand- und Körperbestattungen untersucht. Mithilfe der Mikro-CT ist der Kontrast zwischen Korrosionsprodukten und metallischer Bronze gut zu erkennen.

Liegen mehrere ähnliche Objekte vor, kann mittels Mikro-CT-Untersuchungen entschieden werden, an welchen Teilen metallographische Analysen erfolgen sollen und an welchen nicht.

Schlagwörter: *Bronze, Computertomographie, Archäologie*

1 Einleitung

In Österreich gibt es aufgrund seiner günstigen Lage in Mitteleuropa und im Bereich der rohstoffreichen Alpen sehr viele archäologische Fundplätze, vom Neolithikum bis in die Neuzeit [1].

Besonders interessant sind metallische Fundstücke, die bezüglich ihrer Zusammensetzung untersucht werden können. Davon erwartet man sich Informationen bezüglich der Rohstoffquellen, der Metallgewinnung sowie der Verarbeitung [2].

Bei den unterschiedlichen Kulturen haben sich im Laufe der Zeit und auch lokal die Bestattungsriten geändert. Bereits die Bezeichnung Urnenfelderzeit macht deutlich, dass damals Brandbestattungen üblich waren und keine Körperbestattungen. Die eigentlichen Bestattungen erfolgten in Flachgräbern, Hügelgräbern, Großgrabhügeln, in Einzel- oder Mehrfachbelegung [3, 4].

It is to be noted with respect to the examined bronze objects, that their condition is a function of various parameters, i. e., their production and use, the burial ritual, and their positioning in the grave. They are therefore characterized by differences with regard to their microstructure, scaling, and corrosion [5]. The bronze parts examined by micro-CT come from different sites in Austria.

Mitterkirchen in Upper Austria, a discovery site of early Hallstatt graves of the ruling class, is probably the best-known of them. They represent inhumations associated with numerous burial gifts [6–8].

In Inzersdorf ob der Traisen in Lower Austria, 273 cremation graves were recovered during rescue excavations [3, 9]. Unfortunately, the finds have only partially been studied so far [10]. On account of interesting results during the study of the finds, experimental archaeology tests were started to investigate the impact of cremation conditions [5, 11]. Comparative investigations are underway.

Schandorf in the Burgenland also accounts for a little researched Hallstatt period burial mound [12, 13]. One of the burial mounds was opened in 2021 and the buttons were made available for examinations. More detailed excavation results are not yet available.

The Roman palatial villa in Loig close to Salzburg is renowned for its mosaic and coin finds [14]. Most of the coins are so-called “Subferrati” [15, 16].

2 Experimental procedure

The micro-CT technology even allows examining smaller archaeological objects to get an overview. The resolution of the micro-CT image, the size of the individual pixels, is a function of the object size and lies between 5 and 10 μm . Areas of interest can be

Bezüglich der untersuchten Bronzeobjekte ist anzumerken, dass ihr Zustand von verschiedenen Parametern abhängt, nämlich der Herstellung, der Verwendung, dem Bestattungsritus oder der Lagerung im Grab. Dementsprechend gibt es Unterschiede bezüglich Gefüge, Verzunderung und Korrosion [5]. Die mittels Mikro-CT untersuchten Bronzeteile stammen von verschiedenen Fundstellen in Österreich.

Am bekanntesten ist vermutlich Mitterkirchen in Oberösterreich, wo frühhallstattzeitliche Herrschaftsgräber gefunden wurden. Dabei handelt es sich um Körperbestattungen mit reichhaltigen Grabbeigaben [6–8].

In Inzersdorf ob der Traisen in Niederösterreich wurden im Rahmen von Rettungsgrabungen 273 Brandgräber geborgen [3, 9]. Die Funde sind leider erst teilweise bearbeitet [10]. Aufgrund interessanter Ergebnisse während der Aufarbeitung der Funde wurde mit Versuchen im Rahmen der experimentellen Archäologie begonnen, um den Einfluss der Kremierungsbedingungen zu untersuchen [5, 11]. Vergleichende Untersuchungen sind in Arbeit.

In Schandorf im Burgenland liegt auch ein hallstattzeitliches Hügelgräberfeld, das wenig erforscht ist [12, 13]. Im Jahr 2021 wurde einer der Grabhügel geöffnet und die Knöpfe für Untersuchungen zur Verfügung gestellt. Detaillierte Grabungsergebnisse liegen noch nicht vor.

Die römische Palastvilla von Loig in Salzburg ist bekannt für ihre Mosaik- und Münzfunde [14]. Ein Großteil der Münzen bestand aus sogenannten Subferraten [15, 16].

2 Experimentelles

Mittels Mikro-CT können auch kleinere archäologische Objekte untersucht werden, um einen Überblick zu erhalten. Je nach Objektgröße beträgt die Auflösung der Mikro-CT zwischen 5 und 10 μm . Als Auflösung wird die Größe der einzelnen Pixel bezeichnet. Bei

specifically examined in the course of subsequent metallographic examinations. Object images were also acquired using a 3D digital microscope (3D-DM).

First, the sample is vacuum cold mounted in epoxy resin. In case of smaller samples, material is gradually removed. They are subsequently polished and documented. Larger samples may be cut in half using a thin cutting wheel to directly examine the center of the sample. Here again, the samples are cold embedded.

The gross removal was carried out using SiC grinding papers. The sample was subsequently gradually ground and polished down to 1 µm diamond grit. Unetched and etched [17] samples were examined using a light optical microscope (LOM) and a scanning electron microscope (SEM).

3 Results and discussion

The following presents some of the archaeological samples. The respective preliminary examinations were based on CT.

3.1 Subferrati

Subferrati are Roman coins made up of an iron core and a non-ferrous metal coating. Since little was known about the setup of the coins and the composition of the individual constituents, rather unsightly coins were provided for examination [18]. For the examination of these coins, conventional CT was used at a resolution of approx. 100 µm [19]. Figures 1a and 1b show one of the coins. Longitudinal CT slices taken from near the surfaces of the coin and in the center (Figure 1c, d, e) reveal distinct differences in contrast between metallic iron, corroded iron, and the copper alloy.

Figures 1f and 1g show CT cross sections where the darker streaks in the iron core are

nachfolgenden metallographischen Untersuchungen können interessante Bereiche gezielt untersucht werden. Bilder der Objekte wurden auch mittels 3D-Digitalmikroskop (3D-DM) aufgenommen.

Als erster Schritt erfolgt eine Vakuum-Kalteinbettung mit Epoxidharz. Bei sehr kleinen Proben wird schrittweise abgetragen, poliert und dokumentiert. Größere Proben können mit einer dünnen Trennscheibe halbiert werden, so dass gleich das Zentrum der Probe untersucht werden kann. Diese Proben werden abermals kalt eingebettet.

Der grobe Abtrag erfolgte mit SiC-Schleifpapieren und danach wurde stufenweise bis 1 µm Diamant geschliffen bzw. poliert. Ungeätzte und geätzte [17] Proben wurden mittels Lichtmikroskop (LOM) und Rasterelektronenmikroskop (REM) untersucht.

3 Ergebnisse und Diskussion

Nachfolgend einige von uns untersuchte archäologische Proben, bei denen CT zur Voruntersuchungen eingesetzt wurde.

3.1 Subferrati

Subferrati sind Römische Münzen, die aus einem Eisenkern mit einer Buntmetallbeschichtung bestehen. Da über den Aufbau der Münzen und die Zusammensetzungen der einzelnen Bestandteile nur wenig bekannt war, wurden eher unansehnliche Münzen für Untersuchungen zur Verfügung gestellt [18]. Bei diesen Proben wurde mittels konventioneller CT gearbeitet und eine Auflösung von etwa 100 µm erreicht [19]. Eine der Münzen ist in Bild 1a und 1b zu sehen. CT Längsschnitte nahe den Münzoberflächen und im Zentrum (Bild 1c, d, e) zeigen deutliche Kontrastunterschiede zwischen metallischem Eisen, korrodiertem Eisen und der Kupferlegierung.

In den Bildern 1f und 1g sind CT-Querschnitte zu sehen, wobei die dunkleren Schlieren im Ei-

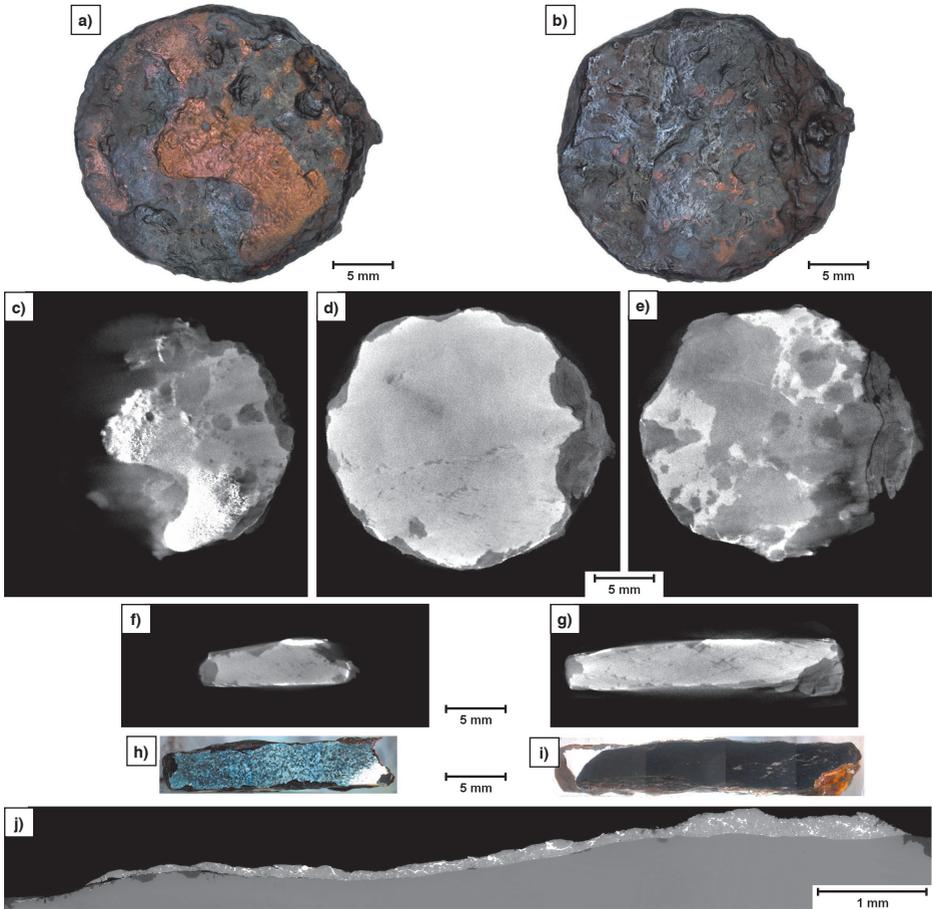


Figure 1a to j: Coin from Loig. a) Front side, b) rear side, c) CT slice near the front side d) CT slice in the middle of the coin, e) CT slice near the rear side, f, g) CT cross sections, h) (metallographic) section after Klemm etching, i) (metallographic) section without etching, j) SEM-BSE panoramic image of the coating on the iron core.

Bild 1a bis j: Münze aus Loig. a) Vorderseite, b) Rückseite, c) CT-Schnitt nahe der Vorderseite d) CT Schnitt in der Mitte der Münze, e) CT Schnitt nahe der Rückseite, f, g) CT Querschnitte, h) Schliff nach Klemm-Ätzung, i) Schliff ohne Ätzung, j) REM-BSE Panoramaaufnahme der Beschichtung auf dem Eisenkern.

indicative of slags. Such slag inclusions can also be observed in the metallographic section (Figure 1i). Apart from that, the etching of a cross section (Figure 1h) reveals a very uniform iron microstructure. The panoramic SEM-BSE image is characterized by bright-

senkern auf Schlacken hindeuten. Derartige Schlackeneinschlüsse sind auch im metallographischen Schliff (Bild 1i) zu sehen. Die Ätzung eines Querschnitts (Bild 1h) zeigt ansonsten ein sehr gleichmäßiges Eisengefüge. In der Panoramaaufnahme mittels REM-BSE erkennt man,

er areas in the copper coating which can be attributed to lead inclusions. Detailed descriptions of the microstructure have already been published [18, 19].

3.2 Bronze buttons

Two bronze shank buttons from a burial mound in Schandorf were subjected to examinations (Figures 2 and 3) aiming at clarifying their manufacture (Figures 2a, b and 3a, b). No solder joints can be observed in the CT slices (Figures 2c and 3c). The different contrasts can be attributed to different phases which were determined by metallography (Figures 2d, e and 3d, e). No metallic copper was found in the button shown in Figure 2 but oxidation products such as Cu_2O and malachite. However, metallic bronze was detected in the second button (Figure 3d).

dass in der Kupferbeschichtung auch helle Bereiche enthalten sind, welche auf Bleieinschlüsse zurückgeführt werden können. Detailliertere Gefügebeschreibungen wurden bereits publiziert [18, 19].

3.2 Bronzeknöpfe

Es wurden 2 Bronzeknöpfe aus einem Grabhügel aus Schandorf untersucht (Bild 2 und 3). Es handelt sich dabei um Ösenknöpfe (Bild 2a, b und 3a, b), bei denen die Herstellung geklärt werden sollte. An den CT-Schnitten (Bild 2c und 3c) sind keine Lötstellen zu sehen und die unterschiedlichen Kontraste sind auf unterschiedliche Phasen zurückzuführen, welche mittels Metallographie bestimmt wurden (Bild 2d, e und 3d, e). Bei dem Knopf in Bild 2 wurde kein metallisches Kupfer gefunden, sondern Oxidationsprodukte wie Cu_2O und Malachit. Hingegen konnte bei dem zweiten Knopf (Bild 3d) metallische Bronze nachgewiesen werden.

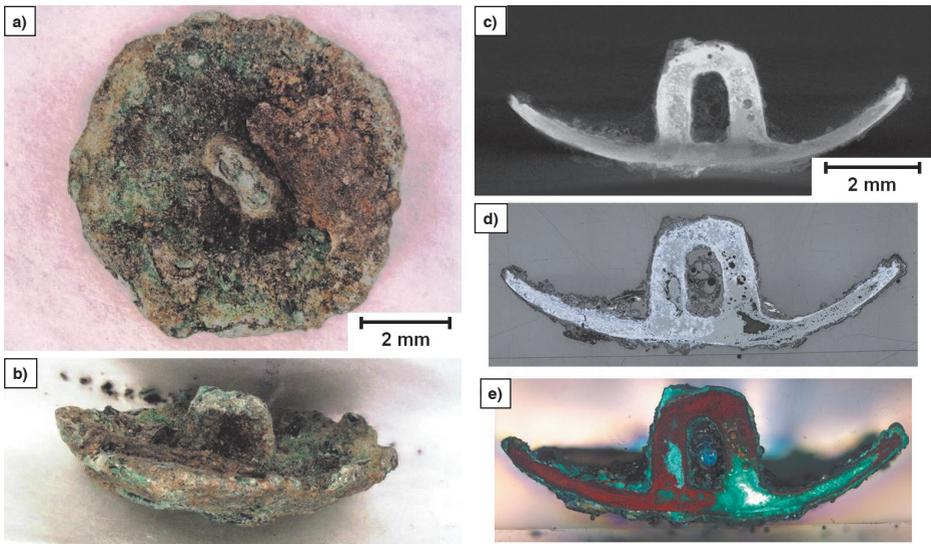


Figure 2a to e: Bronze button 1 from Schandorf. a, b) Overall view in the 3D-DM, c) CT slice (resolution 5 μm), d) LOM bright field, e) LOM polarized light.

Bild 2a bis e: Bronzeknopf 1 aus Schandorf. a, b) Gesamtansicht im 3D-DM, c) CT-Schnitt (5 μm Auflösung), d) LOM Hellfeld, e) LOM polarisiertes Licht.

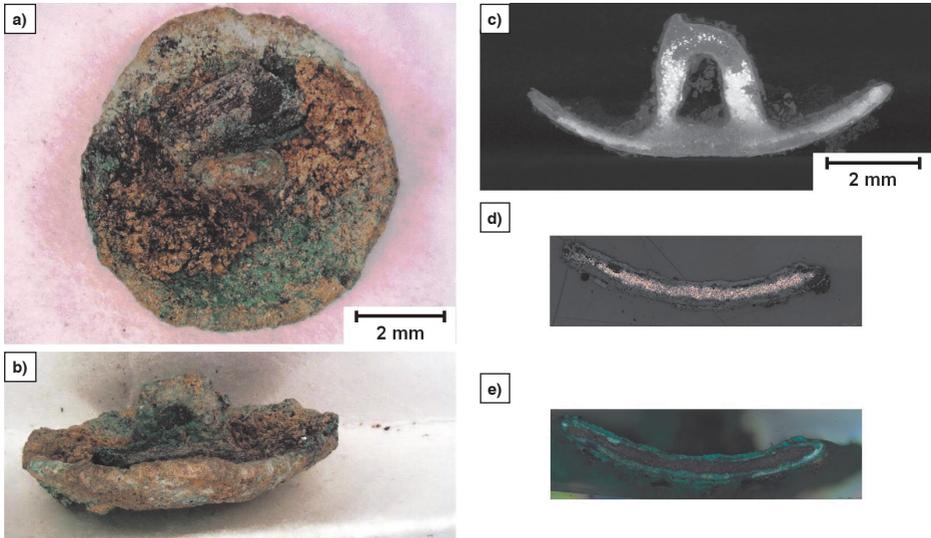


Figure 3a to e: Bronze button 2 from Schandorf. a, b) Overall view in the 3D-DM, c) CT slice (resolution 5 µm), d) LOM bright field, e) LOM polarized light.

Bild 3a bis e: Bronzeknopf 2 aus Schandorf. a, b) Gesamtansicht im 3D-DM, c) CT-Schnitt (5 µm Auflösung), d) LOM Hellfeld, e) LOM polarisiertes Licht.

The present findings are interpreted to mean that the cast buttons were subjected to a greater or lesser degree of scaling during the cremation burial which, in turn, led to the formation of the Cu_2O . Humidity in the burial mound led to aqueous corrosion. The metallic bronze still present thus corroded and led to the formation of the malachite [20].

Another bronze button originates from a cremation burial site in Inzersdorf ob der Traisen (Figures 4a–c). Shank areas appear brighter in the CT slices (Figures 4d, e) – an indication for a smaller amount of corrosion products. Here again, there was no evidence of a solder joint. The metallographic sections confirm that the shank parts are largely composed of metallic bronze, whereas the top of the button is affected by corrosion (Figures 4f, g). In the case of this button originating from a cremation burial site, scaling preferably occurred at the grain

Die vorliegenden Ergebnisse werden so interpretiert, dass die gegossenen Knöpfe während der Brandbestattung mehr oder weniger verzunderten und so das Cu_2O entstand. Durch vorhandene Feuchtigkeit im Grabhügel erfolgte wässrige Korrosion, wodurch noch vorhandene metallische Bronze korrodierte und so der Malachit gebildet wurde [20].

Ein weiterer Bronzeknopf stammt aus einer Brandbestattung aus Inzersdorf ob der Traisen (Bild 4a–c). In den CT-Schnitten (Bild 4d, e) erscheinen Bereiche der Ösen heller, was bedeutet, dass dort weniger Korrosionsprodukte vorliegen sollten. Auch hier wurden keine Hinweise auf eine Lötung beobachtet. Die metallographischen Schriffe bestätigen, dass die Ösenteile weitgehend aus metallischer Bronze bestehen, während das Knopfblatt hingegen Korrosion aufweist (Bild 4f, g). Bei diesem Knopf erfolgte die Verzunderung bevorzugt an den beim Guss entstandenen

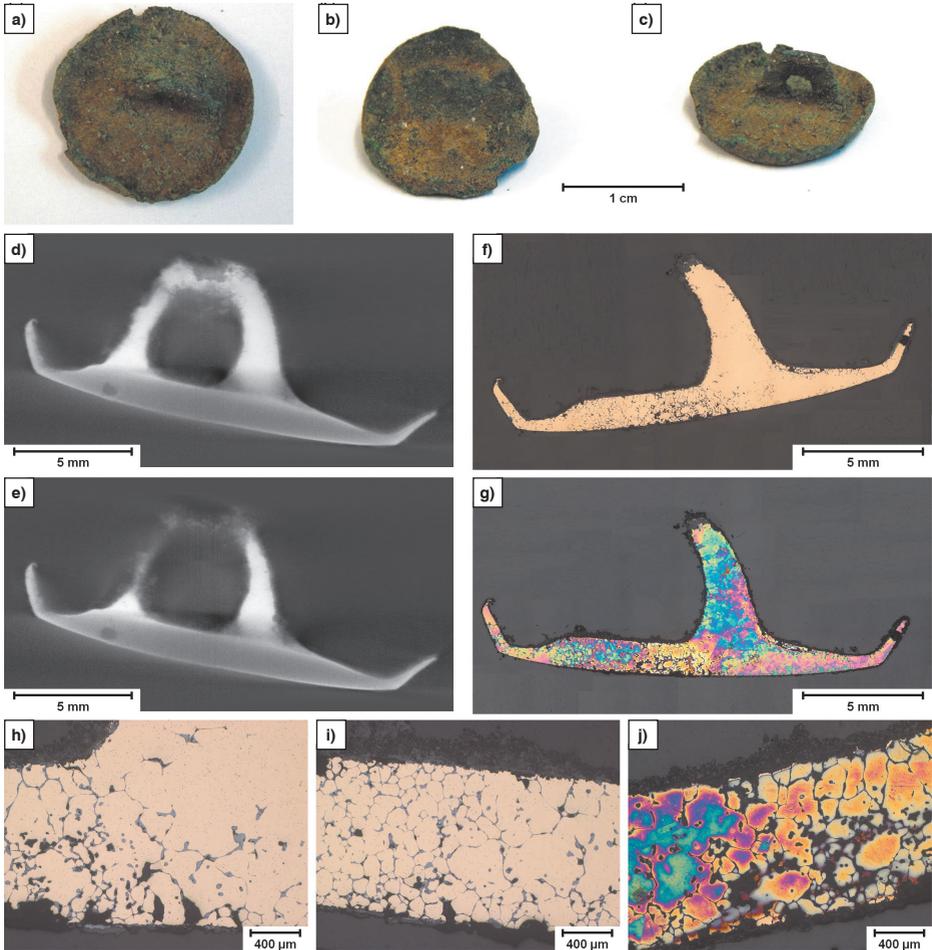


Figure 4a to j: Bronze button from Inzersdorf ob der Traisen. a–c) Overall view in the 3D-DM, d, e) CT slices (resolution 7.5 µm), f, h, i, j) LOM bright field, j) Klemm II etching.

Bild 4a bis j: Bronzeknopf aus Inzersdorf ob der Traisen. a–c) Gesamtansicht im 3D-DM, d, e) CT-Schnitte (7,5 µm Auflösung), f, h, i, j) LOM Hellfeld, j) Klemm 2 Ätzung.

boundaries that formed during casting (Figures 4 h, i). Some larger pores may have formed by partial melting of the bronze during the cremation (Figure 4j). Since only few malachite was detected in the button, the burial environment probably remained dry over the millennia.

Korngrenzen (Bild 4h, i). Es handelte sich um eine Brandbestattung, und einige größere Poren könnten durch partielles Aufschmelzen der Bronze während der Kremierung entstanden sein (Bild 4j). Da an diesem Knopf nur wenig Malachit nachgewiesen wurde, dürfte diese Bestattungsumgebung über die Jahrtausende hinweg trocken geblieben sein.

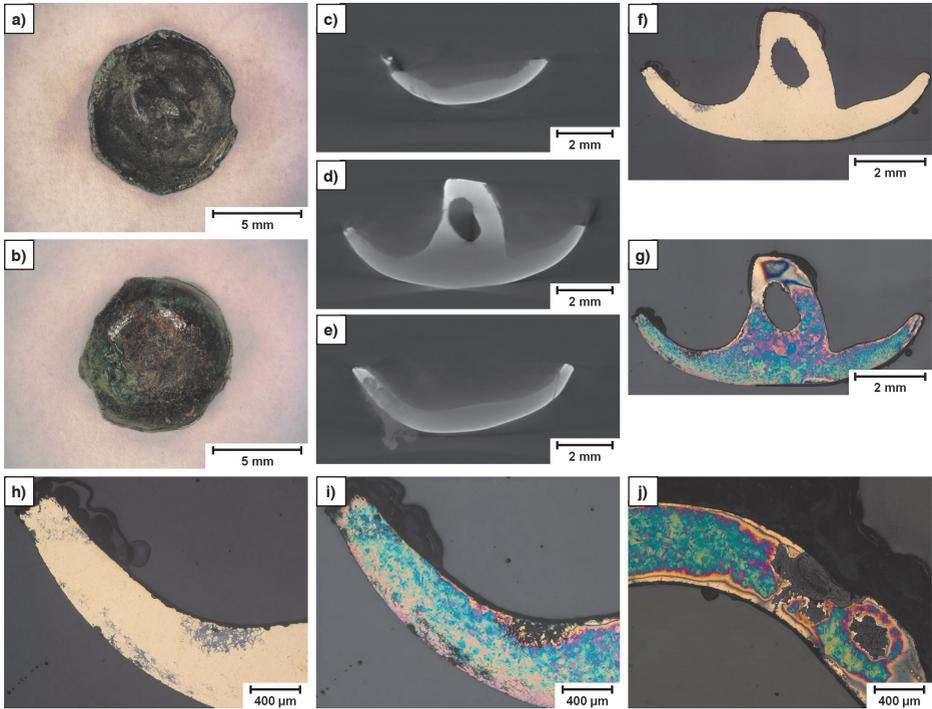


Figure 5a to j: Bronze button from Mitterkirchen. a, b) Overall view in the 3D-DM, c–e) CT slices (resolution 10 µm), f–j) LOM bright field, g, i, j) LOM after Klemm II etching.

Bild 5a bis j: Bronzeknopf aus Mitterkirchen. a, b) Gesamtansicht im 3D-DM, c–e) CT-Schnitte (10 µm Auflösung), f–j) LOM Hellfeld, g, i, j) LOM nach Ätzung mit Klemm 2 Lösung.

The button from Mitterkirchen originates from an inhumation burial site (Figures 5a, b). Apart from some dark stains on the surface, the CT slices (Figures 5c–e) show a rather uniform appearance. The metallographic overview image (Figure 5f, g) shows a very uniform metallic microstructure. Dark stains and stripes in the edge areas represent corrosion products (Figure 5h). The etched sample shows a uniform metallic microstructure (Figure 5i). Apart from that, some isolated larger holes can be observed (Figure 5j). They might be casting defects or may have formed by corrosion. Here again, the button does not show any indications of a soldered shank.

Der Knopf aus Mitterkirchen stammt aus einer Körperbestattung (Bild 5a, b). Die CT-Schnitte (Bild 5c–e) zeigen, bis auf einige dunkel Flecken an der Oberfläche, ein eher einheitliches Erscheinungsbild. In den metallographischen Übersichtsaufnahmen (Bild 5f, g) sieht man ein sehr einheitliches metallisches Gefüge. Dunkle Flecken und Streifen in den Randbereichen sind Korrosionsprodukte (Bild 5h). An der geätzten Probe sieht man ein gleichmäßiges metallisches Gefüge (Bild 5i). Vereinzelt sind auch größere Löcher zu finden (Bild 5j), welche entweder Gussfehler sein könnten oder durch Korrosion entstanden sind. Auch bei diesem Knopf gibt es keine Hinweise, dass die Öse angelötet wurde.

3.3 Small bronze parts

Two curved bronze sheets originate from Inzersdorf ob der Traisen. They are referred to as "Buckelchen" (which roughly translates to "little hump"). One of the objects is a single piece (Figures 6a, b), whereas the second one is composed of two joined pieces of sheet metal (Figure 7a). They were presumably stitched onto textiles for decorative purposes and cremated together with the body [21]. The field of experimental archaeology also comprises the reproduction of cremations to examine the microstructural changes. Examinations have shown that the bronze may also partially melt as a function of the temperature profile [5].

3.3 Bronzene Kleinteile

Aus Inzersdorf ob der Traisen stammen gewölbte Bronzebleche, die als „Buckelchen“ bezeichnet werden. Eines der Stücke ist ein Einzelteil (Bild 6a, b). Das Zweite besteht aus zwei verbundenen Blechstücken (Bild 7a). Diese Stücke waren vermutlich als Dekoration auf Textilien aufgenäht und wurden gemeinsam mit dem Leichnam kremiert [21]. Im Rahmen der experimentellen Archäologie wurden auch Kremierungen nachgestellt, um die Gefügeänderungen der Bronze untersuchen zu können. Untersuchungen zeigten, dass, je nach Temperaturverlauf, die Bronze auch partiell aufschmelzen kann [5]. Die hier gezeigten

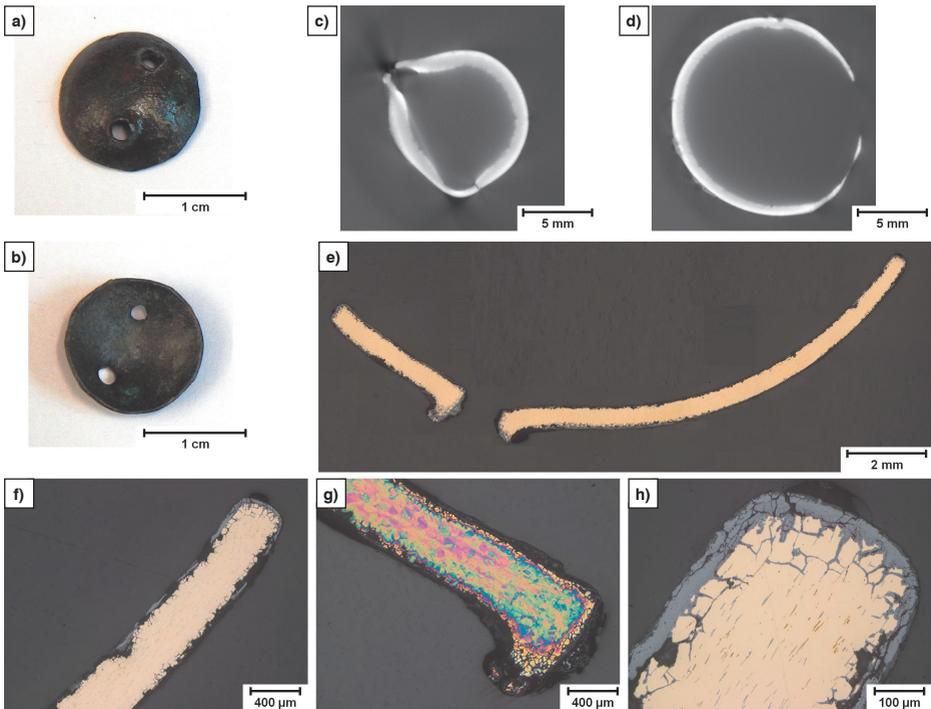


Figure 6a to h: Bronze "Buckelchen" from Inzersdorf ob der Traisen. a, b) Overall view in the 3D-DM, c, d) CT slices (resolution 6 µm), e) LOM overview image, f-h) LOM, (g) Klemm II etching.

Bild 6a bis h: „Buckelchen“ aus Bronze aus Inzersdorf ob der Traisen. a, b) Gesamtansicht im 3D-DM, c, d) CT-Schnitte (6 µm Auflösung), e) LOM-Übersichtsbild, f-h) LOM, (g) Klemm 2 Ätzung.

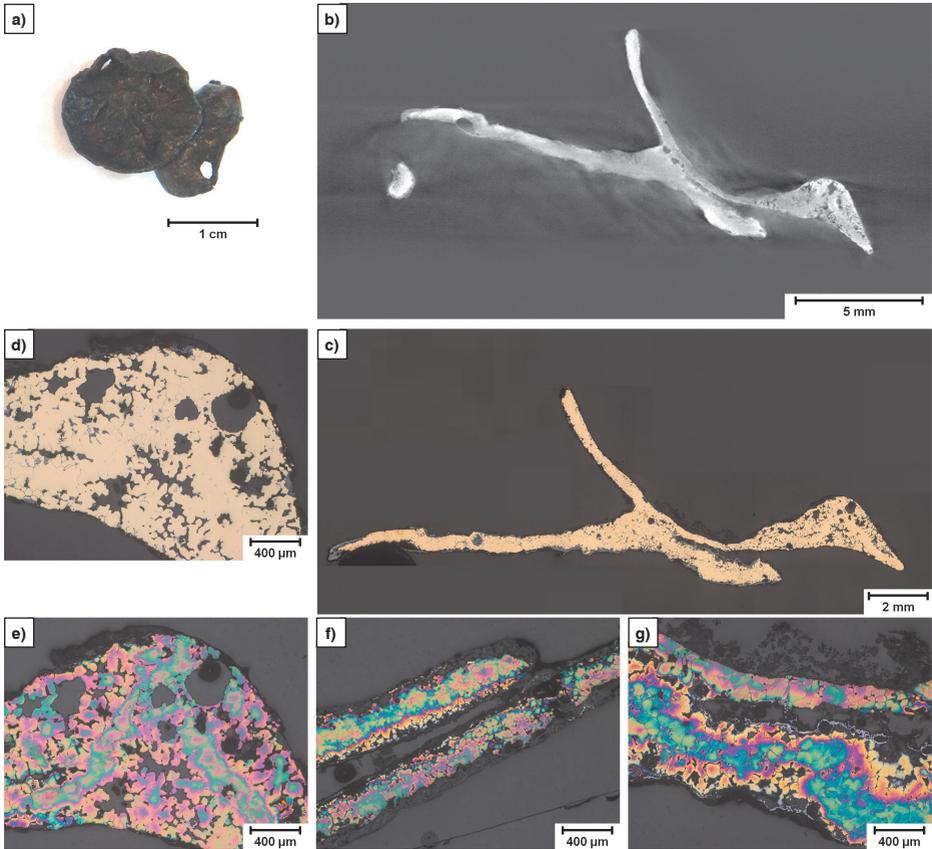


Figure 7: Bronze “Buckelchen”, grown together, from Inzersdorf ob der Traisen. a) Overall view in the 3D-DM, b) CT slice (resolution 7.7 µm), d–g) LOM bright field, c) LOM overview image, e–g) Klemm II etching.

Bild 7: Verwachsene „Buckelchen“ aus Bronze aus Inzersdorf ob der Traisen. a) Gesamtansicht im 3D-DM, b) CT-Schnitt (7,7 µm Auflösung), d–g) LOM Hellfeld, c) LOM-Übersichtsbild, e–g) Ätzung mit Klemm 2.

The findings presented here are based on observations made of old “Buckelchen” from the cremation burial field.

In the CT image, the single piece “Buckelchen” is uniformly built (Figures 6c, d). Figure 6c shows the two holes used to attach it to the textile. The deformation reveals that these holes were punched from the in-

Resultate stammen von alten „Buckelchen“ aus dem Brandgräberfeld.

Das einzelne „Buckelchen“ zeigt in der CT einen gleichmäßigen Aufbau (Bild 6c, d). In Bild 6c sind die beiden Löcher zu sehen, die zur Befestigung am Textil dienten. Anhand der Verformung ist erkennbar, dass diese Löcher

side to the outside. This is also well recognizable in the metallographic overview image (Figure 6e) and in Figure 6g. The core of the sheet is largely metallic with an oxidation zone on the outside (Figures 6f–h) comprising a compact oxide layer (thickness: approx. 30 µm) and another zone underneath in which the grain boundaries oxidized (thickness: approx. 30 µm) (Figure 6h). Gray elongated precipitations, copper sulfide as identified by SEM-EDS BSE analyses, can also be observed. It can thus be deduced that the bronze was produced with not very clean copper and that the “Buckelchen” formed by deformation. During cremation, the temperature had a moderate impact so that only scaling occurred.

In the case of the double “Buckelchen” (Figure 7a), temperatures were obviously sufficiently high for a melt to form and the parts joined. The CT slice shown in Figure 7b clearly shows holes in the metal. The respective metallographic overview image confirms that cavities occur in the entire metallic area (Figure 7c). The shape of the cavities suggests that they are shrinkage cavities which formed when the molten bronze cooled down (Figure 7d, e). Sometimes, oxide layers, which can be attributed to scaling, and shrinkage cavities can be observed at the same time (Figure 7f, g). The cremation temperature was obviously high enough to form a melt. However, the already existing oxide layer prevented the melt from contracting to a form a sphere.

A round decorative claw rivet from Mitterkirchen (Figures 8a, b) was also subjected to examination. It consists of a curved sheet metal with two claws extending therefrom. The claws were bent upon applying it to a textile or leather to secure it in place. The CT slices therefore show more or less closed oval loops (Figures 8c–e). The CT slices already reveal small holes and depressions on the sheet's surfaces which can, however,

von innen Richtung außen gestanzt wurden. Dies ist auch in der metallographischen Übersichtsaufnahme (Bild 6e) und Bild 6g gut zu sehen. Der Kern des Blechs ist weitgehend metallisch und außen ist eine Oxidationszone (Bild 6f–h). Außen befindet sich eine etwa 30 µm dicke, kompakte Oxidschicht und darunter eine ebenfalls etwa 30 µm dicke Zone in der die Korngrenzen oxidiert sind (Bild 6h). Im Gefüge sind auch längliche graue Ausscheidungen zu sehen, die mittels REM-EDX als Kupfersulfid identifiziert wurden. Daraus lässt sich ableiten, dass die Bronze aus nicht sehr sauberem Kupfer hergestellt wurde und die „Buckelchen“ durch Verformung entstanden sind. Die Temperatureinwirkung während der Kremierung war mäßig, so dass nur eine Verzunderung stattfand.

Bei dem doppelten „Buckelchen“ (Bild 7a) waren die Temperaturen anscheinend so hoch, dass Schmelze entstand und die Teile verbunden wurden. Im in Bild 7b gezeigten CT Schnitt sind deutlich Löcher im Metall erkennbar. Die dazu passende metallographische Übersichtsaufnahme bestätigt, dass im gesamten metallischen Bereich Hohlräume auftreten (Bild 7c). Die Form der Hohlräume lässt vermuten, dass es sich um Luncker handelt, die während der Abkühlung der geschmolzenen Bronze entstanden sind (Bild 7d, e). Teilweise sind Oxidschichten aufgrund der Verzunderung und gleichzeitig Luncker zu erkennen (Bild 7f, g). Die Temperatur während der Kremierung war anscheinend so hoch, dass Schmelze entstand, jedoch verhinderte die bereits gebildete Oxidschicht, dass die Schmelze sich zu einer Kugel zusammenziehen konnte.

Es wurde auch noch eine runde Zierniete mit Krallen aus Mitterkirchen untersucht (Bild 8a, b). Sie besteht aus einem gewölbtem Blech von dem aus 2 Krallen ausgehen. Die Krallen wurden bei der Montage auf Stoff oder Leder für die Fixierung umgebogen. In den CT Schnitten sind daher mehr oder weniger geschlossene, ovale Schleifen zu sehen (Bild 8c–e). Bereits in den CT Schnitten, aber auch in den metallographischen Bildern, sind kleine Löcher und

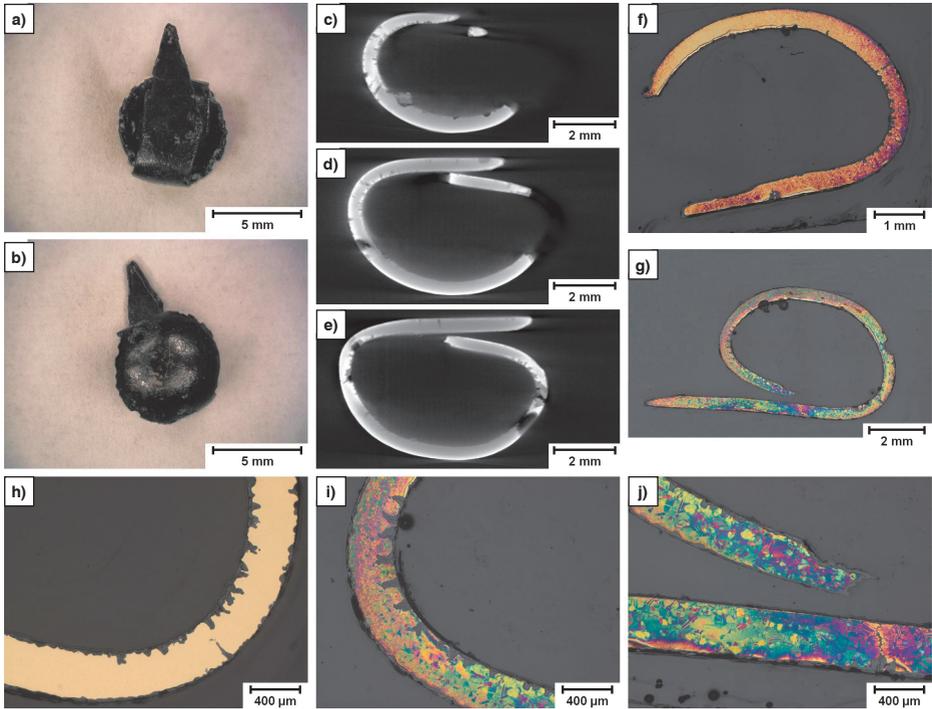


Figure 8: Decorative round bronze claw rivets from Mitterkirchen. a, b) Overall view in the 3D-DM, c–e) CT slices (resolution 10 µm), f–j) LOM bright field, g, i, j) LOM after Klemm II etching.

Bild 8: Bronzene, runde Zierniete mit Krallen aus Mitterkirchen. a, b) Gesamtansicht im 3D-DM, c–e) CT-Schnitte (10 µm Auflösung), f–j) LOM Hellfeld, g, i, j) LOM nach Klemm 2 Ätzung.

also be observed in the metallographic images. They can clearly be recognized in the metallographic overview images (Figures 8f, g). Higher magnifications reveal corroded cracks (Figures 8h, i). The metallic microstructure is very uniform (Figure 8j). Since this piece is taken from an inhumation burial site, no heat treatment effects can be observed, neither could any signs of deformation be detected which should have formed upon bending the claws.

4 Conclusions

Micro-CT achieves a resolution of between 5 and 10 µm as a function of the object size.

Mulden an den Blechoberflächen erkennbar. Deutlich sieht man dies bei den metallographischen Übersichtsbildern (Bild 8f, g). Bei höheren Vergrößerungen sind korrodierte Risse zu sehen (Bild 8h, i). Das metallische Gefüge ist sehr gleichmäßig (Bild 8j). Da dieses Stück aus einer Körperbestattung stammt, sind keine Wärmebehandlungseffekte feststellbar. Es wurden aber auch keine Hinweise auf Verformung festgestellt, die beim Umbiegen der Krallen entstanden sein sollte.

4 Schlussfolgerungen

Mittels Mikro-CT können, je nach Objektgröße, Auflösungen zwischen 5 und 10 µm erreicht werden.

This method is thus suited to carry out non-destructive preliminary tests on small archaeological objects. Based on the CT results, a decision can be made on which objects are most suitable for a metallographic preparation. Some archaeological samples were subjected to CT as well as to metallographic examinations.

Various bronze buttons from cremation and inhumation burial sites were examined, where the metallic phase could be distinguished from scale and corrosion products. In the case of the so-called „Buckelchen“, the CT images already revealed whether the temperatures during the cremation were sufficiently high to melt the bronze.

In the case of the subferrati coins, CT allowed for the localization of the metallic iron and the corrosion products, but also the bronze coating.

More detailed microstructural examinations were performed by metallography.

5 Acknowledgement

We would like to thank the following persons which made available the samples: Dr. Ursula Pintz from the Austrian Academy of Sciences, Dr. Jutta Leskovar of the Upper Austrian State Museum in Leonding, Mrs. Mag. Michaela Fritzl from the Austrian Academy of Sciences, and Dr. Hannes Herdits of the Burgenland State Museum in Eisenstadt.

We would also like to extend our thanks to the students of the TU Wien which assisted with the sample preparation during their internships.

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

Damit ist diese Methode geeignet, um zerstörungsfreie Vorversuche an kleinen archäologischen Objekten vorzunehmen. Durch die CT-Ergebnisse kann entschieden werden, welchen Objekte für die metallographische Präparation am geeignetsten sind. An einigen archäologischen Proben wurden sowohl CT als auch metallographische Untersuchungen durchgeführt.

Es wurden verschiedene Bronzeknöpfe aus Brand- und Körperbestattungen untersucht und es war möglich die metallische Phase von Zunder beziehungsweise Korrosionsprodukten zu unterscheiden. Bei sogenannten „Buckelchen“ war es bereits aus den CT-Bildern ersichtlich, ob die Temperaturen während der Kremierung zum Aufschmelzen der Bronze geführt haben.

Bei den Subferrati-Münzen war es mittels CT möglich, das metallische Eisen und die Korrosionsprodukte, aber auch die Bronzebeschichtung zu lokalisieren.

Detailliertere Gefügeuntersuchungen erfolgten danach mittels Metallographie.

5 Danksagung

Unser Dank gilt folgenden Personen welche die Proben zur Verfügung gestellt haben. Frau Dr. Ursula Pintz von der Österreichische Akademie der Wissenschaften (OeAW), Frau Dr. Jutta Leskovar vom Oberösterreichischen Landesmuseum in Leonding, Frau Mag. Michaela Fritzl von der Österreichische Akademie der Wissenschaften (OeAW) sowie Herrn Dr. Hannes Herdits von den Burgenländischen Landesmuseen in Eisenstadt.

Des Weiteren möchten wir den Studierenden der TU Wien danken, die im Rahmen von Praktika bei der Probenpräparation mitgeholfen haben.

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

References / Literatur

- [1] Urban, O. H.: Österreichische Geschichte bis 15. v. Chr. – Der lange Weg zur Geschichte: die Urgeschichte Österreichs. Verlag Ueberreuter, Wien (2000).
- [2] Haubner, R.: Die prähistorische Kupfermetallurgie – allgemeine Betrachtungen, BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 166 (2021), pp. 343–351.
DOI:10.1007/s00501-020-01056-0.
- [3] Lochner, M.: Brandbestattung und Bronzemetallurgie – Die Urnenfelderkultur in Niederösterreich (1300–800 v. Chr.), Archäologie Niederösterreichs, 5 (2021).
- [4] Trebsche, P.: Keltische Münzstätten und Heiligtümer – Die jüngere Eisenzeit im Osten Österreichs (ca. 450 bis 15 v. Chr.), Archäologie Niederösterreichs, 2 (2020).
DOI:10.1553/0x003be0ee
- [5] Haubner, R.; Strobl, S.; Fritzl, M.; Konrad, M.: Gefügeveränderungen an Bronzeteilen während experimenteller archäologischer Kremierungen, BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte (2021) in Druck.
- [6] Pertlwieser, M.: Frühhallstattzeitliche Herrschaftsgräber bei Mitterkirchen (Oberösterreich), Antike Welt, 18 (1987), pp. 48–56.
- [7] 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
- [8] Leskovar, J.: Drei Wagengräber im hallstattzeitlichen Gräberfeld von Mitterkirchen, Oberösterreich, Diplomarbeit, Universität Wien, (1998).
- [9] Neugebauer, J.-W.: Bronzezeit in Ostösterreich. Wissenschaftliche Schriftenreihe Niederösterreich, Verlag Österreichisches Pressehaus (1994).
- [10] Fritzl, M.: Die mehrfach belegten Gräber des urnenfelderzeitlichen Gräberfeldes von Inzersdorf ob der Traisen, Niederösterreich. MA Thesis, University of Vienna (2017).
- [11] Grömer, K.: Wieviel Textil bleibt übrig bei einer Brandbestattung? Experimentelle Kremationen Inzi 18 und Inzi 19, Experimentelle Archäologie in Europa 19 – Jahrbuch 2020, Heft 19 (2020), pp. 68–81.
- [12] Steiner, J.: Norisch-pannonische Grabhügel im Burgenland, Zeitschrift des Burgenländischen Volksbildungswerkes (2007), pp. 12–15.
- [13] Gleirscher, P.: Hügelgräber und Herrschaftsgebiete im Ostalpenraum, Arheoloski vestnik (Arh. vest.) 56 (2005), pp. 99–122.
- [14] Gruber, C.; Pintz, U.: Die römische Palastvilla von Loig – Gesamtdarstellung, Funde und Befunde, Verlag Habelt (2022).
- [15] Pintz, U.: Die Fundmünzen der Villa Loig – Ein Werkstattbericht. Schild von Steier 23., (2009), pp. 88–95.
- [16] Pfisterer, M.: Limesfalsa und Subferrate Kleingeldkopien: Römisches Ersatzgeld am Donaulimes, Dissertation, Universität Wien, (2006).
- [17] VanderVoort, G. F.: in: Metallography – Principles and Practice. ASM International, 3rd printing, 2004.
DOI:10.31399/asm.hb.v09.a0003752
- [18] Haubner, R.; Strobl, S.: Copper-Coated Roman Coins – Subferrati; Römische Eisenmünzen mit Kupferbeschichtung – Subferrati, Praktische Metallographie – Practical Metallography, 53 (2016), pp. 273–294.
DOI:10.3139/147.110387
- [19] Haubner, R.; Strobl, S.; Zbiral, J.; Gusenbauer, C.; Pintz, U.: Metallurgical characterization of a coated Roman iron coin by analytical investigations, Archaeometry, 58 (2016), pp. 441–452.
DOI:10.1111/arc.12179
- [20] Haubner, R.: Garment buttons from a Hallstatt period tumulus – Gewandknöpfe aus einem hallstattzeitlichen Hügelgrab, Pract. Metallogr. 60 (2023), pp. 331–342.
DOI:10.1515/pm-2023-0027
- [21] Grömer, K.: Wieviel Textil bleibt übrig bei einer Brandbestattung? Experimentelle Kremationen Inzi 18 und Inzi 19, Experimentelle Archäologie in Europa 19 – Jahrbuch 2020, Heft 19 (2020), pp. 68–81.

Bibliography

DOI 10.1515/pm-2024-1054

Pract. Metallogr. 61 (2024) 4; page 216–231

Open Access. © 2024 the author(s),

published by De Gruyter. 

This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License.

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.

Suanne 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.