

R. Haubner, S. Strobl

Metallography on a sickle fragment from the Drassburg/Burgenland hoard find

Metallographie an einem Sichelfragment aus dem Hortfund Drassburg/Burgenland

Received: 21.02.2022

Accepted: 09.03.2022

Translation: Edda Engert

Eingegangen: 21.02.2022

Angenommen: 09.03.2022

Abstract

The Drassburg Bronze Age hoard find (approx. 25 kg) also comprises some sickles and sickle fragments. One of these sickle fragments was provided for metallographic examinations. A XRF analysis revealed 94.5 wt.% Cu, 4.31 wt.% Sn, 0.61 wt.% Pb, and 0.12 wt.% S in the alloy. It can therefore be attributed to tin bronzes.

The material has a uniform dendritic microstructure. Higher concentrations of Sn, S, and Pb were measured in the interdendritic areas. This suggests a precipitation of the phases Pb and Cu_2S from the residual melt. Klemm II etching also revealed the dendritic areas which exhibited different orientations.

Kurzfassung

Im etwa 25 kg schweren, bronzezeitlichen Hortfund aus Drassburg sind auch einige Sicheln und Sichelfragmente enthalten. Eines dieser Sichelfragmente wurde für metallographische Untersuchungen zur Verfügung gestellt. Eine RFA Analyse ergab 94,5 Gew.% Cu, 4,31 Gew.% Sn, 0,61 Gew.% Pb und 0,12 Gew.% S, weshalb die Legierung den Zinnbronzen zuzurechnen ist.

Das metallische Gefüge ist gleichmäßig und dendritisch aufgebaut. In den interdendritischen Bereichen konnten lokal höhere Konzentrationen an Sn, S und Pb gemessen werden. Dies deutet auf die Phasen Pb und Cu_2S hin, welche sich aus der Restschmelze ausgeschieden haben. Nach einer Klemm II Ätzung waren

Authors:

Roland Haubner, Susanne Strobl TU Wien, Institute of Chemical Technologies and Analytics, Getreidemarkt 9/164-03, A-1060 Wien; E-mail: roland.haubner@tuwien.ac.at

 Open Access. © 2022 the author(s), published by De Gruyter.  This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Deformations were observed in thin edge areas of the sickle fragments. They were introduced in the course of mechanical post-processing of the bronze or during its use.

The surface of the sickle exhibits a patina with a layered structure and a thickness of up to 500 µm. The Sn contents measured in the outer layers are somewhat higher than in the inner layers.

Keywords: Bronze Age, tin bronze, sickle, patina

1 Introduction

1.1 Sickle development in the Bronze Age

The sickle, which serves to cut wild grain or grasses, ranks among the oldest harvest tools. Its use is documented as early as the Neolithic period. First sickles were manufactured from curved wood or pieces of antlers with a cutting blade consisting of a flint fragment fitted there to using birch pitch as an adhesive [1, 2]. Sickles made from bronze are documented since the Middle Bronze Age when bronze became available as metallic material and casting processes were mastered. A basic difference is made between knobbed and tanged sickles of which the use was unevenly distributed in Europe [3, 4].

Sickles can further be distinguished by their shape as hooked and balanced sickles [5].

The sickle is a tool well suited for harvesting grain. It was therefore found in almost all known Bronze Age and Hallstatt period settlements all over Europe.

Sickles have a simple and uncomplicated flat geometry. They can thus also be manufactured

auch die dendritische Bereiche unterschiedlicher Orientierung gut zu erkennen. In dünnen Randbereichen des Sichelfragments wurden Verformungen festgestellt, welche durch eine mechanische Nachbearbeitung oder den Gebrauch in die Bronze eingebracht wurden.

An der Oberfläche der Sichel liegt eine bis zu 500 µm dicke Patina vor, welche schichtförmig aufgebaut ist. In den äußeren Schichten werden etwas höhere Sn Gehalte gemessen als in der inneren Schichten.

Schlagwörter: Bronzezeit, Zinnbronze, Sichel, Patina

1 Einleitung

1.1 Die Entwicklung der Sichel in der Bronzezeit

Die Sichel gehört zu den ältesten Ackerbaugeräten, um Wildgetreide oder Gräser abzuschneiden und bereits für das Neolithikum wurde ihre Verwendung nachgewiesen. Erste Sichel wurden aus gebogenem Holz oder aus Geweihstücken gefertigt, in die man als schneidende Klinge Feuersteinsplitter mit z.B. Birkenpech einklebte [1, 2]. Nachdem Bronze als metallischer Werkstoff verfügbar wurde und auch der Gussprozess beherrscht wurde, sind seit der mittleren Bronzezeit Sichel aus Bronze belegt. Im Wesentlichen werden Knopsicheln und Zungensicheln unterschieden, deren Verwendung in Europa unterschiedlich verteilt war [3, 4].

Eine weitere Unterscheidung bei der Sichelform ist zwischen Hakensichel und Bogensichel [5].

Da die Sichel ein gut geeignetes Werkzeug zur Getreideernte darstellt, wurden Sichel in fast allen bekannten Siedlungen der Bronze- und Hallstattzeit ganz Europas gefunden.

Da Sichel eine einfache unkompliziert flache Geometrie besitzen können auch einfache

applying simple casting techniques using permanent molds. Here, a distinction is made between “open hearth casting” and “closed hearth casting” [6]. In the Bronze Age, such permanent molds were often sandstone molds. In an “open hearth casting” process, the material was horizontally poured into the prepared casting mold. For “closed hearth casting”, a smooth capstone was placed onto the prepared casting mold and the liquid bronze was subsequently poured into the mold.

Given that numerous copper deposits were already known in the Alpine region in the Copper Age and that the smelting process was mastered, supplying metallic Cu was not a problem [7–10]. As no larger deposits of tin ores are known of in the Alpine region, the manufacture of tin bronzes is evidence of the already then brisk trade in tin ores, such as with Cornwall, England. First bronze finds in the pre-alpine region are dated to the late third millennium before Christ [11, 12].

1.2 The Drassburg hoard and the examined parts of the sickle

A bronze depot containing a total of 25 kg of raw metal was found in 1932 in a vineyard near Drassburg in the Burgenland, Austria. Besides bun ingot fragments, this hoard find also comprises sickles (Figure 1a), sickle fragments (Figure 1b), other tools, and jewelry in different states of preservation. The Drassburg bronze depot thus belongs to a group of comparable Urnfield period hoards [13, 14].

A detailed description of the Drassburg bronze depots or material analyses are not known of.

2 Experimental procedure

A sickle fragment was made available for metallographic examinations (Figures 1c, d).

che Gusstechniken mit Dauerformen verwendet werden. Man unterscheidet den „offenen Herdguss“ und den „verdeckten Herdguss“ [6]. Solche Dauerformen bestanden in der Bronzezeit oft aus Sandstein. Beim „offenen Herdguss“ wurde waagrecht in die bearbeitete Gussform gegossen. Beim „verdeckten Herdguss“ wurde auf die bearbeitete Gussform ein glatter Deckstein gelegt und danach die flüssige Bronze senkrecht eingegossen.

Da bereits in der Kupferzeit zahlreichen Kupferlagerstätten im Alpenraum bekannt waren und auch die Verhüttung beherrscht wurde, war die Bereitstellung von metallischem Cu unproblematisch [7–10]. Da im Alpenraum keine größeren Lagerstätten von Zinnerzen bekannt sind, belegt die Herstellung von Zinnbronzes den bereits damals den regen Handel, mit beispielsweise Cornwall, England mit seinen Zinnerzen. Erste Bronzefunde werden im Voralpengebiet auf das ausgehende 3. Jahrtausend vor Christus datiert [11, 12].

1.2 Der Hortfund von Drassburg und die untersuchten Sichelteile

1932 wurde in einem Weingarten nahe Drassburg im Burgenland ein Bronzedept gefunden, welches aus insgesamt 25 kg Rohmetall besteht. Dieser Hortfund umfasst neben Gusskuchenfragmenten auch Sicheln (Bild 1a), Sichelfragmente (Bild 1b), andere Werkzeuge und Schmuck in unterschiedlichen Erhaltungszuständen. Somit gehört das Drassburger Bronzedept in eine Gruppe vergleichbarer urnenfelderzeitlicher Depotfunde [13, 14].

Eine detaillierte Beschreibung des Drassburger Bronzedepts oder Materialanalysen sind nicht bekannt.

2 Experimentelles

Ein Sichelfragment wurde für metallographische Untersuchungen zur Verfügung gestellt

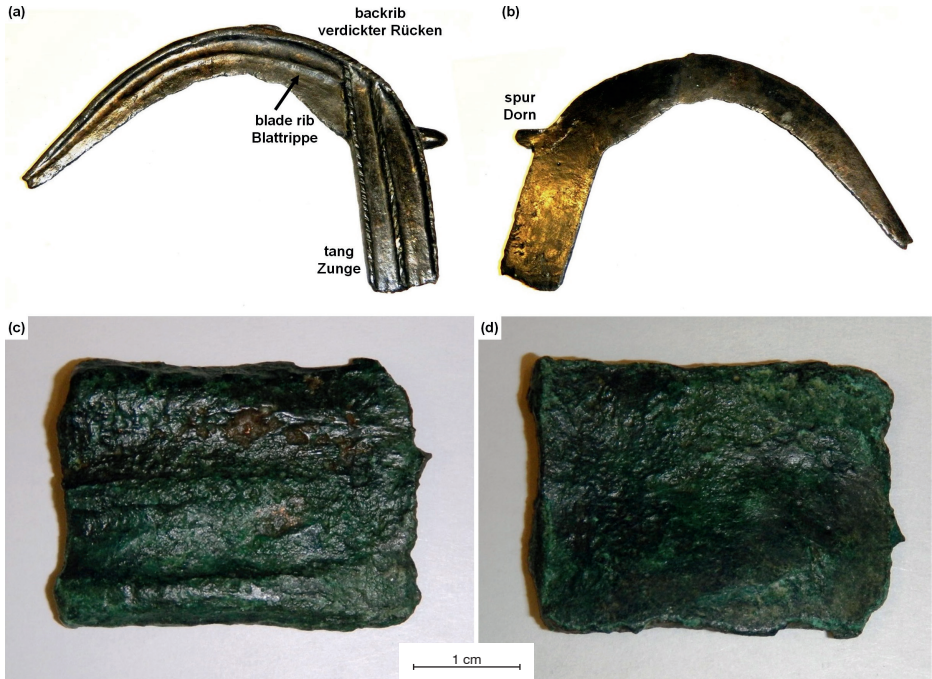


Figure 1a to d: Sickle from the Drassburg hoard. a, b) overall view of a sickle, front and rear side (not examined), c, d) portion from the tang, c) front side d) rear side.

Bild 1a bis d: Sichel aus dem Hortfund Drassburg. a, b) Gesamtansicht einer Sichel, Vorder- und Rückseite (nicht untersucht), c, d) Teilstück aus der Zunge, c) Vorderseite d) Rückseite.

A comparison of this fragment with a complete sickle (Figure 1a) suggests that it is probably the lower part of the tang. A strip with a width of approx. 1 cm was taken from the right side of the sample (Figure 1c) using a metallographic cutting machine. The respective strip was cut again. The samples were cold-embedded and metallographically prepared. Klemm II solutions were used as etchants. A light optical microscope (LOM) and a scanning electron microscope (SEM) equipped with energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) were used for the examinations and X-ray fluorescence spectrometry (XRF) was used for an average analysis.

(Bild 1c, d). Vergleicht man dieses Stück mit einer ganzen Sichel (Bild 1a) so dürfte es sich um den unteren Teil der Zunge handeln. An der rechten Seite der Probe (Bild 1c) wurde ein etwa 1 cm breiter Streifen mit einer metallographischen Trennmaschine entnommen. Dieser Streifen wurde nochmals geschnitten. Die Proben wurden kalt eingebettet und metallographisch präpariert. Als Ätzmittel wurde Klemm II-Lösungen verwendet. Für die Untersuchungen wurden Lichtmikroskop (LOM) sowie Rasterelektronenmikroskop (REM) mit energiedispersiver Röntgenanalyse (EDX) eingesetzt, sowie Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) für eine Durchschnittsanalyse.

3 Results and discussion

3.1 Characterization of the bronze alloy

A XRF analysis of the metallographically prepared cross section of the sickle fragment yielded 94.5 wt.% Cu, 4.31 wt.% Sn, 0.61 wt.% Pb, and 0.12 wt.% S (Table 1). The concentrations of further trace elements remained below 0.2 wt.%, respectively. A SEM-EDS area measurement (Figure 2g) gave a value of 3.5 wt.% Sn, a slightly lower value. However, the content of S was the same (0.12 wt.%). The differences in the Sn content may be attributed to the fact that at least part of the oxide layer surface was also captured during the XRF measurement [15]. XRF measurements furthermore allowed to determine the trace elements, whereby the presence of As and Pb has to be taken into account. The presence of As is an indication of the smelting of fahllore [16–18]. Pb is usually only present in trace amounts. Its amount of 0.61 wt.% Pb may be attributed to remelting or recycling processes using various copper alloys.

The metallographic sections of the samples taken exhibit a uniform metallic structure without any holes or voids (Figure 2a). The bronze is covered with a patina of a highly

Element / Element	Wt.% / Gew.%	
	XRF / RFA	EDS / EDX
Cu	94.5	95.3
Sn	4.3	3.5
Pb	0.61	
S	0.12	1.2
Ni	0.20	
As	0.14	
Co	0.07	
Fe	0.06	

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Charakterisierung der Bronzelegierung

Eine RFA Analyse am metallographisch präparierten Querschnitt des Sichelfragments ergab 94,5 Gew.% Cu, 4,31 Gew.% Sn, 0,61 Gew.% Pb und 0,12 Gew.% S (Tabelle 1). Die Konzentrationen weiterer Spurenelemente waren jeweils unter 0,2 Gew.%. Eine REM-EDX Flächenmessung (Bild 2g). ergab mit 3,5 Gew.% Sn etwas geringere Werte, der S-Gehalt war mit 0,12 Gew.% hingegen gleich. Die Unterschiede im Sn-Gehalt könnten daran liegen, dass bei der RFA Messung die Oxidschichtoberfläche, zumindest teilweise, mit-erfasst wurde [15]. Mittels RFA Messungen konnten auch die Spurenelemente erfasst werden, wobei die Anwesenheit von As und Pb zu beachten wären. As weist auf die Verhüttung von Fahlorz hin [16, 17, 18] das Pb ist in Kupfererzen meist nur in Spuren vorhanden und die 0,61 Gew.% Pb könnten vom umschmelzen bzw. Recycling verschiedener Kupferlegierungen stammen.

Die metallographischen Schlitze der entnommenen Proben zeigen ein gleichmäßiges metallisches Gefüge ohne Löcher bzw. Lunker (Bild 2a). Die Bronze ist mit einer Patina über-

Table 1: XRF results and SEM-EDS area analysis of the entire image area of Figure 2g.

Tabelle 1: RFA Ergebnisse sowie SEM-EDX Flächenanalyse der gesamten Bildfläche von Bild 2g.

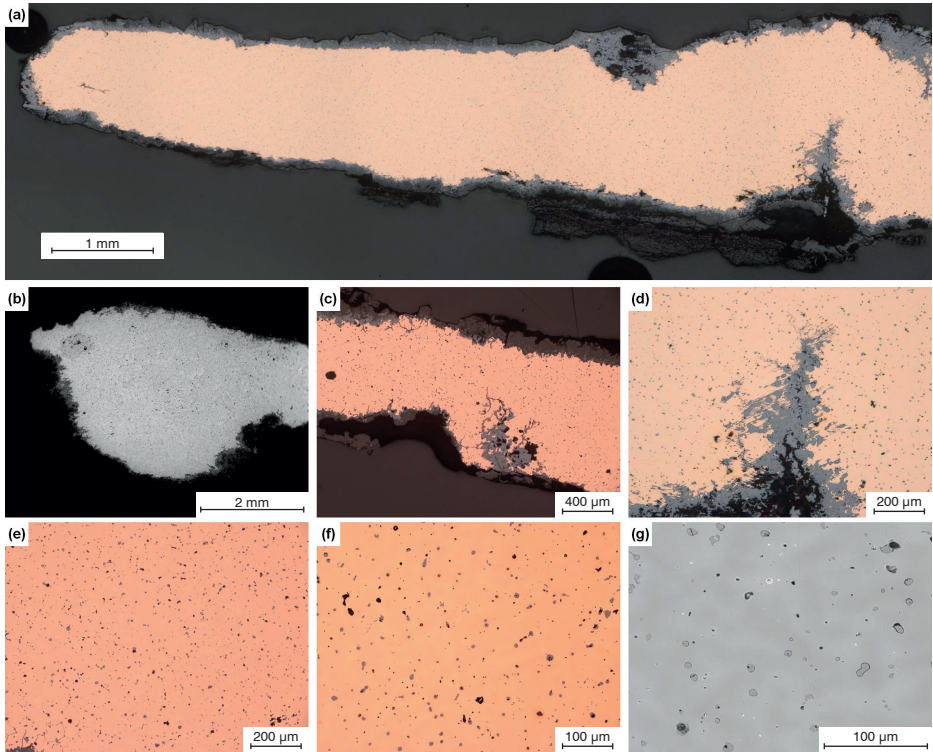


Figure 2a to g: Cross section across the sickle fragment. a) LOM overview, b, g) SEM overview, d–f) LOM overview.

Bild 2a bis g: Querschnitt durch das Sichelfragment. a) Übersicht mit LOM, b, g) REM, d–f) LOM.

variable thickness (approx. 20 to 500 µm) (Figure 2a). Some individual spots are characterized by dimples with an increased presence of corrosion products and the penetration of the corrosion into the bronze (Figure 2b, c, d). Dendritic growth can be guessed on the polished sample's surface and the interdendritic areas are characterized by dark phases (Figure 2e, f). Besides Cu, the precipitations Sn, S and Pb were measured by SEM-EDS (Figure 2g). This suggests the presence of the phases Pb and Cu₂S which precipitated from the residual melt [19–21]. Individual phases cannot be evidenced. However, given the

zogen deren Dicke stark schwankt (etwa 20 bis 500 µm) (Bild 2a). An einzelnen Stellen sind Vertiefungen zu erkennen an denen auch verstärkt Korrosionsprodukte vorliegen und auch die Korrosion in die Bronze vorgedrungen ist (Bild 2b, c, d). An der polierten Probenoberfläche lässt sich ein dendritisches Wachstum erahnen und in den interdendritischen Bereichen sind auch dunkle Phasen zu sehen (Bild 2e, f). Mittels REM-EDX wurde bei den verschiedenen Ausscheidungen neben Cu auch Sn, S und Pb gemessen (Bild 2g). Dies deutet auf die Phasen Pb und Cu₂S hin, welche sich aus der Restschmelze ausgeschieden haben [19–21]. Einzelne Phasen können nicht nachgewie-

Sn concentration of 4.31 wt.%, the formation of an eutectoid structure consisting of the intermetallic δ phase and the Cu solid solution is possible in the interdendritic areas.

Klemm II etching reveals a uniform dendritic metallic structure (Figure 3a). Dendrites consisting of the first precipitated copper

sen werden, aber aufgrund der Sn-Konzentration von 4,31 Gew.% ist in den interdendritischen Bereichen die Ausbildung eines eutektoiden Gefüges, bestehend aus intermetallische δ -Phase und Cu-Mischkristall, möglich.

Nach einer Klemm II Ätzung sieht man, dass das metallische Gefüge gleichmäßig, dendritisch aufgebaut ist (Bild 3a). In den LOM-Hell-

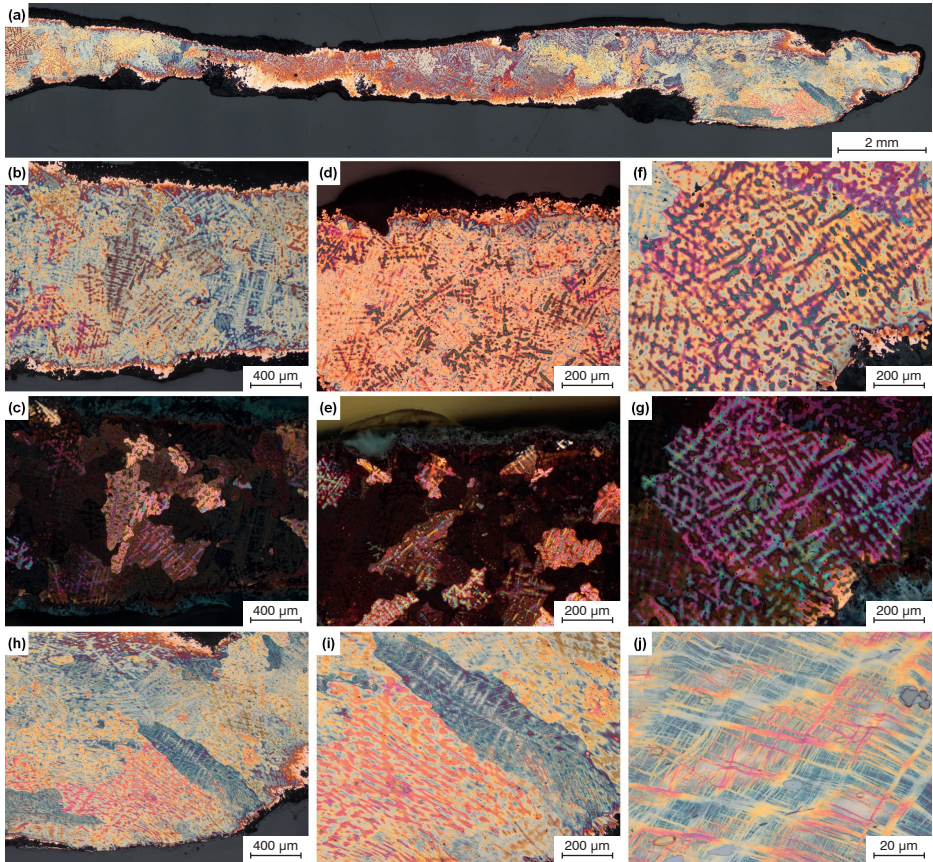


Figure 3a to j: Longitudinal section in the direction of the thin end of the sickle tang (Klemm II etching). a) Overall view, b–g) dendritic structure with different orientations, b, d, f) LOM bright field, c, e, g) polarized light, h–j) deformation structures.

Bild 3a bis j: Längsschliff Richtung dünnes Ende der Sichelzunge (Klemm II Ätzung). a) Gesamtansicht, b–g) dendritisches Gefüge unterschiedlicher Orientierung, b, d, f) LOM Hellfeld, c, e, g) polarisiertes Licht, h–j) Verformungsstrukturen.

solid solution can clearly be discerned in the LOM bright field images. Dendritic areas with different orientations are clearly recognizable not only in the bright field, but also, and in particular, in the polarized light. Figure 3 presents three examples: Figure 3b, c; Figures 3d, e; Figures 3f, g.

Particularly noticeable are strong deformations detected in the thin edge areas of the sickle fragments, corresponding to the lower end of the sickle tang (Figure 3h–j). At lower magnifications, the deformation structures are superimposed by the dendritic solidification structure (Figures 3h, i). At a high magnification, however, the deformation lines are well recognizable (Figure 3j). It cannot be said whether they are twin bands or slip planes. However, they are partially curved and cross each other.

One can only speculate on how these deformations are introduced into the bronze. However, it is conceivable that they were introduced when the sickle was mounted on a wooden handle.

3.2 The patina on the sickle's surface

The surface of the sickle is covered with a layered patina of a thickness varying between 20 and 500 μm (Figures 4a, b). The significant fluctuations in value are likely attributed to the presence of large cracks between the individual layers of the patina resulting in the fact that parts of the patina can easily spall off. Different areas of the patina were analyzed by SEM-EDS and it was found that the Sn content increases towards the surface (Figure 4c). The Sn content was 5.3 wt.% near the metallic sample, while up to 14 wt.% Sn were measured on the patina surface. This Sn enrichment in the corrosion products can be explained by the poor solubility of SnO_2 and the evacuation of the Cu salts which can be attributed to their better solubility [22, 23]. Figure 5 shows a SEM-EDS element distribution map in which this

feldbildern sind die Dendriten, bestehend aus zuerst abgeschiedenem Kupfer-Mischkristall, deutlich zu sehen. Nicht nur im Hellfeld sondern vor allem im polarisierten Licht sind dendritischen Bereiche unterschiedlicher Orientierung klar zu erkennen. Es werden drei Beispiele in Bild 3 gezeigt (Bild 3b, c; Bild 3d, e; Bild 3f, g).

Besonders auffallend ist, dass in den dünnen Randbereichen des Sichelfragments, was dem unteren Ende der Sichelzunge entspricht, starke Verformungen festgestellt wurden (Bild 3h–j). Bei niedrigeren Vergrößerungen sind die Verformungsstrukturen von der dendritischen Erstarrungsstruktur überlagert (Bild 3h, i), hingegen bei hoher Vergrößerung sind die Verformungslinien gut zu erkennen (Bild 3j). Ob es sich hier um Zwillingbänder oder Gleitebenen handelt, kann nicht gesagt werden, aber die Verformungslinien sind teilweise gebogen und kreuzen sich auch.

Wie diese Verformungen in die Bronze eingebracht wurden, darüber kann nur spekuliert werden, aber es wäre möglich, dass dies bei der Montage der Sichel an einem hölzernen Stiel geschah.

3.2 Die Patina an der Sicheloberfläche

Die Oberfläche der Sichel ist mit einer schichtförmig aufgebauten Patina überzogen, deren Dicke zwischen 20 und 500 μm schwankt (Bild 4a, b). Die starken Schwankungen dürften daher rühren, dass zwischen den einzelnen Lagen der Patina starke Risse vorliegen wodurch Teile der Patina leicht abplatzen konnten. Mittels REM-EDX wurden die verschiedenen Bereiche der Patina analysiert, wobei der Sn-Gehalt Richtung Oberfläche zunimmt (Bild 4c). In der Nähe zur metallischen Probe war der Sn-Gehalt 5,3 Gew.% und an der Patinaoberfläche wurden bis zu 14 Gew.% Sn gemessen. Diese Anreicherung von Sn in den Korrosionsprodukten liegt an der schlechten Löslichkeit von SnO_2 und dem Abtransport der Cu-Salze aufgrund ihrer besseren Löslichkeit [22, 23]. In einer REM-EDX Elementverteilung (Bild 5) ist dieses Phänomen gut zu

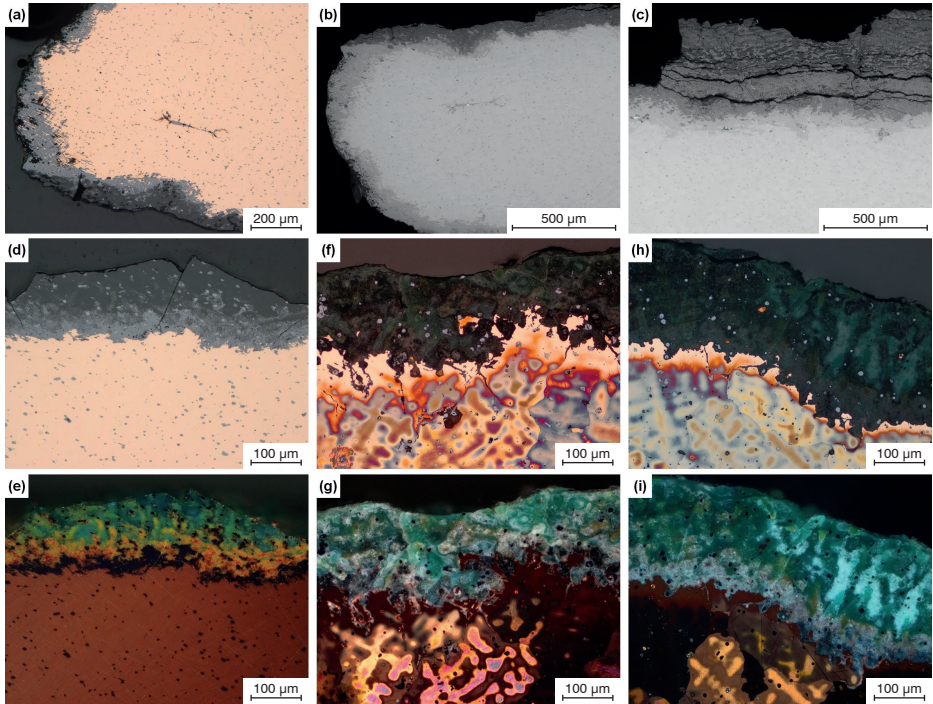


Figure 4a to i: Oxide layer on the bronze surface. a, d–i) LOM, b, c) SEM, e, g, i) polarized light, f–j) Klemm II etching.

Bild 4a bis i: Oxidschicht an der Bronzeoberfläche. a, d–i) LOM, b, c) REM, e, g, i) polarisiertes Licht, f–j) Klemm II Ätzung.

phenomenon is clearly evident. It can further be observed that sulfur and iron only occur at certain points in the patina.

In the polarized light, malachite ($\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$) appears green, whereas Cu_2O has a dark red to black appearance. The two can thus be easily distinguished [22]. The inner layers consist of Cu_2O , whereas malachite can be found on the outside. In the polarized light, the dendritic solidification of the bronze can also be recognized in the patina (Figure 4d, e). Cu_2O , formed from the purer copper dendrite, is located next to malachite which formed in the interdendritic areas of the bronze. Differences in the brightness of

erkennen. Weiters sieht man, dass Schwefel und Eisen nur punktuell in der Patina verteilt sind.

Im polarisierten Licht lassen sich Malachit ($\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$), der grün erscheint, und Cu_2O , das dunkelrot bis schwarz erscheint, gut unterscheiden [22]. Die inneren Schichten bestehen aus Cu_2O und außen liegt Malachit vor. Im polarisierten Licht kann man auch noch die dendritische Erstarrung der Bronze in der Patina erkennen (Bild 4d, e). Cu_2O , welches aus den reineren Kupferdendriten entstanden ist, liegt neben Malachit vor, der in den interdendritischen Bereichen der Bronze entstanden ist. Auch bei den geätzten Proben

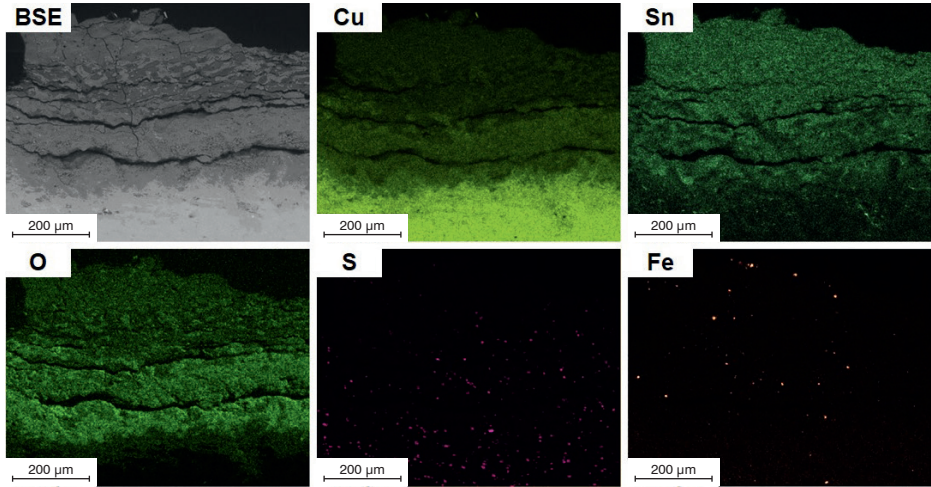


Figure 5: SEM-EDS element distribution in the area of the oxide layer.

Bild 5: REM-EDX Elementverteilung im Bereich der Oxidschicht.

malachite can also clearly be recognized on the etched samples (Figure 4f, g; Figure 4h, i).

sind Helligkeitsunterschiede im Malachit deutlich zu erkennen (Bild 4f, g; Bild 4h, i).

4 Conclusions

A sickle fragment from the Drassburg hoard find dating from the early Urnfield period (approx. 1200 before Christ) was subjected to a metallographic examination. The fragment is composed of a tin bronze with a Sn content of 4.3 wt.%. Furthermore, the elements Pb, As, S, and Ni were detected. The observed metallic solidification structure is uniform and dendritic. Owing to the fact that the impurities accumulate in interdendritic areas of the bronze during its solidification, the phases Pb and Cu_2S are also present there. Dendritic areas with different orientations are clearly discernible after Klemm II etching in the bright field, as well as in the polarized light. It can be assumed that no further mechanical processing was performed on this part after the casting process. In thin portions, however, deformation structures were found. They were probably

4 Schlussfolgerungen

Ein frühurnenfelderzeitliches (ca. 1200 v. Chr.) Sichelfragment aus dem Hortfund von Drassburg wurden metallographisch untersucht. Das Fragment besteht aus einer Zinnbronze mit einem Sn-Gehalt von 4,3 Gew.%. Als weitere Elemente wurden Pb, As, S und Ni nachgewiesen. Im metallischen Gefüge ist ein gleichmäßiges dendritisches Erstarrungsgefüge zu erkennen. Da bei der Erstarrung der Bronze die Verunreinigungen in interdendritischen Bereichen angereichert werden, liegen auch dort die Phasen Pb und Cu_2S vor. Dendritische Bereiche unterschiedlicher Orientierung sind nach einer Klemm II Ätzung sowohl im Hellfeld als auch im polarisierten Licht deutlich zu erkennen. Vermutlich erfolgte an diesem Teilstück nach dem Guss keine weitere mechanische Bearbeitung. In dünnen Teilen wurden jedoch Verformungsstrukturen festgestellt, welche vermutlich bei der Montage

introduced during use or when the handle was mounted. The patina of a thickness of approx. 500 µm consists of Cu_2O and malachite, while the bronze's dendritic solidification structure is still recognizable in the patina. As is common for tin bronzes, the Sn contents in the patina are significantly higher than in the initial bronze.

5 Acknowledgement

We would like to thank Dr. Hannes Herdits from the Burgenland State Museums in Eisenstadt for supplying the sample. Furthermore, we would like to thank Mr. Martin Ritter who helped preparing the sample as part of his bachelor thesis.

The authors acknowledge TU Wien Bibliothek for financial support through its Open Access Funding Program.

References / Literatur

- [1] Behm-Blancke, M. R.; Boese, J.: Zu spätkolithischen Erntegeräten in Nordsyrien und Südostanatolien. In: Rainer Michael Boehmer und Joseph Maran (Hrsg.), *Lux Orientis. Archäologie zwischen Asien und Europa. Festschrift für Harald Hauptmann zum 65. Geburtstag*. Rahden, Leidorf 2001, pp. 27–37.
- [2] Arnoldussen, S.; Steegstra, H.: A bronze harvest: Dutch Bronze Age sickles in their European context, *Palaeohistoria* 57/58 (2015/2016), pp. 63–63.
- [3] Fejér, E.: Bronze age sickles in diverse roles, *Hungarian Archaeology*, 9 (2020) 23–30. DOI: 10.36338/ha.2020.4.1
- [4] Arnoldussen, S.; Steegstra, H.: A bronze harvest: Dutch Bronze Age sickles in their European context. *Palaeohistoria*, 57/58 (2016), pp. 63–109.
- [5] Steensberg, A.: *Ancient Harvesting Implements. A study in archaeology and human geography*, Nationalmuseets Skrifter, Arkæologisk-historisk Raekke Band 1, Kopenhagen 1943.

eines Griffs oder bei der Verwendung entstanden sind. Die bis zu 500 µm dicke Patina besteht aus Cu_2O und Malachit, wobei die dendritische Erstarrungsstruktur der Bronze auch noch in der Patina zu erkennen ist. Wie es für Zinnbronzes üblich ist sind die Sn Gehalte in der Patina deutlich höher als in der ursprünglichen Bronze.

5 Danksagung

Unser Dank geht an Herrn Dr. Hannes Herdits vom Burgenländischen Landesmuseum in Eisenstadt für die Bereitstellung der Proben. Des Weiteren möchten wir Herrn Martin Ritter danken, der im Rahmen seiner Bachelorarbeit bei der Probenpräparation geholfen hat.

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

- [6] Ersfeld, J.: *Formen und Giessen*. in: *Restaurierung und Museumstechnik*, Bd. 2 (1990) 3. Auflage, Weimar: Museum für Ur- und Frühgeschichte Thüringens.
- [7] Tylecote, R. F.: *A History of Metallurgy*, The Metals Society, Mid County Press London, 1976.
- [8] Martinek, K.-P.; Sydow, W.: Frühbronzezeitliche Kupfermetallurgie im Unterinntal (Nordtirol), *Der Anschnitt*, Beiheft 17 (2004), pp. 199–211.
- [9] Haubner, R.: Die prähistorische Kupfermetallurgie – allgemeine Betrachtungen, *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 166 (2021), S. 343–351. DOI: 10.1007/s00501-020-01056-0
- [10] Haubner, R.; Strobl, S.; Trebsche, P.: Metallographic analyses from the late Urnfield period copper mining settlement at Priggglitz-Gasteil in Lower Austria, in: R. Turck, T. Stöllner and G. Goldenberg (Eds), *Alpine Copper II – Alpenkupfer II – Rame delle Alpi II – Cuivre des Alpes II. New Results and Perspectives on Prehistoric Copper Production*, *Der Anschnitt*, Beiheft 42, (2019), Verlag Marie Leidorf, Bochum., pp. 323–323.

- [11] Baranyi I.: Betrachtungen über die Herkunft des Zinns in der Bronzezeit, *Carolinea*, 58 (2000), S. 115–124.
- [12] Haubner, R.; Strobl, S.; Thurner, M.; Herdits, H.: Ein Metallflächbeil der Kupferzeit aus Bernstein, Burgenland, *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 165, (2020), S. 447–452. DOI: 10.1007/s00501-020-00983-23
- [13] Herdits H.: Bemerkungen zur Metallurgie bronzezeitlicher Depottfunde, *Burgenländische Heimatblätter*, 67 (2005), pp. 100–104.
- [14] Vachta T.: Bronzezeitliche Hortfunde und ihre Fundorte in Böhmen, *Berlin studies of the ancient world* 33, Edition Topoi, Berlin, (2016).
- [15] Haubner, R.; Strobl, S.; Thurner, M.; Herdits, H.: Ein bronzenes Griffzungenmesser aus dem Burgenland, *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 166, (2021), S. 352–357. DOI: 10.1007/s00501-020-00982-3
- [16] Feuerbach, M., Unger, H.: Die Schwefelkieslagerstätte Bernstein (Burgenland, Österreich), *Archiv für Lagerstättenforschung in den Ostalpen*, 9 (1969), p. 33.
- [17] Ertl, F.; Strobl, S.; Haubner, R.: An ancient bronze ingot smelted from fahlore, *Materials Science Forum*, 891 (2017), pp. 613–617. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.891.613
- [18] Haubner, R.; Ertl, F.; Strobl, S.: Examinations of a Bronze Ingot Made of Fahlore, *Practical Metallography*, 54 (2017), pp. 107–117. DOI: 10.3139/147.110446
- [19] Strobl, S.; Haubner, R.: Microstructural features of bronze-coated iron coins from the Roman Empire, *Materials Science Forum*, 782 (2014), pp. 629–634. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.782.629
- [20] Schumann, H.: *Metallographie*, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie (1967) Leipzig.
- [21] Massalski, T. B.: 1990, *Binary Alloy Phase Diagrams*, ASM International, Metals Park OH.
- [22] Haubner, R.; Strobl, S.: Long-time corrosion of a cast bronze droplet during 3000 years storage in soil, in: *Proceedings EUROCORR 2015*, Paper-Nr. 116 (2015), pp. 1–6.
- [23] 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

Bibliography

DOI 10.1515/pm-2022-1005

Pract. Metallogr. 59 (2022) 12; page 749-760

© 2022 Walter de Gruyter GmbH,

Berlin/Boston, Germany

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.

Suane 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.