

## KUPFERSCHLACKENGEMAGERTE KERAMIK VON EINEM SPÄTBRONZEZEITLICHEN GRÄBERFELD BEI ST. LEONHARD/KUNDL (TIROL, ÖSTERREICH)

Matthias Krismer<sup>1</sup>, Florian Hipp<sup>1</sup>, Markus Staudt<sup>2</sup>, Gert Goldenberg<sup>2</sup> und Peter Tropper<sup>1</sup>

Mit 6 Abbildungen

<sup>1</sup> Institut für Mineralogie und Petrographie, Universität Innsbruck, Innrain 52f, A-6020 Innsbruck, Austria

<sup>2</sup> Institut für Archäologien, Universität Innsbruck, Langer Weg 11, A-6020 Innsbruck, Austria

### Zusammenfassung

Im Jahr 2010 konnten auf einem Acker bei St. Leonhard in der Gemeinde Kundl mehrere bronzene Buntmetallfragmente sowie einige Keramikbruchstücke aus der Späten Bronzezeit aufgelesen werden. Da manche der geborgenen Gegenstände partiell Spuren intensiver Feuereinwirkung aufwiesen und die Funde reichlich zu Tage kamen, lag die Interpretation nahe, diesen Fundplatz als Brandgräberfeld anzusprechen. Das durch Umpflügen an die Oberfläche beförderte Beigabeninventar besteht vor allem aus Trachtbestandteilen, darunter Gürtelhaken, Armreifen, Kugelkopfnadeln und Messern. Aufgrund einer grünlichen Verfärbung auf einem der Keramikfragmente, die bereits makroskopisch sichtbar war, wurde eine Magerung mit Schlackensand, der sich bei der nassmechanischen Aufbereitung von Kupferschlacke bei Schmelzplätzen als Abfallprodukt ansammelt, in Betracht gezogen. Schlackensand findet sich auch reichlich beim nur zwei Kilometer südwestlich der Nekropole, im Maukenwald liegenden, spätbronzezeitlichen Verhüttungsplatz „Mauk E“. Die schlackengemagerte Keramik aus dem Gräberfeld bei St. Leonhard legt nahe, dass zumindest einige der bestatteten Personen in unmittelbarer Verbindung mit metallurgischen Tätigkeiten in der näheren Umgebung standen.

Mineralogische Untersuchungen bestätigten die Anwesenheit von Schlackensand als Magerungskomponente der Keramiken. Zusätzlich wurden einzelne Gesteins- bzw. Glimmerschieferbruchstücke als Magerungskomponente identifiziert. Diese polykristallinen Magerungskomponenten haben Korngrößen zwischen Hundert und mehreren Tausend Mikrometern. Die feinere Fraktion an Magerungsbruchstücken besteht vorwiegend aus Quarzkristallen. In geringerem Umfang treten Plagioklas, Kalifeldspat, Granat, Chlorit, Muskovit, Spinell, Zirkon, Monazit, Titanit und Illmenit auf. Die chemische und mineralogische Zusammensetzung der Schlackenbruchstücke entspricht jener von Schlacken des Schmelzplatzes Mauk A und ist konsistent mit den lokalen, fahlerzdominierten Erzen des Maukengrabens.

Die Typologie der bronzenen Grabbeigaben zeigt ein isochrones Bestehen des Schmelzplatzes Mauk A im Oberen Maukengraben und der Nekropole bei St. Leonhard auf. Die mineralogisch-petrologischen Untersuchungen belegen eine Beziehung zwischen der Bevölkerung aus dem Bergbaurevier Schwaz-Brixlegg und einigen der Bestatteten aus dem nahe gelegenen Gräberfeld im Inntal.

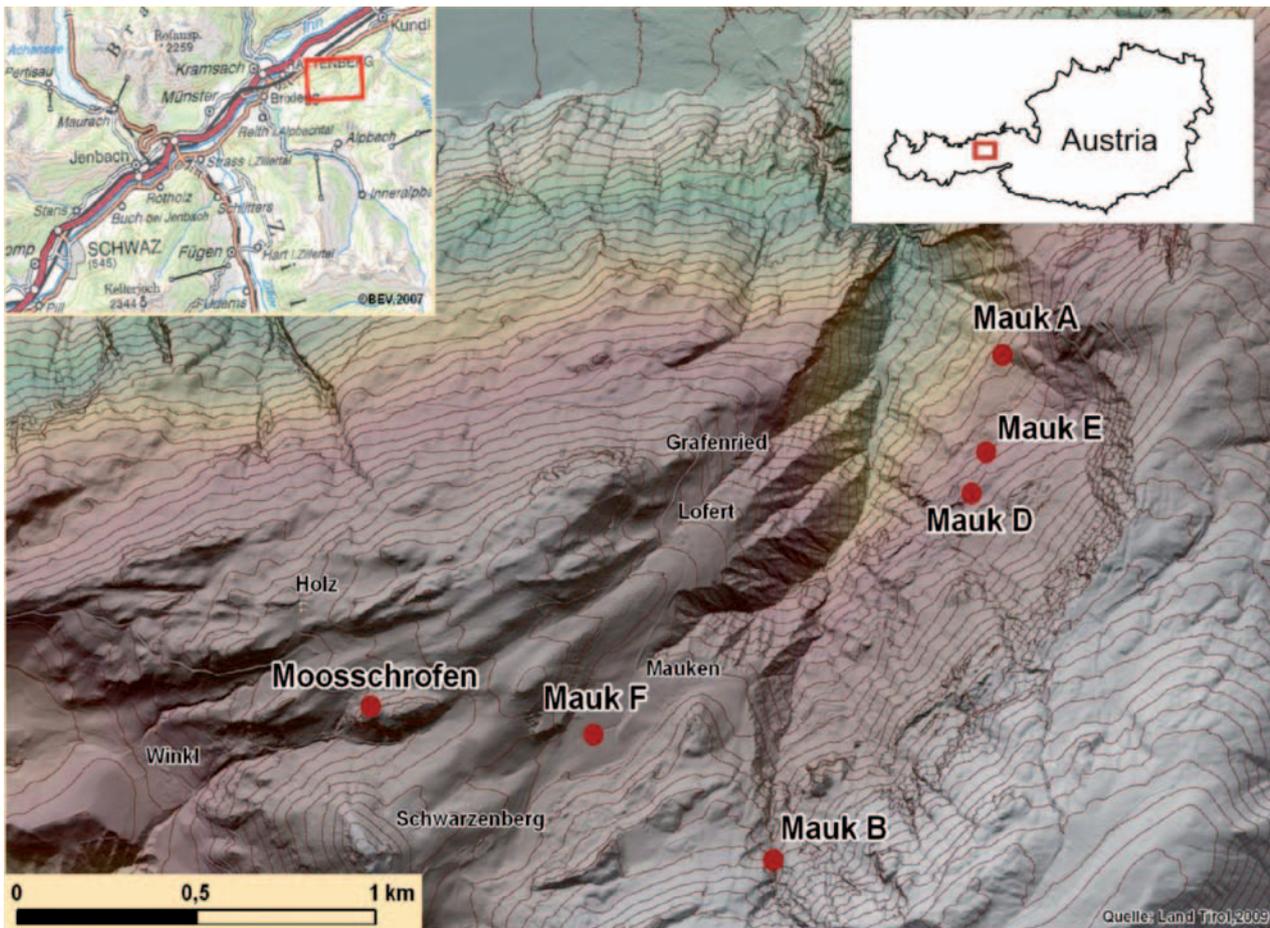


Abbildung 1: Reliefkarte der Bergbauregion Mauken. Mauk A = spätbronzezeitlicher Verhüttungsplatz; Mooschrofen, Mauk B, Mauk D und Mauk E = spätbronzezeitliche Erzabbau; Mauk F = spätbronzezeitliche Erzaufbereitungsanlage. Die Totenstätte St. Leonhard befindet sich zirka 1 km NE des rechten oberen Bildrandes (Quellen: Gert Goldenberg; Gelände: Land Tirol 2009; Karte: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen 2007)

Figure 1: Relief map of the mining area Mauken. Mauk A = Late Bronze Age smelting site; Mooschrofen, Mauk B, Mauk D, Mauk E = Late Bronze Age mining sites, Mauk F = Late Bronze Age ore beneficiation site. The cemetery St. Leonhard is located on the upper right image border (source: Gert Goldeberg; relief map: Land Tirol 2009; map: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen 2007)

## Abstract

On the south side of the Inn Valley near the village of St. Leonhard near Kundl (Tyrol, Austria) a few pieces of bronze and pottery have been discovered on a field. Because of the high number of findings and because some of the artefacts show partial signs of the effects of fire, a late Bronze Age cremation burial site is suggested. The pieces of Bronze like belt hooks, arm-rings, globe-headed pins and a tang knife are typical for Urnfield period burial equipment. Because of the greenish spots observed on one of the pottery fragments it was assumed that some of the jars could have been tempered with slag sand. Slag sand is a by-product of copper ore melting processes and can be found at smelting sites in Tyrol like the copper smelting site Mauk A in the nearby Mauken

valley, only two kilometres southwest of the urnfield necropolis of St. Leonhard.

Mineralogical investigations of ceramic fragments confirm the first assumption that primarily slag fragments were used as temper. Few micaschist fragments were also identified. Both temper components consist of polycrystalline aggregates. The size of these "coarse" temper fragments is a few hundred to thousands microns. The finer temper fragments are single crystals, below 100 µm and consist mostly of quartz and feldspar; minor amounts of garnet, chlorite, muskovite, spinel, zircon, monazite, titanite and illmenite are also present. The slag temper has a characteristic chemical/mineralogical composition. The metal/copper inclusions in the slag have typical

„fahlore-signature“ containing Sb and As. The chemical composition and textures of the silicate phases are comparable to the Late Bronze Age copper slags from the adjacent site „Mauk A“.

The typology of pottery fragments and other finds date the Mauk A smelting site into the same period as the cemetery in the Inn Valley. It is supposed that at least a few of the buried people had close contact with the miners and smelters or were working in the nearby mining areas themselves during the Late Bronze Age.

## 1. Einleitung

### 1.1. Geographische und geologische Situation

Das Untersuchungsgebiet „Mauken“ befindet sich im Tiroler Unterinntal, zwischen dem Alpbachtal und der Wildschönau (Abbildung 1). Morphologisch trennt der bis zu 1900 m hohe Gratspitzkamm das Hochplateau Zimmermoos vom Alpbachtal im Süden ab, der Maukengraben entwässert das Plateau zum Inntal hin. Die Region wird vorwiegend durch Gesteine der Nördlichen Grauwackenzone und der Schwazer Trias aufgebaut. Die Grauwackenzone wird im Untersuchungsgebiet vor allem durch den Schwazer Dolomit (Gratspitze) charakterisiert (Pirkel, 1961). In geringem Umfang sind auch die Wildschönauer Schiefer aufgeschlossen. Die Schwazer Trias wird vorwiegend aus triassischen Karbonaten aufgebaut (Pirkel, 1961). Die Region Mauken ist unter anderem auch lagerstättenkundlich und montanarchäologisch interessant, da zahlreiche fahlerzdominierte Kupfererzvorkommen über einen langen Zeitraum abgebaut worden sind. Im Zuge archäologischer Prospektionen konnte der Kupfererzbergbau zumindest bis in die Späte Bronzezeit (Goldenberg & Rieser, 2004) zurückverfolgt werden. Die Maukenregion stellt einerseits eines der östlichsten Bergbaugebiete des historisch wichtigen Schwaz-Brixlegger Bergbaukomplexes dar, andererseits treten in diesem Gebiet die Kupfererze nicht nur im Schwazer Dolomit, sondern auch in der hangenden Schwazer Trias auf (Pirkel, 1961).

### 1.2. Montanarchäologische Situation und Problemstellung

Der Lagerstättenkomplex Schwaz-Brixlegg ist das größte Fahlerzvorkommen im Ostalpenraum. Neben

einer intensiven spätmittelalterlichen Bergbautätigkeit, konnte die Nutzung dieser Kupfererze bis in die späte, indirekt auch in die frühe Bronzezeit, in die Kupferzeit und in die auslaufende Steinzeit (> 2000 v. Chr.) zurückverfolgt werden (Bartelheim et al., 2002; Goldenberg & Rieser, 2004; Gstrein, 1988; Krismer, et al., 2012; Martinek & Sydow, 2004). Zwischen der Stadtgemeinde Schwaz im Westen und Radfeld im Osten wurden in den letzten Jahren über 40 prähistorische Fundstätten (Pingenfelder, Abraumhalden, Aufbereitungsplätze sowie Verhüttungsplätze) entdeckt (Goldenberg & Rieser, 2004; Klaunzer et al., 2011). Diese erstrecken sich auf einer etwa 20 km langen Strecke im Schwazer Dolomit. Kuppelförmige Hohlräume in den Felswänden zeugen noch heute von der bronzezeitlichen Vortriebstechnik, dem Feuersetzen, wobei das Gestein durch die Hitze des Feuers vor dem Abbau „mürbe“ gemacht wurde. Eine besondere Stellung für die montanarchäologische Forschung stellt das Bergbaurevier Mauken dar. Im Bereich Zimmermoos und im Maukengraben kann die gesamte „chain d’operatoire“ der spätbronzezeitlichen Kupferproduktion mit Befunden rekonstruiert werden. Der spätbronzezeitliche Verhüttungsplatz Mauk A (zwei Schmelzöfen und ein mehrphasiges Röstbett) im oberen Maukengraben befindet sich im direkten Umfeld der Abbaue (Goldenberg et al., 2011; Pichler et al., 2011). Der Aufbereitungsvorgang der Erze (zerkleinern/pochen, waschen, anreichern) ist sowohl im Bereich des Zimmermooses als auch im Bereich des Schmelzplatzes nachweisbar (Pochsteine, Waschrinnen).

Nur zwei Kilometer nordöstlich des spätbronzezeitlichen Schmelzplatzes Mauk A wurden auf einem Feld in St. Leonhard bei Kundl zahlreiche Keramikfragmente, teils mit einer grünen Verwitterungspatina gefunden und anschließend beprobt. Die große Anzahl der oftmals durch Brand beschädigten Metallfunde, sowie die typologischen Merkmale der Keramikfragmente deuten auf ein Brandgräberfeld der Späten Bronzezeit hin. Bei den Bronzebeigaben handelt es sich um für die Urnenfelderkultur typische Trachtbestandteile, darunter Gürtelhaken, Armreifen (mit rhombischen und flach D-förmigen Querschnitt) und Kugelkopfnadel. Ein Griffangelmesser, eigentlich auch zu einer regelhaften Ausstattung eines urnenfelderzeitlichen Grabes gehörig, komplettiert das Ensemble der spätbronzezeitlichen Funde. Beim Fundmaterial handelt es sich um gängige Formen, die auch aus anderen Nordtiroler Urnenfelder bekannt sind und eine Datierung in die späte Bronze- (SB Ib /

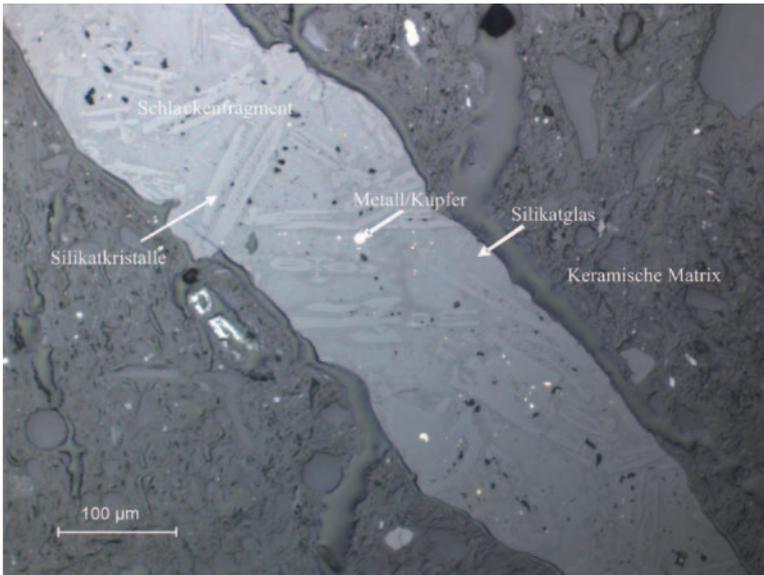


Abbildung 2: Auflichtmikroskopische Aufnahme eines Kupferschlackenfragments, eingebettet in der keramischen Matrix. Hauptsächlich besteht die Schlacke aus Silikatglas mit eingebetteten Kristallen (Olivin, Klinto-, Orthopyroxene) und feinen Metall/Kupfertropfen.

Figure 2: Reflected light picture of a copper slag sand temper fragment embedded in the ceramic matrix. The slag piece consists of silica glass, olivine, clino- and orthopyroxen type phases and metal/copper droplets.

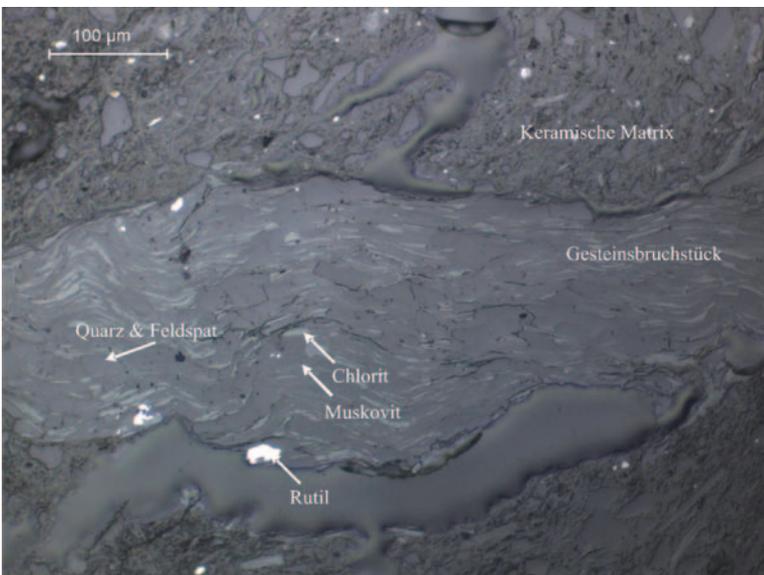


Abbildung 3: Auflichtmikroskopische Aufnahme eines Wildschönauer Schieferfragments mit eingeregelt und gefältelten Muskovit- und Chloritlagen, Quarz, Kalifeldspat und Rutil.

Figure 3: Reflected light picture of a Wildschönauer Schist fragment with oriented and crenulated muscovite and chlorite layers, quartz, kalifeldspar and rutile.

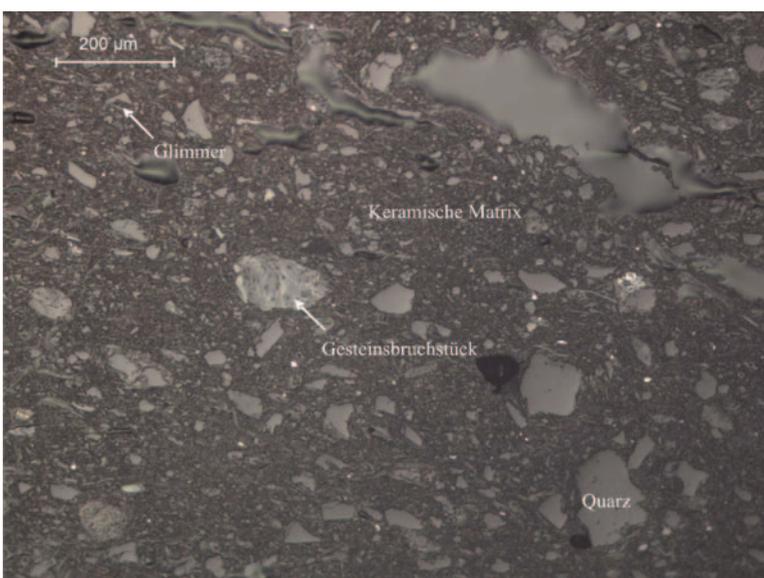


Abbildung 4: Auflichtmikroskopische Aufnahme einer typischen Textur der keramischen Matrix mit Einzelkristallen und einem Gesteinsbruchstück.

Figure 4: Reflected light picture of a typical texture of the ceramic matrix containing single crystals and rock fragments

Bz D2) bis frühe Urnenfelderzeit (SB IIa / Ha A2) erlauben (ca. 1250-1090 v. Chr.; Sperber, 1977; 1987).

In denselben Zeitraum fallen unter anderem die Erzbergbaue im Maukengraben und der Verhüttungsplatz Mauk A (Goldenberg et al. 2011; Pichler et al. 2011).

Ziel dieser Arbeit ist die Verknüpfung zwischen dem spätbronzezeitlichen Bergbaurevier im Maukengraben und den zeitgleichen Bestattungs- und Siedlungsstrukturen im Inntal mittels mineralogischer Untersuchungen der Keramikfragmente zu untersuchen. Dabei können mineralogische und petrographische Analysen an Keramikfragmenten herangezogen werden, um die Magerungskomponenten genauer zu charakterisieren. Die oben erwähnten „grünlichen“ Verwitterungserscheinungen sind ein möglicher Hinweis darauf, dass Kupferschlacken als Magerungsbestandteile der Keramik verwendet worden sind, welche gleichzeitig eine Verbindung zwischen der Totenstätte und dem Bergbau darstellen.

## 2. Probennahme und Analysemethoden

Die Artefakte stammen größtenteils vom Finder Martin Grogger, der diese freundlicherweise für Dokumentationsarbeiten dem archäologischen Projektteil des Forschungszentrums HiMAT (Historical mining in the Tyrol and adjacent areas) zur Verfügung stellte.

Für die anschließende mineralogisch-petrologische Untersuchung der keramischen Magerungsbestandteile wurden Dünnschliffe von sechs ausgewählten Keramikfragmenten angefertigt. Die Auswahl erfolgte basierend auf dem Verwitterungszustand und den sichtbaren Magerungskomponenten. Es wurden vorwiegend unalterierte Proben mit makroskopisch sichtbaren Magerungskomponenten untersucht. Die Auswertung erfolgte mittels Auflicht- und Durchlichtmikroskopie sowie energiedispersiver Mikrosondenanalytik (EDS). Die Mikrosondenmessungen wurden mit einer Anregungsspannung von 15kV und 10 nA Probenstrom durchgeführt. Die Detektion und Auswertung erfolgte mittels eines stickstoffgekühlten Halbleiterdetektors des Herstellers „Thermo NORAN“ und einer standardlosen Quantifizierung und Spektrenentflechtung mittels der Software NORAN System SIX Vers. 1.8 (2005).

## 3. Petrographie und Mineralchemie der Magerungskomponenten

Die sechs untersuchten Keramikproben zeichnen ein relativ homogenes Bild in Bezug auf die Magerungskomponenten. Grundsätzlich kann man diese Zuschlagsstoffe in zwei große Gruppen einteilen:

- Polykristalline Aggregate (z.B. Gesteinsbruchstücke)
- Einzelkristalle

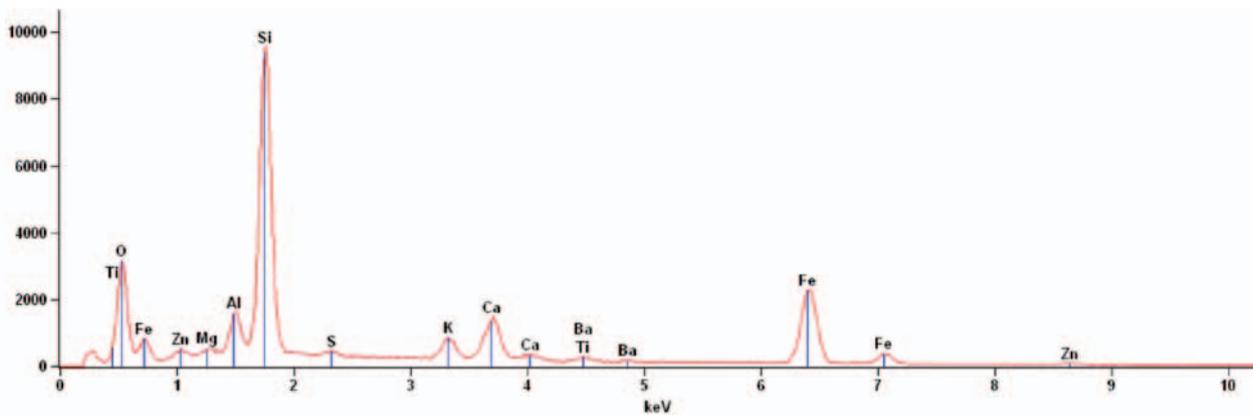
Die polykristallinen Magerungsbestandteile (Abbildung 2+3) sind jene mit bloßem Auge sichtbaren Komponenten, welche Korngrößen von bis zu 2000 µm erreichen und zumeist aus mehreren Phasen aufgebaut sind (Abbildung 2+3). Die Größe der Einzelkristalle ist sehr variabel und reicht von mehreren hundert bis hin zu wenigen Mikrometern Durchmesser (Abbildung 4).

### 3.1. Polykristalline Aggregate

Aufgrund des Gefüges der polykristallinen Aggregate kann man zwei Typen unterscheiden:

**Typ 1 – Schlackenbruchstücke:** Der häufigere Typ besteht aus richtungslos orientierten, idiomorphen, skelettartigen, länglichen Kristallen, welche in einer nicht kristallinen Glasmatrix eingebettet sind (Abbildung 2). Über die gesamten Aggregate verstreut treten kleine, opake, hoch reflektierende, kugelige Aggregate auf (Abbildung 2). Aufgrund dieser textuellen Eigenschaften kann man den ersten Typ als klassische Kupferschlacke bezeichnen, deren Phasen aus einer Schmelze kristallisiert sind beziehungsweise während des Schmelzvorganges als Teilschmelzen entmischt worden sind (kugelige Aggregate aus Sulfiden und Metallen).

Die mineralogische Zusammensetzung der Schlackenbruchstücke ist sehr variabel. Grundsätzlich sind die Komponenten aus einer glasigen Matrix (Abbildung 5) aufgebaut, aus der typische Schlackenphasen mit einer Olivin-, Klinopyroxen-, Orthopyroxen- und Spinellzusammensetzung kristallisiert sind. Auflichtmikroskopisch können die opaken hochreflektierenden kugeligen Einschlüsse als kupferreiche Schmelztröpfchen charakterisiert werden (Abbildung



<i>Element</i>	<i>Gew.- Konz. %</i>	<i>Atom Konz. %</i>	<i>Formel</i>	<i>Verb. Konz. %</i>
<i>O</i>	39.77	62.18		---
<i>Mg</i>	0.66	0.68	MgO	1.09
<i>Al</i>	2.30	2.13	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.35
<i>Si</i>	19.30	17.19	SiO <sub>2</sub>	41.28
<i>S</i>	0.32	0.25	SO <sub>3</sub>	0.80
<i>K</i>	1.97	1.26	K <sub>2</sub> O	2.37
<i>Ca</i>	4.66	2.91	CaO	6.51
<i>Ti</i>	0.04	0.02	TiO <sub>2</sub>	0.07
<i>Fe</i>	27.74	12.42	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	39.66
<i>Zn</i>	1.86	0.71	ZnO	2.32
<i>Ba</i>	1.39	0.25	BaO	1.55
<i>Total</i>	100.00	100.00		100.00

Abbildung 5: Energiedispersive Mikrosodenanalyse der Glasmatrix eines Schlackenbruchstückes normiert auf 100 Gew.%.  
 Figure 5: Energy dispersive microprobe analysis of the silica glass in the slag sand temoer fragments normalized to 100 wt.%.

6). Diese metallischen Schmelztropfen sind in vielen Fällen von einem Cu<sub>2</sub>S-Rand umgeben (Abbildung 6). Die chemische Zusammensetzung der einzelnen silikatischen Phasen kann vereinfacht im System Ca-Fe-Mg-Si-O (Abbildung 5) bzw. die der kupferreichen Schmelztropfen im System Cu-Sb-As-S dargestellt werden. Die silikatische, glasige Matrix zeigt neben den Hauptelementen untergeordnet Zn, Al, Na und Ba Konzentrationen. Die Zusammensetzung der kristallisierten Silikate beinhaltet neben den Hauptelementen zumeist wenige Gewichtsprozent Zn. Die kupferreichen, metallischen Tropfen zeigen eine variable Zusammensetzung mit ca. 70-90 Gew.% Cu, die restlichen 30-10 Gew.% setzen sich aus Sb und As zusammen. Mineralogie und chemische Zusammensetzung weisen die Schlacken als anthropogene Pro-

dukte aus, welche im Zuge von kupfermetallurgischen Tätigkeiten entstanden sind. Als Roherz kommen Zn-hältige Tetraedrit-Tennantit-(Fahlerz)-Vererzungen in Frage. Aufgrund der hohen Ca- und Mg-Gehalte in den Silikatphasen ist ein dolomitisches Nebengestein sehr wahrscheinlich. Diese Beobachtungen sind konsistent mit den Erzvorkommen im Maukengraben, welche hauptsächlich aus Zn-Fe Tetraedrit-Tennantit bestehen (Arlt & Diamond, 1998; Krismer et al., 2011) und in Dolomiten auftreten. Die Textur, Mineralogie und Zusammensetzung der Schlackenbruchstücke ist den Schlacken vom Schmelzplatz Mauk A sehr ähnlich.

**Typ 2 – Gesteinsbruchstücke:** Der weniger häufige Typ besitzt eine deutliche schiefrige Textur mit ein-

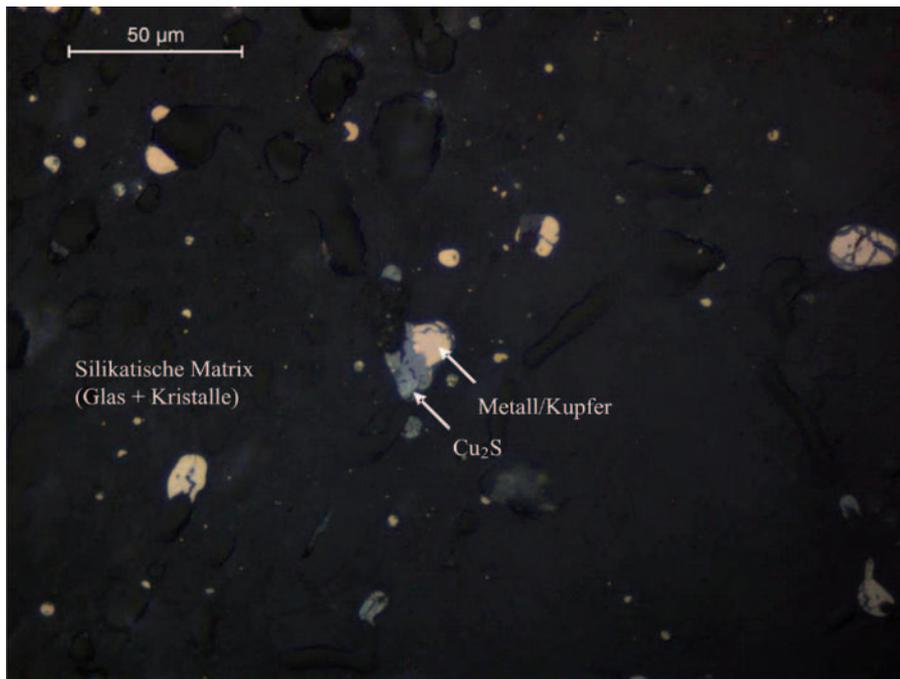


Abbildung 6: Auflichtmikroskopische Aufnahme eines Schlackenbruchstückes mit Metall/Kupfer- und Sulfideinschlüssen.  
Figure 6: Reflected light picture of a of a slag sand temper fragment containing metal/copper and sulfide inclusions.

geregelten plattigen Kristallen (Abbildung 3). Dieser Typ kann als typische niedrig- bis mittelgradig überprägtes, metamorphes Sedimentgestein bezeichnet werden.

Die Gesteinsbruchstücke bestehen vorwiegend aus Quarz + Kalifeldspat + Muskovit ± Chlorit ± Rutil ± Zirkon und sind mineralogisch sowie texturell dem Wildschönauer Schiefer zuzuordnen welcher die Region gegen Süden hin aufbaut. Im Gegensatz dazu sind die direkt vor Ort anstehenden Dolomite und Kalke aus der Grauwackenzone und der Schwazer Trias nicht als Magerungskomponenten enthalten.

### 3.2. Einzelkristalle

Die am häufigsten auftretenden Einzelkristalle sind Quarzkörner. Untergeordnet konnten auch Plagioklas, Kalifeldspat, Granat, Chlorit, Muskovit, Spinell, Zirkon, Monazit, Titanit und Illmenit nachgewiesen werden. Die Komponenten können einerseits aus den Zuschlagsstoffen/Magerung (Sanden) stammen, andererseits auch im Ton selbst als Schwerminerale enthalten gewesen sein. Die untergeordnet auftretenden Spinell-Einzelkristalle in der keramischen Matrix weisen auf Schlackensande als Magerungskomponente hin. Alle weiteren in den polykristallinen Schlackenbruchstücken beschriebenen Phasen sind nicht als einzelne Mineralbruchstücke in den Keramiken nach-

weisbar (z.B. Ca-Mg-Fe-Klinopyroxen). Auch können zahlreiche Einzelkristalle nicht den polykristallinen Gesteinsbruchstücken des Wildschönauer Schiefers zugerechnet werden (z.B. Granat, Plagioklas). Aus diesem Grund kann man vermuten, dass diese Komponenten direkt aus dem Tonrohstoff stammen oder neben den Schlackensanden und Wildschönauer Schieferbruchstücken als dritte Komponente zugeschlagen worden sind. Wahrscheinlicher ist der erste Fall, da keine polykristallinen Magerungskomponenten mit Granat und Plagioklas dokumentiert werden konnten (z.B. höhergradige Metamorphite mit Granat + Plagioklas).

### 4. Zusammenfassung und Interpretation

Besonders interessant für die Fragestellung sind sicherlich die Magerungsbestandteile in Form von Schlackensand. Die chemische und mineralogische Zusammensetzung dieser Komponenten zeigt, dass sie aus der Falherzmetallurgie stammen und eine sehr hohe Ähnlichkeit mit Schlackenfragmenten vom Schmelzplatz Mauk A im oberen Maukengraben haben. Die Zusammensetzung sowohl der Silikat- als auch der Metallphasen weist auf die lokalen, im Maukengraben vorkommenden Zn-Fe-Tetraedrit-Tennantit + Baryt-führenden Erze im devonischen

Schwazer Dolomit bzw. in den Kalken/Dolomiten der Schwazer Trias (Tennantit + Ni-Fe-Co-Pb) hin.

Die metallurgischen Schlacken wurden nach der Verhüttung zu Sand zerkleinert, um mögliche Metalleinschlüsse zu extrahieren. In dieser Form sind sie gleichzeitig ein idealer Magerungsbestandteil. Hier kann man bereits das Bestreben beobachten, Abfallstoffe zu recyceln und zur Produktion neuer Werkstoffe/Gebrauchsgegenstände zu verwenden. Als Hochtemperaturprodukt sind Schlacken als Magerungszusatz den Gesteinsbruchstücken deutlich überlegen, da selbst bei sehr hohen Temperaturen (500–800°C) keine Mineralreaktionen zu erwarten sind und somit die interne Struktur der Keramik durch Volumsänderungen nicht drastisch verändert wird. Alle weiteren Magerungskomponenten stammen ebenfalls aus regionalen Quellen (Wildschönauer Schiefer). Die Abwesenheit von karbonatischem Material begründet sich in der geringen thermischen Stabilität dieser Gesteine.

Das Gesamtbild im Raum Mauken lässt sich durch die hier beschriebenen Keramikfunde deutlich erweitern. Einerseits existierte im oberen Maukengraben ein komplettes (Fahlerz-) Kupferproduktionszentrum mit Bergbau- und Verhüttungseinrichtungen, welches räumlich vom Siedlungsraum getrennt war. Andererseits findet man in den Tallagen bei St. Leonhard ein zeitgleiches Gräberfeld. Die Keramikbruchstücke mit einer Fahlerz-Schlackenmagerung verbindet die

Nekropole mit den Fahlerz-Bergbauaktivitäten und zeigt eindrucksvoll die gesellschaftliche Situation am Ende der Bronzezeit.

Die Untersuchungen belegen erstmals, dass Schlackensand als Magerungsbestandteil auch in Grabkeramik beigemischt wurde. Die bestatteten Personen vom Gräberfeld St. Leonhard dürften in nahem Kontakt mit den Schmelzern aus dem nahe gelegenen Maukengraben gestanden oder sogar selbst aktiv verhüttet haben.

### Danksagung

Die Autoren sind dem Finder der Keramik- und Bronzeartefakte, Martin Grogger, zu großem Dank verpflichtet. Weiters möchten sich die Autoren bei den Mitarbeitern des Instituts für Archäologien und bei den Mitarbeitern des Instituts für Mineralogie und Petrographie für die Hilfe bei der Analyse und Auswertung der Ergebnisse bedanken. Für das sorgfältige Korrekturlesen sei Prof. Franz Vavtar gedankt. Prof. Karl Krainer danken wir für die Bearbeitung und die Schriftleitung. Weiters gilt der Dank den Geldgebern des FZ HiMAT, die eine inter- und transdisziplinäre Zusammenarbeit im Rahmen des Forschungszentrums ermöglichen. Dank gilt auch der Universität Innsbruck, die die archäologischen Forschungen finanziell mit einem Doktoratsstipendium unterstützt.

## Literaturverzeichnis

- Arlt, T. & Diamond, L. W. (1998): Composition of tetrahedrite-tennantite and "schwazite" in the Schwaz silver mines, North Tyrol, Austria. – *Mineral. Mag.*, 62: 801–820.
- Bartelheim, M., Eckstein, K., Huijsmans, M., Krauss, R. and Pernicka, E. (2002): Kupferzeitliche Metallgewinnung in Brixlegg, Österreich. – In: Bartelheim M., Pernicka E., Krause R. (eds): *Die Anfänge der Metallurgie in der Alten Welt – The beginnings of metallurgy in the Old World*, 33–82, VML Verlag.
- Goldenberg, G. & Rieser, B. (2004): Die Fahlerzlagerstätten in Schwaz/Brixlegg (Nordtirol) – Ein weiteres Zentrum urgeschichtlicher Kupferproduktion in den österreichischen Alpen. – In: Weisgerber, G., Goldenberg, G. (eds): *Alpen – Rame delle Alpi, Der Anschnitt, Beiheft 17*, 37–52 DBM, Bochum.
- Goldenberg, G., Hye, S., Klaunzer, M., Maass, A., Staudt, M., Töchterle, U. & Tomedi, G. (2011): Prähistorische Bergbauspuren im Bereich der Fahlerzlagerstätten Schwaz/Brixlegg. – In: Goldenberg, G., Töchterle, U., Oggel K., Krenn-Leeb A. (eds): *Forschungsprogramm HiMAT – Neues zur Bergbaugeschichte der Ostalpen. Archäologie in Österreich Spezial 4*, 66–76, Österreichische Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte, Wien.
- Gstrein, P. (1988): Geologie, Mineralogie und Bergbau des Gebietes um Brixlegg. – In: Landmann, S. (ed.): *Brixlegg, eine Tiroler Gemeinde im Wandel der Zeiten*, 11 – 62, Brixlegg.
- Krismer, M., Vavtar, F., Tropper, P., Kaindl, R. & Sartory, B. (2011): The chemical composition of tetrahedrite-tennantite ores from the prehistoric and historic Schwaz and Brixlegg mining areas (North Tyrol, Austria). – *Eur. J. Mineral.*, 23: 925–936.
- Krismer, M., Töchterle, U., Goldenberg, G., Tropper, P. & Vavtar F. (2012): Mineralogical and petrological investigations of Early Bronze Age copper-smelting remains from the Kiechlberg (Tyrol, Austria). – *Archaeom.*, DOI: 10.1111/j.1475-4754.2012.00709.x.
- Klaunzer, M., Staudt, M., Goldenberg, G., Tomedi, G. (2011): *KG Buch, OG Buch bei Jenbach, PB Schwaz. – Fundberichte aus Österreich 49*: 417.
- Martinek, K. P. & Sydow W. (2004): Frühbronzezeitliche Kupfermetallurgie im Unterinntal (Nordtirol). – In: Weisgerber, G., Goldenberg, G. (eds): *Alpen – Rame delle Alpi, Der Anschnitt, Beiheft 17*, 199–211, DBM, Bochum.
- Pichler, Th., Nicolussi, K. & Thurner A. (2011): Jahrringanalysen an prähistorischen Holzkohlen aus der Grube Mauk E – Die Bedeutung dendrochronologischer Untersuchungen für archäologische Fragestellungen. – In: Goldenberg, G., Töchterle, U., Oggel K., Krenn-Leeb A. (eds): *Forschungsprogramm HiMAT – Neues zur Bergbaugeschichte der Ostalpen. Archäologie in Österreich Spezial 4*, 79–86, Österreichische Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte, Wien.
- Pirkel, H. (1961): Geologie des Trias-Streifens und des Schwazer Dolomits südlich des Inn zwischen Schwaz und Wörgl (Tirol). – *Jahrb. Geol. Bundesanst.*, 104: 1–150.
- Sperber, L. (1977): *Nordtiroler Urnenfelderkultur*, unpubl. Manuskript, München.
- Sperber, L. (1987): *Untersuchungen zur Chronologie der Urnenfelderkultur im nördlichen Alpenvorland von der Schweiz bis Oberösterreich*. – *Antiquitas 3*: 29.

Manuskript eingereicht am 19.11.2012

Überarbeitetes Manuskript angenommen am 9.2.2013



## IN MEMORIAN LORENZ KEIM

Wir lernten Lorenz Keim auf einer Exkursion in die Dolomiten vom 8.9.2011–14.9.2011 kennen, die im Rahmen einer Gemeinschaftstagung der Geologischen Vereinigung, der deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften und der Geological Society of America in München angeboten wurde.

Lorenz begleitete uns mit Prof. Lammerer (München) und Prof. Brandner (Innsbruck) und führte uns bei bestem Spätsommerwetter in einige der schönsten Gegenden der Dolomiten. Wir erlebten Lorenz als einen äußerst engagierten, fröhlichen Exkursionsleiter, der es verstand seine „Schüler“ von der Geologie der Dolomiten zu begeistern. Er vermochte es, mit lebendiger Mimik und Gestik, uns auch komplizierte Sachverhalte anschaulich zu erklären und machte sie für uns im wahrsten Sinne „begreifbar“. Wir sind betroffen, dass es einen so besonnenen Menschen und erfahrenen Alpinisten wie Lorenz aus dem Leben gerissen hat, der eine große fachliche Lücke in der „Geologie in Südtirol“ hinterlässt.

Gerne denken wir an unsere gelungene Dolomiten-Exkursion im September 2011 zurück und erinnern uns an einen lebensfrohen und ungemein sympathischen Lorenz Keim. Unsere Gedanken gelten seiner Frau und den Kindern, die wir an unserem letzten gemeinsamen Exkursionstag auf der Wanderung zur Boè Spitze kennengelernt haben. Seine Liebe zu den Dolomiten wird uns immer in Erinnerung bleiben.

Anna K. Uffmann und Sabine Heim, Aachen (im Namen der Exkursionsgruppe)