

Montanarchäologie Johnsbachtal – ein Überblick über archäogeophysikalische, montanarchäologische und archäometallurgische Untersuchungsergebnisse

Hubert Preßlinger, Trieben und Clemens Eibner, Wien

1. Einleitung

Die Montanarchäologie im Johnsbachtal hat bereits eine lange Tradition¹⁻⁵. In den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts waren es die Mitarbeiter des Arbeitskreises Johnsbach⁶, die sich um die Wissenserweiterung über die bronzezeitliche Kupfererzverhüttung durch ihre Initiativen Verdienste erwarben. Neben der Aufnahme bronzezeitlicher Schlackenhalde und Verhüttungsanlagen im Johnsbachtal wurden die montanarchäologischen Arbeiten im benachbarten Palten-/Liesingtal zunächst vom Arbeitskreis Johnsbach mitbetreut und dann 1979 auf Anregung von Gerhard Sperl in einen eigenen Arbeitskreis Paltental übergeführt. Daher gibt es eine Verknüpfung zwischen den beiden Arbeitskreisen, die sowohl in einem Austausch der Untersuchungsergebnisse, als auch in der fachlichen und finanziellen Betreuung einzelner Arbeiten besteht⁷⁻¹⁵.

In dem aktuellen Beitrag werden die vom Arbeitskreis Paltental fachlich und finanziell unterstützten Arbeiten für das Johnsbachtal in einem groben Überblick vorgestellt (**Tabelle 1**). Zunächst werden die Dokumentation der montanarchäologischen Fundplätze und die archäogeophysikalischen Messergebnisse von Georg Walach im Johnsbachtal, die

im Rahmen zweier vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung genehmigten Projekte – „Montanarchäologie nördliche Grauwackenzone“ und „Urzeitliche Kupfergewinnung in der Obersteiermark“ – durchgeführt worden waren, besprochen. Danach folgen die Ergebnisse der von Clemens Eibner sehr erfolgreichen montanarchäologischen Ausgrabung im Johnsbachtal am Beispiel der Verhüttungsanlage „Kohlanger II“.

Das Land Steiermark hat zu Beginn dieses Jahrhunderts das Projekt „Erforschung der Ur- und Frühgeschichte der Steiermark“ finanziell gefördert. Im Rahmen dieses Projektes wurden in Zusammenarbeit mit Mitarbeitern der Universität Heidelberg, der TU Bergakademie Freiberg und der Montanuniversität Leoben archäometallurgische Kleinprojekte mit Kupfererz- und Laufschlackenproben sowie an Keramikscherben aus dem Johnsbachtal durchgeführt, um das Expertenwissen über das vor Ort beherrschte technologische Können der bronzezeitlichen Bevölkerung in der Metallurgie und Keramikherstellung zu beurteilen. Diese mineralogischen und schlackenkundlichen Befunde sind der Inhalt der letzten beiden Abschnitte dieses Beitrages „Montanarchäologie Johnsbachtal – Überblick

Tabelle 1: Auflistung der wichtigsten Sponsoren der montanarchäologischen Arbeiten im Palten-/Liesingtal sowie im Johnsbachtal¹⁶

Zeitraum	Montanarchäologische Forschungsprojekte und Geldgeber
1979 - 1981	Montanarchäologische Grabung am Verhüttungsplatz „Versunkene Kirche“/KG Schwarzenbach/OG Trieben. Finanzierung der montanarchäologischen Grabung durch die Stadtgemeinde Trieben
1982 - 1985	FWF-Projekt P 4766: Montanarchäologie nördliche Grauwackenzone
1986 - 1988	FWF-Projekt P 6130: Urzeitliche Kupfergewinnung Obersteiermark
1999 - 2003	Projekt der Steiermärkischen Landesregierung: Erforschung der Ur- und Frühgeschichte der Steiermark am Beispiel Paltental
2004 - 2006	Finanzierung einzelner Untersuchungen durch die Stadtgemeinde Trieben

über archäogeophysikalische, montanarchäologische und archäometallurgische Untersuchungsergebnisse“.

2. Archäogeophysikalische Messergebnisse und Fundstättenverzeichnis

Den ersten Hinweis auf einen Verhüttungsplatz geben oftmals nicht näher zuordenbare Schlackenfunde, die in Folge von natürlichen Abtragungen viele Höhenmeter unterhalb der eigentlichen Schlackenhalde angetroffen werden. Die erste Aufgabe für die Prospektion^{14,17-31} besteht somit darin, mit Suchprofilen die ungefähre Lage des Verhüttungsplatzes zu ermitteln. Meist ist es die Schlackenhalde, die zuerst gefunden wird. Manchmal kann schon nach dieser ersten Prospektionsphase aus der Geländeform auf die ungefähre Lage und die Ausdehnung des Verhüttungsplatzes geschlossen werden. Zunächst dient diese Information über die Schlackenhalde aber nur als Fixpunkt für die Planung der zweiten Prospektionsphase, der Detailerkundung.

Die Aufgabe der Detailerkundung besteht in der Bestimmung eines Modellbildes der untersuchten Struktur²⁰. Dazu wird das Messareal mit dem Magnetometer in einem quadratischen Raster von 0,5 bis 2 m Seitenlänge punktweise vermessen und aus den Messdaten rechnerisch die Störintensität des lokalen Magnetfeldes in Form einer (m, n)-Datenma-

trix bestimmt. Graphische Darstellungen, die heute nur mehr automatisch über EDV erstellt werden, dienen schließlich als Grundlage für eine qualitative Interpretation.

Wie die **Abb. 1** beispielsweise für den vermuteten Verhüttungsplatz „Johnsbach/ Wasserfall“ zeigt, ergibt sich im Isanomalenbild eine auffällige Strukturierung, in der - aus Erfahrung geschlossen - alle wesentlichen Bauelemente eines Verhüttungsplatzes klar und eindeutig auftreten²³. Die Positionen von Röstbett, Schmelzöfen und Schlackenhalde sind präzise erkennbar. Die Detailerkundungen an den Verhüttungsplätzen – Wasserfall, Schröckalm, Griesmaier, Köberlalm, Neuburgsattel/Foitlbaueralm, Kohlanger – lieferten somit dem Montanarchäologen eine objektive Grundlage für die Planung der Grabungsquadranten, so dass der Montanarchäologe seinen Spaten gezielt auf ein Montandenkmal einsetzen kann. Die früher üblichen, zeit- und geldaufwendigen Sondierungen und Suchgrabungen können entfallen. Dies wird im nächsten Kapitel am Beispiel der erfolgreichen Grabung Verhüttungsplatz „Kohlanger II“ beschrieben.

Die von Georg Walach vorgenommene Dokumentation über „Frühes Berg- und Hüttenwesen zwischen Palten-, Liesing-, Johnsbachtal und Admont – Verzeichnis der Bodendenkmale“ ist im *res montanarum* 2004, Heft 33, veröffentlicht^{18,19}. Für das Johnsbachtal wurden die von Gerhard Sperl herausgegebenen Protokolle des Arbeitskreises Johnsbach als Grundlage für die Ortung der montanhistorischen Bodendenkmäler herangezogen⁶. Georg Walach hat mit Stand 2003 in Summe 41 Fundplätze für das Johnsbachtal mit Koordinaten (Gauß-Krüger) geortet und dokumentiert, siehe **Tabelle 2**.

3. Montanarchäologische Grabungsergebnisse

3.1. „Kohlanger II“/KG Johnsbach/OG Admont

Im Johnsbachtal wurde im Juli 1983 eine Rettungsgra-

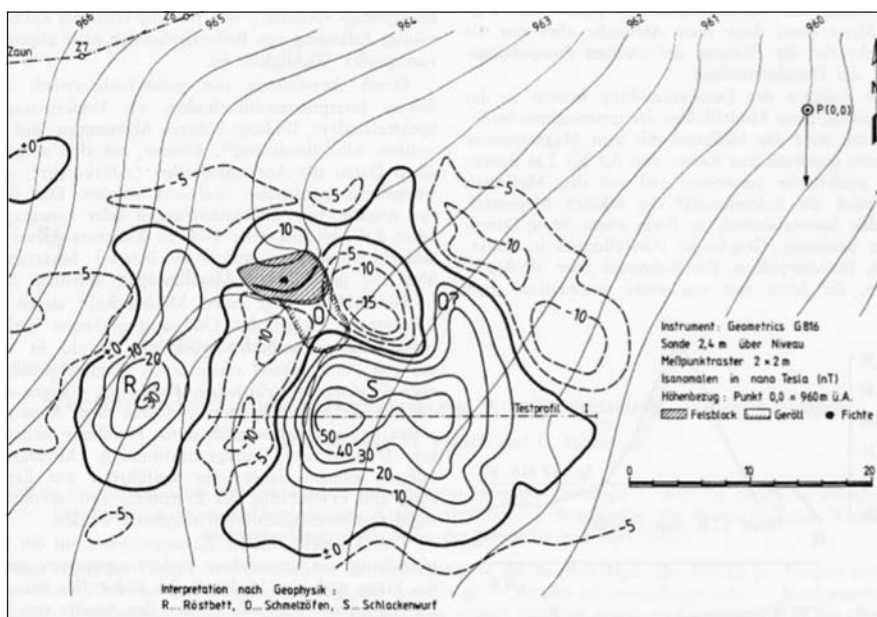


Abb. 1: Verhüttungsplatz „Johnsbach-Wasserfall“/KG Johnsbach/OG Admont; geomagnetischer Isanomalenplan und Geländesituation nach der Übersichtsvermessung²⁰.

Tabelle 2: Fundstättenverzeichnis Johnsbachtal von Georg Walach – Katalog der Basisdaten; Stand 2003 in res montanarum 33 (2004), 11 – 14

Kat. Nr.	Benennung	Epoche	Objekt	Seehöhe
101	Wolfbauer, Wasserfall	UZ	Hü-Cu	962
102	Griesmeier, Hinterfell	UZ	Hü-Cu	870
103	Kohlander, Kölbl 1	UZ	Hü-Cu	975
104	Kohlander, Kölbl 2	UZ	Hü-Cu	980
105	Kohlander, Kölbl 3	UZ	SF-Cu	955
106	Kohlander, Kölbl 4	NZ	Ko	1000
107	Kohlander, Griesmeier	UZ	SF-Cu	975
108	Plonau 1, Hube/Stall	UZ	SF-Cu	1045
109	Plonau, Bachbett	UZ	SF-Cu	1025
110	Ebner Hube	UZ	SF-Cu	1115
111	Köblalm 1, Gebäude	UZ	SF-Cu	1108
112	Köblalm, Auffahrt	NB	SF-Cu	1065
113	Pfarralm 1	UZ	SF-Cu	1300
114	Pfarralm 2	UZ	SF-Cu	1305
115	Pfarralm 3	UZ	SF-Cu	1310
116	Ebneralm	UZ	SF-Cu	1290
117	Schröckalm	UZ	Hü-Cu	1340
118	Voitlbaueralm	UZ	Hü-Cu	1430
119	Kühgatschboden	UZ	Hü-Cu	1680
120	Geißensteg	UZ	Hü-Cu	1600
121	Glanglsteig, Forststraße	UZ	SF-Cu	1540
122	Glanglsteig/Gscheidegg	UZ	SF-Cu	1570
123	Glanglsteig/Pleschkogl	UZ	BB-Cu	1580
124	Koderalm/ 3.Boden	UZ	SF-Cu	1490
125	Kölbl, Schober	UZ	SF-Cu	920
126	Wolfsbacher Niederalm	UZ	SF-Cu	1200
127	Sebringalm	UZ	SF-Cu	1210
128	Bärenkar, Fuß Kühleiten	UZ	SF-Cu	1480
129	Gscheidegger, NE Haus	UZ	SF-Cu	816
130	Gscheidegger, Anger	UZ	SF-Cu	825
131	Südl. Kreuz nahe Ebner	UZ	SF-Cu	1000
132	Odlsteinhöhle	UZ	SF-Cu	1095
133	Finsterbergeralm	UZ	SF-Cu	1040
134	Haus vulgo Huber	UZ	SF-Cu	840
135	Wolfbauer, Zunderfleck	UZ	SF-Cu?	955
136	Koderalpl, eingeschottert	NB	SF-Cu?	680
137	Östl. GH Donner, im Bach	MA/NZ	Hü-Fe	760
138	Kohlgraben	UZ	SF-Cu	
139	Limmeralm, Neuburg	UZ	SF-Cu	
140	Zinödl, Speikboden	NB	SF-Cu?	
141	Zinödl, Einstieg Schafplan	NB	SF-Cu?	
142	Radmer, Auffahrt Neuburg	UZ	SF-Cu	1140

Legende: UZ/MA/NZ/NB – Urzeit/Mittelalter/Neuzeit/Nicht Bekannt; BB/Hü/SF/Ko – Bergbau/Hütte/Schlackenfundplatz/Kohlplatz; Cu/Fe – Kupfer/Eisen

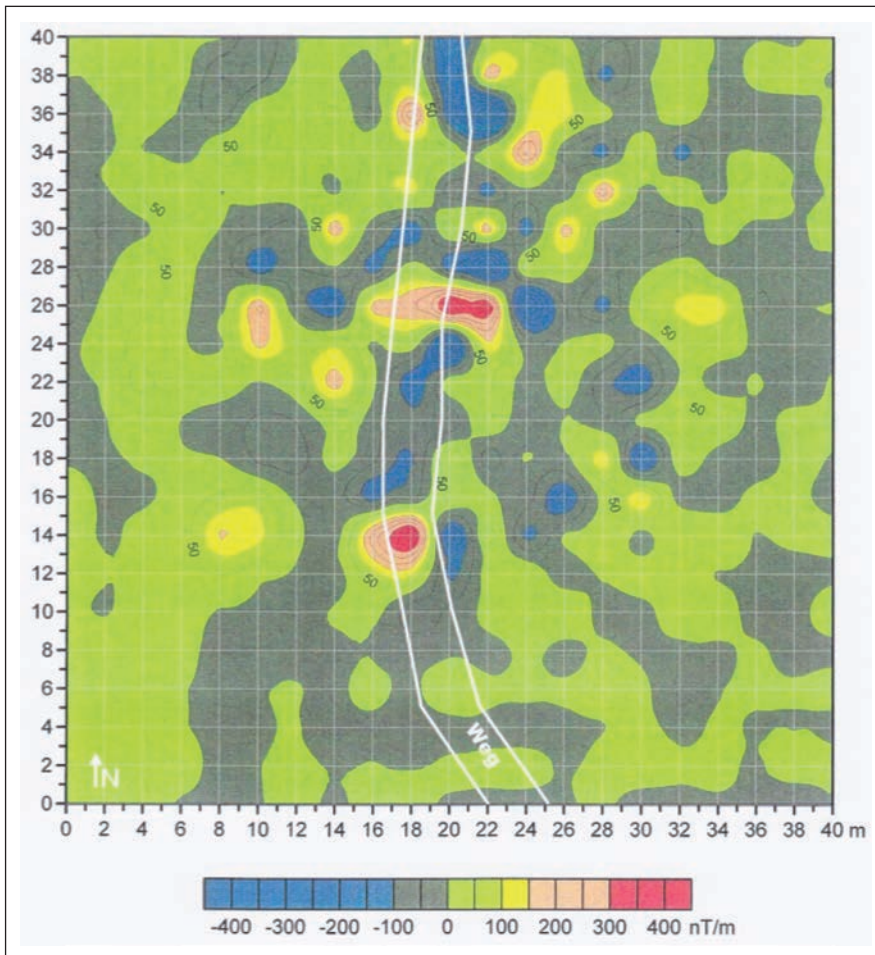


Abb. 2: Geomagnetische Prospektion Johnsbach – Schlackenfundplatz „Kohlanger“/KG Johnsbach/OG Admont¹⁷; Totalfeld – Übersicht 1982.



Abb. 3: Ansicht des freigelegten bronzezeitlichen Schachtofens zur Kupfererzverhüttung am Schmelzplatz „Kohlanger II“/KG Johnsbach/OG Admont; Ostalpiner Typ^{17,45}.

bung im Bereich des Kohlangers notwendig, da hier im Bereich eines Forstweges die Böschungen, um nach geeigneten Fundstücken für micro-mounts zu suchen, illegal unterhöhlt worden waren. Dabei konnte der Standort von mindestens drei Schmelzplätzen nachgewiesen werden (Abb. 2). Der jüngste nach Süden und Westen der Straße bergseitig gelegene Schmelzplatz „Kohlanger II“ erbrachte Sandschlacke. Der am stärksten gestörte im Norden, zum Bach und den alten Hohlweg nach Westen hin gelegene Schmelzplatz „Kohlanger I“ wurde wegen des Baumbestandes nicht weiter untersucht. Die Fläche in der Straße wurde, soweit es ging, archäologisch aufgenommen und der Platz „Kohlanger II“, dessen Ausdehnung mehr nach Osten hinwies, konnte mit einigen Schnitten^{17,20,32,33} wenigstens teiluntersucht werden (Abb. 3 und 4).

Die Ausgrabung begnügte sich auf eher baumleere Flächen, in der das Röstbett in Ost-Westrichtung (in schlechtem Zustand) angetroffen wurde. Südlich davor befand sich auch eine flache Unterlagsplatte für eine Mühle zum Zerkleinern von Erz und von Schlacke. Im Schnitt unmittelbar neben dem Weg konnten der Trittstein und der Schacht eines Ofens (Abb. 3 und 4) zum Teil ausgegraben werden, wobei ein Baum und der Profilsteg keine Untersuchung im Bereich der Ofenbrust zuließen. Wohl aber war in etwa 4 m von dieser Hinterkante des Ofens ge-

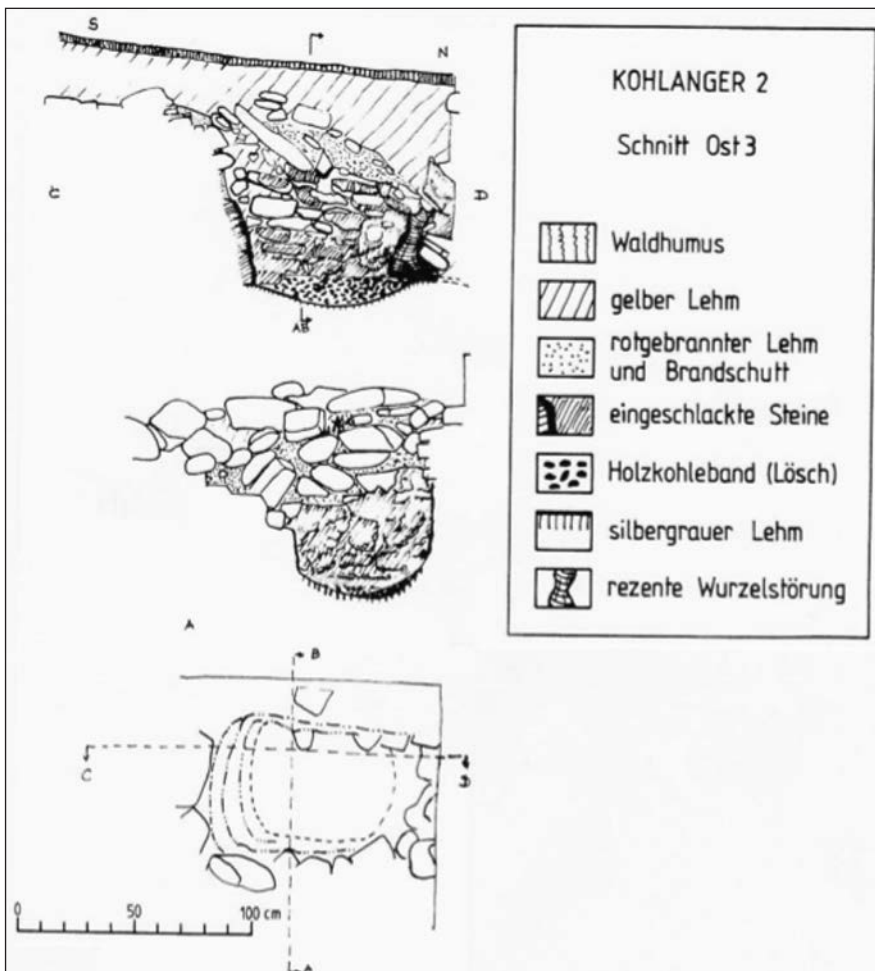


Abb. 4: Schmelzplatz „Kohlanger II“/KG Johnsbach/OG Admont; Grund- und Seitenrisse des Schachtofens¹⁷.

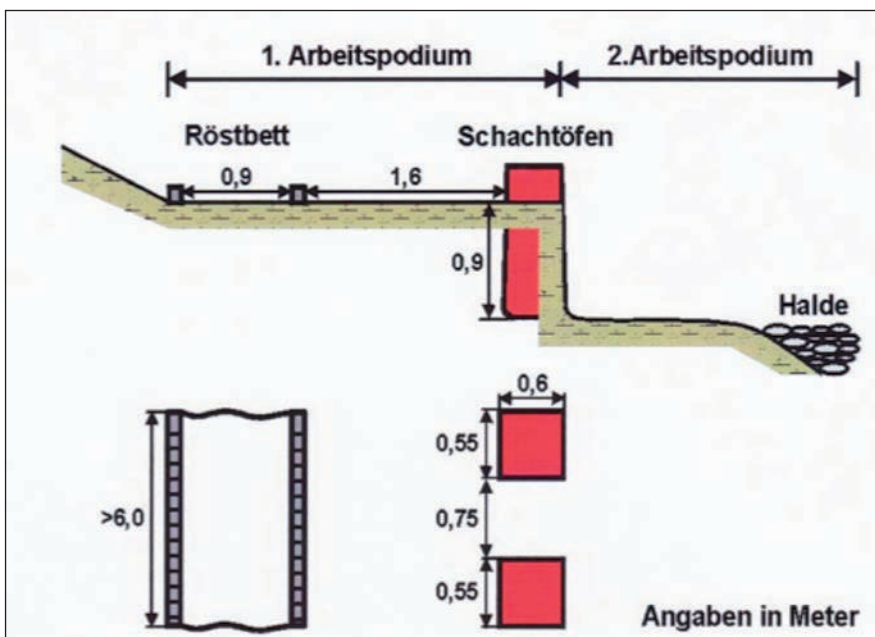


Abb. 5: Schema der Anordnung der bronzezeitlichen metallurgischen Aggregate; gezeichnet nach den montanarchäologischen Grabungsergebnissen des Arbeitskreises Paltental^{17,45}.

messen, im Bereich des Weges und der Erweiterung nach Osten ein verkohlter Holzbalken auf mehr als 4 m Länge nachzuweisen. Es lässt sich vorsichtig der Schluss ziehen, dass es sich dabei um die Vorderkante (Rundholz mit mehr als 20 cm Durchmesser) des hölzernen Hüttensandorts gehandelt haben könnte. Der Ofen war stark feuergerötet und ausgeglüht. Er hatte typischer Weise keine feste Innensohle, hier wurde nur eine kräftige Lage Holzkohle angetroffen. Die lichten Maße belaufen sich auf fast 55 x 40 cm, die Höhe von Trittsteinoberkante bis Ofensohle beträgt etwa 80 cm.

3.2. Rekonstruktion der bronzezeitlichen Hüttenanlagen

Die Kupfererze entlang der Grauwackenzone wurden von der metallzeitlichen Bevölkerung bergmännisch abgebaut. Nach einer notwendigen Aufbereitung wurden die Kupfererze dann zu den Schmelzhütten transportiert, dort geröstet und in die Schachttöfen chargiert.

Zur Bauausführung der bronzezeitlichen Röstbette und Schachttöfen sind, dank der montanarchäologischen Grabungen an den Verhüttungsplätzen Versunkene Kirche, Oberschwärzen, Ehrnau, Meilerplatz, Flitzen II und Kohlanger II, umfangreiche Forschungsergebnisse vorhanden. Die Grabungsergebnisse zeigen nicht nur verblüffende lokale

Ähnlichkeiten, sondern auch Identitäten mit freigelegten Schmelzhütten quer durch die Ostalpen, weshalb man „Kohlanger II“ auch als Hüttenstandort vom „Ostalpinen Typ“ ansprechen kann. Die Evaluierung der montanarchäologischen Grabungen ermöglicht es, klare Aussagen bezüglich der Bauform der bronzezeitlichen Verhüttungsanlagen zur Rohproduktherstellung zu treffen^{17,33-49}.

Die Verhüttung der Kupfererze erfolgte in der Bronzezeit in Schmelzhütten, die in den Ostalpen nach einheitlichen Bauplänen errichtet worden waren. Die Bauausführung der Hüttenanlage und der Ablauf des Schmelzprozesses zur Rohkupfererzeugung lassen sich aus den Forschungsergebnissen des Arbeitskreises „Paltental“ nach **Abb. 5** folgendermaßen beschreiben:

- Zuerst wurden durch das Anlegen von Terrassen in den Berghang Arbeitspodien geschaffen, die mit gestampftem Lehm planiert waren.
- Auf dem am höchsten gelegenen Arbeitspodium wurde, durch eine Steinsetzung eingefasst, das Röstbett (lichte Weite 0,9 m, Länge > 6 m) schichtförmig aufgebaut, wobei eine nach ihrer Funktion noch nicht eindeutig geklärt Unterteilung des Bettes in mehrere Segmente üblich war. Dass das Rösten der Erze wichtig war, zeigen die zahlreichen Umbauphasen der Röstbette, z.B. an den Verhüttungsplätzen Flitzen II, Versunkene Kirche und Ehrnau.
- Neben dem Abrösten der Kupfererze und der Zuschläge (zur Schlackenbildung im Schmelzprozess) erfolgte auf dem oberen Arbeitspodium auch die diskontinuierliche Beschickung der Schachtofen mit geröstetem Erz, Zuschlägen (Quarz, Sandschlacke, respektive Retourschlacke) und Holzkohle.
- Entsprechend dem Materialfluss setzte man auf der tiefer liegenden Terrasse die Schachtofen in die Geländestufe hinein. Als kleinste metallurgische Baueinheit wurden dabei mindestens zwei Schachtofen (Zwillingsöfen) nebeneinander errichtet.
- Auf dem unteren Arbeitspodium wurde neben dem Abstechen der flüssigen Schlacke und dem Ziehen des festen Schwarzkupferkuchens aus dem Schachtofen der Wind (=Luft) eingeblasen. Die Windzufuhr erfolgte von vorne durch Tondüsen (Gebläsetöpfe) mit Hilfe von Blasbälgen. Diese

waren aus Ziegenbälgen gefertigt und besaßen ein kuhhornförmig gekrümmtes Keramikrohr zur Düse hin.

- Die abgestochene Schlacke (Laufschlacke) wurde nach dem Erstarren gebrochen und hangabwärts auf Halde geworfen bzw. als Sekundärrohstoff wieder aufbereitet.

Die einheitliche Bauweise der bronzezeitlichen Kupferhütten in den Ostalpen, die über 1500 Jahre nach diesem Muster errichtet wurden, führt zu dem Schluss, dass die Kupfererzeugung überregional nach gleichen Bauvorgaben (Bauplänen) bewerkstelligt wurde. Diese Aussage wird insbesondere durch die Feststellung bekräftigt, dass sämtliche Betreiber der Schmelzhütten in den Ostalpen ein einheitlich hohes metallurgisches Können und Wissen besessen haben müssen, wozu aber eine solide Ausbildung erforderlich war. Des Weiteren bezeugt dieses Ergebnis, dass in der gesamten Bronzezeit die über ein Jahrtausend angewandte Verfahrenstechnik der Rohkupfererzeugung im Schachtofen von den Hüttenleuten bereits schmelzmetallurgisch optimiert benutzt wurde.

4. Archäometallurgische Untersuchungsergebnisse - Beurteilung von Kupfererz- und Laufschlackenproben

Chemische Analysen von Laufschlacken weisen darauf hin, dass Kupfererze durch die Genese der Sulfide mit unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung im Paltental in der Bronzezeit verhüttet wurden³⁷. Ziel dieser Abhandlung ist es nun einerseits, durch Erzproben aus den bronzezeitlichen Verhüttungsplätzen und aus den im Paltental bekannten Erzlagerstätten⁵⁰⁻⁵³ Erkenntnisse über Erztyp und den Kupfergehalt dieser Erze zu erarbeiten. Andererseits wird über die Sulfid- und Rohkupfer einschüsse in den Laufschlacken eine Spurenverfolgung der Fertigprodukte bzw. eine Spurenverfolgung vom Kupfererz über die Laufschlacke zu den Roh- und Endprodukten in dieser Arbeit mit Verteilungskoeffizienten vorgenommen.

4.1. Erzproben

Der Produktionslinie vom Erz über Rohprodukt zum Endprodukt mit den Produktionsschritten Erzabbau, Erzaufbereitung, Rösten, Schmelzen, Raffi-

nieren, Legieren und Formgebung folgend, steht am Anfang der metallurgischen Untersuchungen die Kupfererzbewertung. Die Matrix der Erzprobe „Flitzen III“ besteht nach der mikroanalytischen Bewertung mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM) aus 34 Masse-% Cu, 27 Masse-% Sb, 23 Masse-% S, 5 Masse-% Fe und 1 Masse-% As (Erzanalysen in **Tabelle 3**). In den ausgeheilten Rissen ist das Antimon bis zu 37 Masse-% angereichert. Mikrokristalle von Polonium⁵⁴ und Zink mit Konzentrationen bis zu 1,5 Masse-% wurden in der Erzprobe „Flitzen III“ als Begleitelemente der Sulfide bestimmt. Die an einer Erzprobe aus der Lagerstätte „Forstweg/Büschendorf“/KG Rottenmann/OG Rottenmann mit dem REM durchgeführte Mikroanalyse mit 28 Masse-% Cu, 22 Masse-% Sb, 10 Masse-% S und 6 Masse-% Fe weist ebenso auf eine Antimonfahlerzlagerstätte hin (**Tabelle 3**).

sitzt eine chemische Zusammensetzung von 34 Masse-% Cu, 30 Masse-% Fe und 34 Masse-% S. Weiters wurden noch Spuren von Co, Ni, As und Sb bestimmt^{37,55}. Das Erz aus dem „Prenterwinkelgraben“ kann wiederum als Chalkopyrit bezeichnet werden.

Zwei Erzproben aus dem Johnsbachtal/OG Admont ergaben in der mikroanalytischen Bewertung mit 33 Masse-% Cu, 30 Masse-% Fe und 28 Masse-% S (Erzprobe, **Abb. 6 und 7**, von der „Grössinger Alm“/KG Johnsbach/OG Admont) und mit 25 Masse-% Cu, 22 Masse-% Fe und 26 Masse-% S (Erzprobe aus der Lagerstätte „Zossegg“/KG Johnsbach/OG Admont) einen Erztyp, der als Chalkopyrit zu bezeichnen ist. Festzuhalten ist, dass die Erzprobe aus der Lagerstätte „Zossegg“ erhebliche Gehalte an Spuren von Ce, Dy, Gd, Ir, La, Nd, Sm, W und Y ausweist, **Tabelle 4 und Abb. 8**.

Tabelle 3: Zusammenstellung von mit dem Rasterelektronenmikroskop bestimmten Erzanalysen aus dem Palten- und Johnsbachtal, Angaben in Masse-%

Probe Nr.	Probe Ort	Gemeinde	Cu	Fe	Sb	S	As
Erzprobe 1	Flitzen III	Gaishorn	34	5	27	23	1
Erzprobe 2	Forstweg	Rottenmann	28	6	22	10	
Erzprobe 3	Versunkene Kirche	Trieben	34	31		30	2
Erzprobe 4	Prenterwinkel	Rottenmann	34	30		34	
Erzprobe 5	Grössingeralm	Admont	33	30		28	
Erzprobe 6	Zossegg	Admont	25	22		25	

Ein vollkommen anderer Erztyp sind die Erzproben von der „Versunkenen Kirche“/KG Schwarzenbach/OG Trieben und von der Lagerstätte „Prenterwinkelgraben“ /KG Bärndorf/OG Rottenmann. Am Verhüttungsplatz „Versunkene Kirche“ wurde u.a. Chalkopyrit eingeschmolzen, als Begleitelement in einer Konzentration von 2 Masse-% wurde Arsen (Arsenfahlerz) analysiert. Die Erzprobe „Prenterwinkelgraben“/KG Bärndorf/OG Rottenmann be-

Aus den Kupfererzuntersuchungen zusammengefasst lässt sich für das Palten- und Johnsbachtal Folgendes festhalten: In der Bronzezeit wurden Chalkopyrit und Antimonfahlerz mit Kupfergehalten von 24 bis 35 Masse-% im Schachtofen verhüttet. Die Fahlerze besitzen einen hohen Anteil an Spurenelementen, die sich in den Rohprodukten (Schwarzkupferkuchen) wiederfinden sollten. Bei genauer metallographischer Befundung der Erzty-

Tabelle 4: Mikroanalytischer Befund der in Abb. 8 markierten Analysenorte; Angaben in Masse-%

Element	S	Fe	Cu	Y	Sm	Gd	Dy	Ir
Probe								
Spektrum 1	25,3	22,9	24,5					
Spektrum 2	22,9	21,7	21,4					
Spektrum 3		5,1		11,5	1,0	1,9	2,2	21,9



Abb. 6: Handstein mit Chalkopyrit vom Fundort „Grössingeralm“/KG Johnsbach/OG Admont.

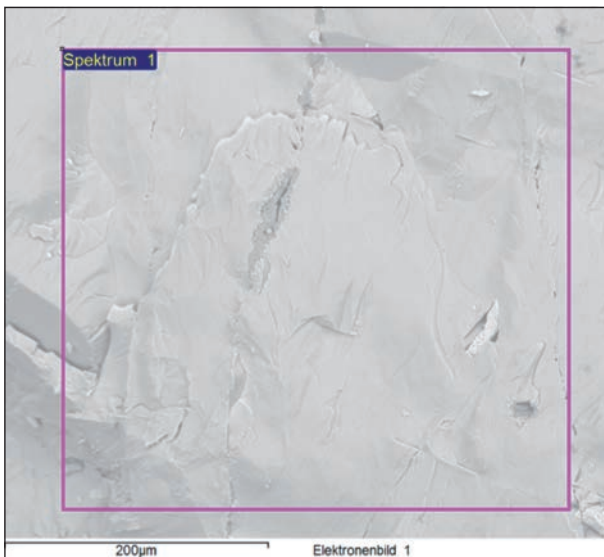


Abb. 7: Rückstreuelektronenbild des Chalkopyrit in der Erzprobe „Grössingeralm“/KG Johnsbach/OG Admont. Mikrokristalle von Barium- und Bleisulfiden konnten an der Probenoberfläche am REM bestimmt werden.

pen erkennt man, dass die Chalkopyrite stark mit Pyriten verwachsen sind. So sind die Chalkopyrite von den Lagerstätten „Kalcher“ sowie aus dem „Lorenzer Graben“ mit Sb- und Co-haltigen Pyriten vermengt⁵⁶. Daraus erkennt man, dass in der Bronzezeit eine optimierte Erzaufbereitung notwendig war. Andererseits ermöglichen diese mikroanalytischen Befunde vor allem der Spurenelemente Rückschlüsse auf die unterschiedliche Genese der Lagerstätten zu tätigen⁵⁷.

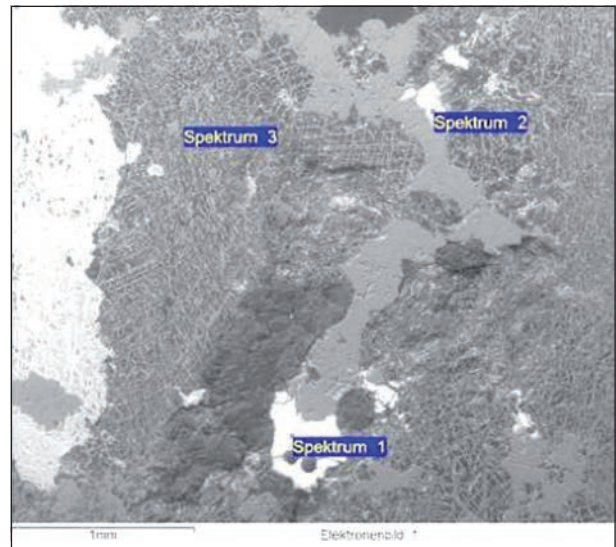


Abb. 8: Rückstreuelektronenbild eines Anschliffs einer Erzprobe vom Fundort „Zossegg“/KG Johnsbach/OG Admont.

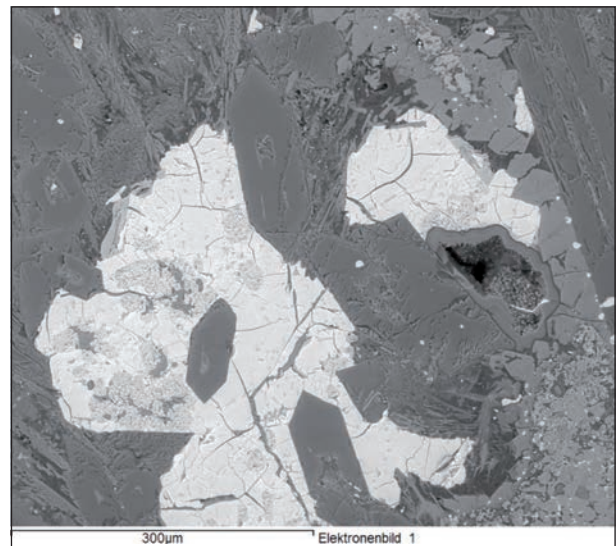


Abb. 9: Schliffbild einer Laufschlackenprobe vom Schmelzplatz „Versunkene Kirche“/KG Schwarzenbach/OG Trieben mit kantigen Sulfideinschlüssen, ungeätzt; Neben der polykristallin erstarrten Schlackenmatrix sind im Bild zwei nur z.T. aufgeschmolzene kantige Kupfererzkörner sichtbar⁵⁷.

4.2. Schlackenproben

Auf den bronzezeitlichen Verhüttungsplätzen, an denen Kupfererz verhüttet wurde, befinden sich überall Schlackenhalde. Aus diesen Schlackenhalde kann man für analytische Untersuchungen repräsen-

tative Mengen an Schlackenproben entnehmen. Damit ist es dem Hüttenmann möglich, Rückschlüsse auf den Ablauf der Schmelzmetallurgie im Schacht-ofen und auf die Qualität der erschmolzenen Roh-produkte zu ziehen^{35,37,39,40,44,45,58-61}. Das Gefüge einer bronzezeitlichen Laufschlacke, entnommen aus der Schlackenhalde am Schmelzplatz „Versunkene Kir- che“/KG Schwarzenbach/OG Trieben, zeigt neben der polykristallin eutektisch erstarrten Matrix und einzelnen primär gebildeten Fayalitkristallen zwei noch nicht, bzw. nur zum Teil aufgeschmolzene kan- tige Kupfererzkörner (**Abb. 9**).

Nach mikroanalytischen Bestimmungen besteht die Matrix der globular erstarrten Kupferoxisulfide aus 49 Masse-% Cu, 30 Masse-% S, 17 Masse-% Fe und 3 Masse-% O (**Tabelle 5**). Die eutektische sek- undär gebildete Komponente besitzt einen höheren Anteil an Fe. Die zuletzt erstarrte Komponente im

ten vorhanden, die einen hohen Anteil an As mit 20 Masse-%, an Sb mit 10 Masse-%, an Co mit 8 Mas- se-% und an Ni mit 5 Masse-% ausweisen. Diese hohen Gehalte an As, Sb, Co und Ni in den Sul- fideinschlüssen weisen darauf hin, dass im Schacht- ofen am Verhüttungsplatz „Versunkene Kirche“ ne- ben Chalkopyrit auch Fahlerze eingeschmolzen wurden.

Neben der Schwarzkupferphase mit 76 Masse-% Cu, 5 Masse-% Fe und 0,3 Masse-% S, die sich durch Entmischung aus dem Kupferstein gebildet hat, sind in einer Laufschlacke aus der Schlacken- halde des Schmelzplatzes „Kohlanger II“/KG Johnsbach/OG Admont noch zahlreiche Kupferoxi- sulfidkomponenten mit 69 Masse-% Cu, 12 Mas- se-% Fe und 0,8 Masse-% S zu erkennen (**Abb. 10 und 11 sowie Tabelle 6**).

Die kurze Abhandlung über Sulfid-, Oxisulfid-,

Tabelle 5: Zusammenstellung von mit dem Rasterelektronenmikroskop bestimmten Analysen von Oxi- sulfid-, Kupferstein- und Rohkupfereinschlüssen in Schlackenproben aus dem Palten- und Johnsbach- tal, Angaben in Masse-%

Probe Nr.	Fundort	Einschlusstyp	Cu	Fe	S	Sb	O
Schlacke 1	Versunkene Kirche	Oxisulfid	49	17	30		3
Schlacke 2	Versunkene Kirche	Oxid	9	40	6	1	39
Schlacke 3	Kohlanger II	Schwarzkupfer	76	5	0,3		
Schlacke 4	Kohlanger II	Kupferstein	69	12	0,8		

Kupfersulfid (dunkelgraue Phase) ist bereits ein Oxid mit 40 Masse-% Fe, 39 Masse-% O, 9 Mas- se-% Cu, 6 Masse-% S und 1 Masse-% Sb. Aus der geometrischen Form der Eisenoxide erkennt man, dass diese Eisenoxide flüssig waren. Innerhalb der Kupfersulfidmatrix der Schlackenprobe „Versunke- ne Kirche“ sind noch helle, lichtgraue Kompenen-

Oxid- und Schwarzkupfereinschlüsse in Schlacken- proben zeigt, dass man sehr erfolgreich ein Wissen über die verhütteten Erztypen und deren chemischer Zusammensetzung generieren kann. Mit Hilfe der mikroanalytischen Untersuchungsmethoden kann man zielführend einerseits Kenntnisse über den Ab- lauf des Schmelzprozesses erarbeiten, andererseits ist

man im Stande, das Verhalten der Be- gleitelemente während des Schmelz- prozesses sowie den Einfluss auf die Qualität der Rohprodukte abzuleiten.

Entsprechend der Mischungslücke im ternären System Cu–Fe–S entmischt sich im weiteren Prozess das Rohkup- fer aus der Kupfersteinschmelze und sammelt sich auf Grund der höheren Dichte an der Ofensohle an. In **Tabelle 7** sind neben den chemischen Analysen des mehrschichtigen Kupferkuchens aus der Verhüttungsanlage „Versunke-

Tabelle 6: Mikroanalytischer Befund der in Abb. 11 markier- ten Analysenorte, Angaben in Masse-%

Element	O	S	Mn	Fe	Cu
Probeort					
Spektrum 1	6,7	0,3		5,2	76,4
Spektrum 2	9,1	0,8		12,4	69,1
Spektrum 3	25,9			62,3	4,3
Spektrum 4	37,9		0,5	31,6	2,9
Spektrum 5	16,6			13,4	61,7
Spektrum 6	28,5			60,6	3,6

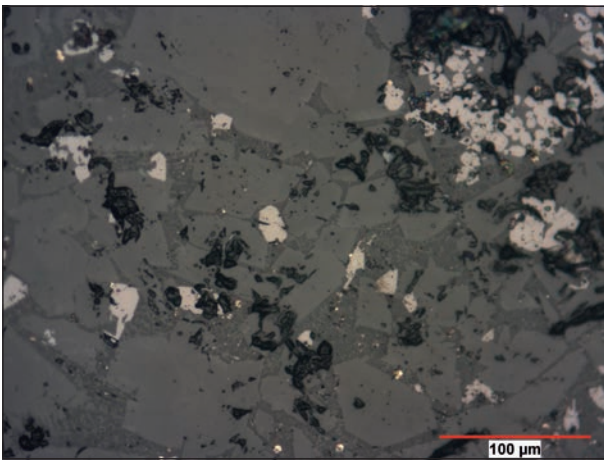


Abb. 10: Gefüge einer Laufschlacke vom Fundort „Kohlanger II“/KG Johnsbach/OG Admont.

ne Kirche“/KG Schwarzenbach/OG Trieben auch die Verteilungskoeffizienten einiger Spurenelemente eingetragen. Daraus kann man folgende Erkenntnisse ableiten: Die Spurenelemente As, Co, Ni, Sb, Pb, Ag und Au reichern sich im Rohkupfer (=Schwarzkupfer) an. Besitzt man die chemischen Analysen von Kupferstein, bzw. von Kupferstein-einschlüssen in Laufschlacken (Tabelle 5 und 6), ermöglichen die Verteilungskoeffizienten L_{V1} die Berechnung der Spurenelemente im Rohkupfer. Dies ist eine Möglichkeit, um an statistisch abgesicherte Erkenntnisse über den Gehalt an Spurenelementen in bronzezeitlichen Rohprodukten zu gelangen. Bei diesen Untersuchungen hat sich aber gezeigt, dass die genannten Einschlüsse in den Laufschlacken stark inhomogen sind. Daher ist es, um statistisch abgesicherte Aussagen tätigen zu können, eine Notwendigkeit, eine große Anzahl von Laufschlackenproben aus vielen Verhüttungsplätzen mikroanalytisch zu bewerten.

Die mittels Neutronenaktivierungsanalyse ermittelten analytischen Spurenkomponenten von Lauf-

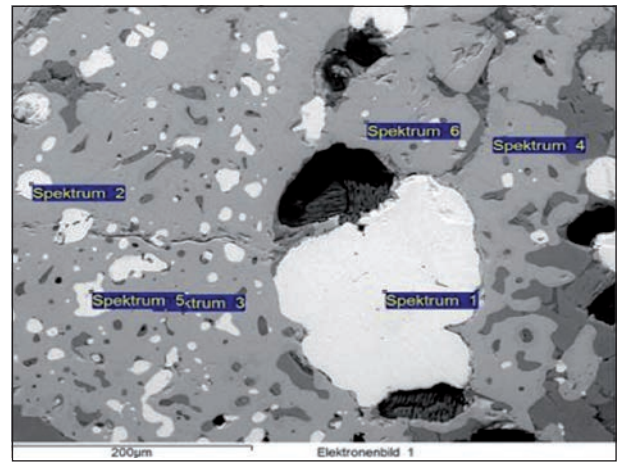


Abb. 11: Schliffbild einer Laufschlackenprobe vom Schmelzplatz „Kohlanger II“/KG Johnsbach/OG Admont, ungeätzt; Neben der Schwarzkupferphase mit 76 Masse-% Cu, 5 Masse-% Fe und 0,3 Masse-% S, die sich durch Entmischung aus dem Kupferstein gebildet hat, sind noch zahlreiche Kupfersulfidkomponenten mit 69 Masse-% Cu, 12 Masse-% Fe und 0,8 Masse-% S zu erkennen.

schlacken sind in den Tabellen 8 und 9 zusammengestellt. Die Durchsicht der einzelnen Spalten in Tabelle 8 zeigt für die Elemente As, Co, Pb und Zn eine klare Gruppenbildung, die den beiden Regionen Paltental bzw. Johnsbachtal zuordenbar sind. Der Arsengehalt der Paltentaler Laufschlacken liegt im Mittel bei 1040 Masse-ppm, in den Johnsbacher Laufschlacken beträgt der Arsengehalt im Mittel 158 Masse-ppm. Für die Kobaltgehalte sind für die Paltentaler Laufschlacken Analysenwerte von 163 bis 558 Masse-ppm ausgewiesen, für die Johnsbacher Laufschlacken wurde für Kobalt im Mittel ein Wert von 69 Masse-ppm errechnet. Diese vorgenommene Bewertung der einzelnen Elemente in den Laufschlacken geht besonders deutlich aus den Darstellungen in den Abb. 12 und 13 hervor. Vergleicht man den Zusammenhang des Kupfergehal-

Tabelle 7: Chemische Analysen von Kupferstein, Schwarzkupfer (Rohkupfer) und kupferreicher Speise aus der Verhüttungsanlage „Versunkene Kirche“/KG Schwarzenbach/OG Trieben; Angaben in Masse-%; Au in Masse-ppm

Cu	As	Co	Ni	Sb	Pb	Fe	S	Ag	Au	Produkt
45,79	4,39	0,42	0,24	2,43	0,40	26,90	18,8	0,028	0,54	Kupferstein
54,00	24,00	0,72	0,55	7,90	0,74	12,20	0,1	0,044	60,00	Speise
80,13	8,64	1,65	2,44	6,45	1,33	4,50	0,5	0,121	6,12	Rohkupfer
0,57	0,51	0,25	0,10	0,38	0,30	5,98	37,6	0,23	0,09	L_{V1}

L_{V1} = Verteilungskoeffizient = Masse-% im Kupferstein/Masse-% im Rohkupfer

Tabelle 8: Chemische Analysen von Spurenelementen in ausgewählten spätbronzezeitlichen Kupferlaufschlacken aus dem Palten- und Johnsbachtal; Angaben der Metalle in Masse-ppm, Schwefel in Masse-%; verwendete Standards: G-2, SDC-1;SCO-1

Fundplatz	Talschaft	As	Co	Ni	Sb	Zn	Pb	Cu	S
Schlosser	Paltental – Liesingtal	1020	382	38	116	117	25	5679	0,19
Versunkene Kirche		895	353	50	103	246	33	7341	0,34
Meilerplatz I		865	201	173	928	312	43	11490	0,47
Flitzen I		1490	558	41	327	273	68	5210	0,17
Flitzen II		1040	163	451	254	252	50	6399	0,33
Flitzen III		1020	377	41	411	258	44	6973	0,28
Langteichen I		33	65	105	16	181	25	9064	1,38
Braunruck I		133	96	42	147	127	27	6604	0,49
Braunruck III		364	205	80	281	105	8	14593	0,79
Haberlalm		370	62	56	454	205	22	8855	0,66
Kölblalm	Johnsbachtal – Neuburgalm	124	65	74	354	141	15	13360	0,60
Ploden/Odelsteinhöhle		212	59	63	624	160	7	15660	0,67
Schröckalm		118	65	142	211	132	4	20120	0,71
Kohlanger I		185	69	63	602	192	23	9591	0,53
Finsterbergeralm		151	86	84	707	690	40	12030	0,65
Foiltbaueralm J8		353	57	50	1050	169	20	9942	0,42
Kühgatschboden J1		79	54	53	60	85	20	7828	0,38
Goaßsteig J9		291	42	44	314	99	10	6483	0,41

Tabelle 9: Chemische Analysen von Spurenelementen in ausgewählten spätbronzezeitlichen Kupferlaufschlacken aus dem Palten- und Johnsbachtal; Angaben der Elemente in Masse-ppm, Gold in Masse-ppb; verwendeter Standard: DMMAS-18-131

Fundplatz	Talschaft	Au	Ag	Ba	Bi	Ce	La	Sm	U	Yb
Schlosser	Paltental	75	2,1	580	11	26	13,6	5,5	2,7	3,9
Versunkene Kirche		56	0,3	910	11	36	18,0	8,9	1,7	8,1
Meilerplatz I		227	2,7	480	15	39	22,1	6,4	<1	5,8
Meilerplatz II		40	1,1	210	20	33	19,0	3,9	5,1	4,2
Flitzen I		80	1,1	1500	28	31	16,5	7,0	<1	6,8
Flitzen II		<1	0,5	210	13	56	33,1	7,8	3,0	8,2
Kölblalm	Johnsbachtal	44	0,6	110	26	25	14,4	5,6	5,8	3,5
Ploden/Odelsteinhöhle		68	0,6	800	33	28	17,2	5,8	5,3	3,5
Schröckalm		24	0,3	250	27	24	14,0	5,3	4,1	3,3
Kohlanger I		47	0,4	770	27	34	20,4	5,7	3,9	3,8
Finsterbergeralm		<1	1,4	150	36	23	13,6	3,8	<1	2,4

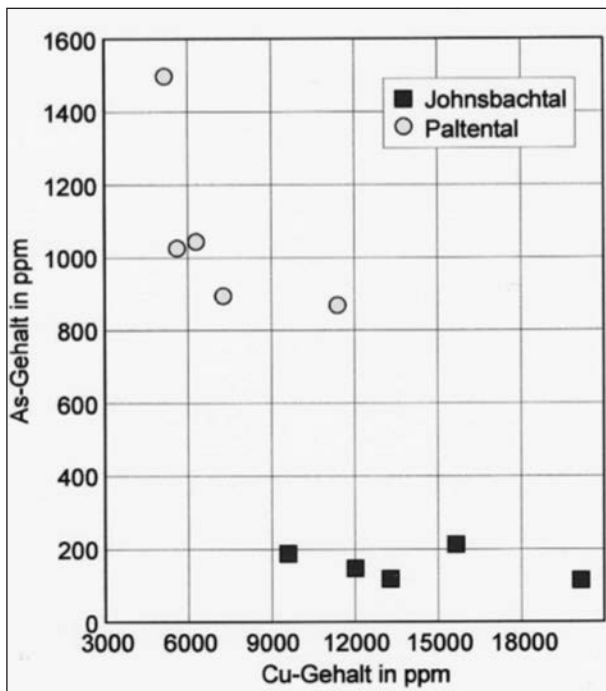


Abb. 12: Zusammenhang zwischen dem Kupfer- und Arsengehalt der Laufsclacken in den einzelnen Talschaften^{59,61}.

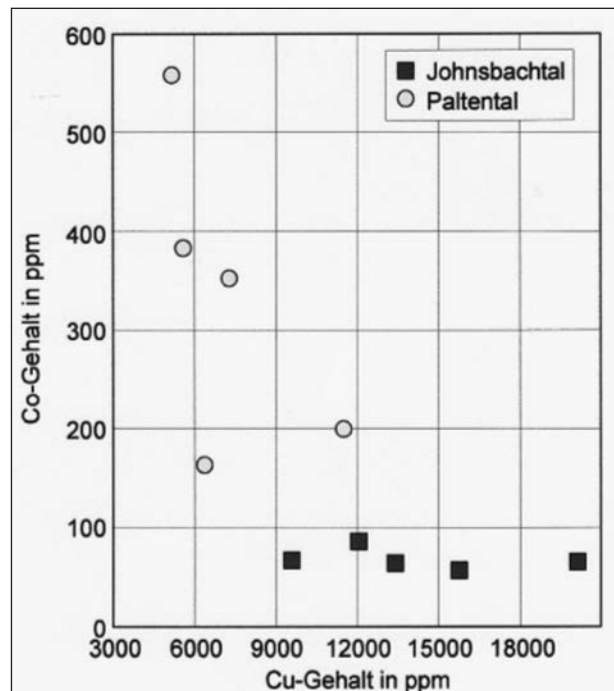


Abb. 13: Zusammenhang zwischen dem Kupfer- und Kobaltgehalt der Laufsclacken in den einzelnen Talschaften^{45,59,61}.

tes der Laufsclacken mit den Gehalten an As, Co oder Pb, so haben die Paltentaler Laufsclacken einen wesentlich höheren As-, Co- und Pb-Gehalt als die Johnsbacher Laufsclacken⁶¹.

Ebenso sind aus den errechneten Verteilungskoeffizienten L_{V_2} (= Masse-% in der Laufsclacke/Masse-% im Rohkupfer) Rückschlüsse auf die Qualität der Rohprodukte zu erwarten. Aus den chemischen Analysen der Laufsclacke und dem Rohkupfer aus den Proben von der „Versunkenen Kirche“/KG Schwarzenbach/OG Trieben errechnet sich für Arsen ein $L_{V_2} = (0,0895/8,64) = 0,010$. Weitere Probenahmen und chemische Analysen von den anderen bereits bekannten Verhüttungsplätzen scheinen daher sinnvoll, um mit einer Großzahlauswertung von chemischen Analysen (Clusteranalysen) gefestigte quantitative Aussagen über Erzlagerstätten und Rohprodukte abzuleiten. Die Untersuchungen an Laufsclacken mit den beiden vorgeschlagenen Methoden – nasschemische Analyse, Mikroanalyse – würde das Wissen über die Metallproduktherstellung in der Bronzezeit erweitern.

Zusammenfassend kann man aus den Analysen der Spurenelemente (**Tabelle 8 und 9**) folgende Aussagen tätigen:

- Die Berg- und Hüttenarbeiter haben eine Vielzahl an chemisch unterscheidbaren Erztypen abgebaut und in Schachtöfen verhüttet.
- Die Schmelzmetallurgen haben es bei der Kupferproduktion in der Bronzezeit durch ihr empirisch erarbeitetes Fachwissen verstanden, die durch die Erze eingebrachten Spurenelemente in Raffinationsschritten zu entfernen, bzw. als Legierungselemente zur Qualitätsverbesserung zu nützen. Damit waren sie in der Lage, nachhaltig Fertigprodukte von ausgezeichnet hoher Qualität zu produzieren.
- Wenn in montanarchäologischen Forschungen der Verfahrensschritt „Aufbereitung“ der einzelnen Kupfererze noch zu wenig berücksichtigt wurde, waren die erzspezifischen Aufbereitungen bei den Verwachsungen der Erze im Paltental in der Bronzezeit ein unverzichtbarer Verfahrensschritt³⁷.

In den letzten Jahren wurden in den in diesem Kapitel beschriebenen Projekten eine Vielzahl an Erz- und Schlackenuntersuchungen vorgenommen und dokumentiert. Von einer Veröffentlichung aller Untersuchungsergebnisse wird von den Autoren bewusst Abstand genommen, da einerseits von den Gebietskörperschaften und Institutionen nur gering



Abb. 14: Makroaufnahme des Keramikfundes aus der Schlackenhalde „Grössingeralm“/KG Johnsbach/OG Admont; grobe Ware mit Fingertupfenleiste; Töpferware einer Frau.

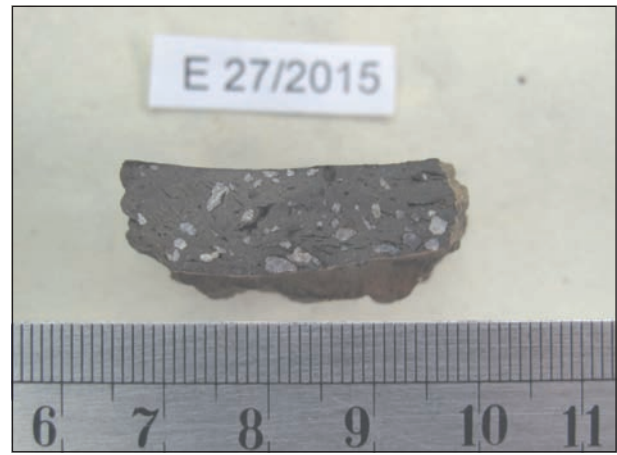


Abb. 15: Angeschliffene Bruchfläche des Keramikfundes mit Fingertupfenleiste aus der Schlackenhalde „Grössingeralm“/KG Johnsbach/OG Admont; Abbildung der Verteilung der Grobkornmagerung.

ges Interesse an den Forschungsergebnissen besteht, und andererseits von den anscheinend überforderten Behörden Strafanzeigen und schriftliche Diskriminierungen ausgestellt wurden^{62,63}.

5. Materialkundliche Untersuchungen von Keramikfragmenten

Ausgehend von den Fragestellungen bei den werkstoffkundlichen Untersuchungen der Metallprodukte treten auch bei der Beurteilung der Keramikwerkstoffe viele Fragen über die Arbeitsmethoden der bronzezeitlichen Töpfer auf, deren Beantwortung mit naturwissenschaftlichen Befunden ergänzt werden sollen. So werden die folgenden Fragen

- chemische Zusammensetzung der Keramiken
- Anteile der mineralischen Komponenten
- Korngröße und Kornverteilung der Magerung
- Herstellungstechnologie
- Herkunft der Rohstoffe
- Überprüfung einer lokalen Produktion

für das Johnsbachtal kurz abgehandelt. Die veröffentlichten Befunde der Keramikuntersuchungen von Funden aus dem Paltental⁶⁴⁻⁷⁰ bilden dazu die Grundlage der naturwissenschaftlichen Bewertung.

Bei der Keramikprobe E27/15 – „Grössingeralm“/KG Johnsbach/OG Admont; grobe Ware mit Fingertupfenleiste; Töpferware einer Frau aus dem

Johnsbachtal – handelt es sich um ein tonkeramisches Produkt in der üblichen Bedeutung dieser Bezeichnung (**Abb. 14**). Hauptrohstoff ist Ton (69,1 Masse-% SiO_2 , 18,8 Masse-% Al_2O_3 und 12,1 Masse-% FeO_n – normiert auf 100 Masse-%), der mit Silicatgesteinen gemagert wurde. Die chemische Zusammensetzung der Gebrauchskeramikprobe verdeutlicht, dass die chemischen Analysen von SiO_2 , Al_2O_3 und Fe_2O_3 in einem sehr engen Streubereich liegen, d.h., dass für die Keramikherstellung ein tonhaltiges Rohstoffgemenge von einer ganz bestimmten Qualität hergestellt wurde⁶⁸.

Ein weiteres Qualitätskriterium war die Magerung der Schichtsilicate. Diese Magerung hat die Aufgabe, die Schwindung beim Trocknen und beim Brand zu vermindern und dadurch eine rissfreie Herstellung zu ermöglichen. Ihre Menge und Korngröße ist daher vom Töpfer so zu bemessen, dass die Verminderung der Schwindung ausreichend ist, trotzdem jedoch eine plastische Formgebung mit der Hand möglich ist. Diese beiden Erfordernisse sind nicht gleichzeitig optimal einhaltbar. Eine Übersicht des Gefüges der Probe E27/15 ist in **Abb. 15** dargestellt. Die Grobkeramik besteht aus den Tonkomponenten (Schichtsilicate als Bindematrix) und den Magerungsanteilen (Glimmer/Muskovit, Quarz, Albit, Granat und Rutil). Man erkennt im Gefüge die Verteilung der Körner, die Korngröße und die Verdichtung des Tones durch den Professionalisten. Die aufbereiteten, kantigen Magerungskomponenten sind beinahe gleichmäßig über die Probenfläche

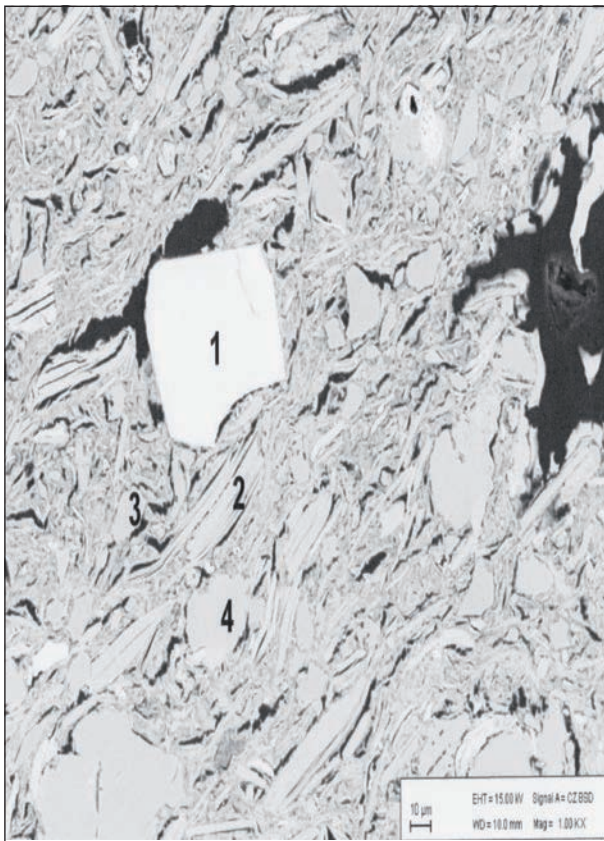


Abb. 16: Auflichtmikroskopische Aufnahme des Gefüges einer Grobkeramik aus der Schlackenhalde „Grössingeralm“/KG Johnsbach/OG Admont.

1 – Granat; 2 – Glimmer; 3 – Albit; 4-Quarz.

verteilt eingearbeitet. Die Dimension der Grobkörner ist z.T. größer als 2mm. Eine Detailaufnahme des Gefüges zeigt **Abb. 16**. Im Weiteren ist in den Schlifffbildern (**Abb. 15 und 16**) eine relativ hohe Porosität aufgrund der beschränkten Verdichtung durch die händische Formgebung festzustellen.

Bezüglich der Herkunft der Rohstoffe kann aufgrund der geologischen Bedingungen im Fundgebiet der Keramikprobe davon ausgegangen werden, dass diese im näheren Umkreis der Verhüttungsanlagen gewonnen wurden. Da für den Bau der Verhüttungsanlagen eine Unmenge an Lehm (Ton) benötigt wurde, ist, wie aus dem Paltental bekannt, eine Tonlagerstätte meist in unmittelbarer Nähe der Verhüttungsanlage anzutreffen. Die quarzreichen Magerungsbestandteile könnten einerseits dem Schwemmsand eines dem Verhüttungsplatz nahe gelegenen Baches entstammen. Auch die in den Keramiken identifizierten Feldspäte und Glimmer sind aufgrund ihres Vorkommens in der Grauwackenzone dafür ein Indiz. Andererseits ist Quarz als Gang-

material der Kupfererze in großen Mengen vorhanden und fällt bei der Aufbereitung der Kupfererze als Sekundärprodukt an. Eine Zerkleinerung der Sekundärprodukte in die benötigte Korngröße für die Magerung des Tones ist daher wahrscheinlich. Man hat daher für den jeweiligen Einsatz der Keramik (Feinkeramik, Grobkeramik, Industrie-/Feuerfestkeramik) die erforderliche Qualität der Rohstoffe vor Ort hergestellt⁶⁴⁻⁷⁰.

Fasst man die Erkenntnisse dieser Untersuchung an den mittelbronzezeitlichen Keramikproben vom Arbeitsplatz „Schlosser“/KG Schwarzenbach/OG Trieben und die Ergebnisse der Keramikuntersuchungen vom urnenfelderzeitlichen Verhüttungsplatz „Versunkene Kirche“/KG Schwarzenbach/OG Trieben sowie von der „Grössingeralm“/KG Johnsbach/OG Admont zusammen, so sind bei der Keramikherstellung die chemische Zusammensetzung des Tones, die Magerung und der Brenngrad neben dem handwerklichen Können des Töpfers die angewandten Qualitätskriterien. Es gab daher Werkstätten, in denen Spezialisten arbeiteten, die über Kenntnisse der Rohstoffbeschaffung und Zubereitung, d.h. in welchem Verhältnis bestimmte Tonsorten gemagert werden mussten, verfügten. Des Weiteren mussten die Experten ein Know-how besitzen, wie man einen sogenannten Grubenbrand führt oder wie man Öfen zum Brennen baut, um rissfreie Keramikprodukte unterschiedlicher Qualität herzustellen. Es waren organisierte Arbeitsplätze – für Bergbau, Schmelzhütten, Keramikwerkstätten –, in denen Spezialisten die Arbeiten ökonomisch verrichteten.

In Summe ist daraus abzuleiten, dass nicht nur in der Metallurgie, sondern auch bei den Keramiken und Feuerfestmaterialien ein technologisches Know-how vor Ort vorhanden war.

6. Resümee und Ausblick

Die freigelegten metallurgischen Anlagen sowie die geborgenen und werkstoffkundlich bewerteten Funde von Schlacken, Roh- und Fertigprodukten geben ein Zeugnis ab für das exzellente Können der urzeitlichen Berg- und Hüttenleute sowie der Metallarbeiter. Für die Herstellung von funktionstüchtigen, reproduzierbaren Fertigprodukten waren zahlreiche Produktionsschritte – Prospektion, Abbau der Kupfererze, Aufbereitung und Rosten der Kupfererze sowie der Schlackenbildner, Bau der metallurgi-

schen Anlagen, Schmelzen der Kupfererze, Raffinieren und Legieren der Rohprodukte, Gießen und Bearbeiten der Fertigprodukte, Handel mit den Fertigprodukten – notwendig. Für jeden einzelnen Produktionsschritt, vergleiche z.B. das Bergwesen mit der Metallverarbeitung, musste jeweils ein spezielles fachliches Wissen über die jeweilige Tätigkeit erlernt und vermittelt werden. Die in dieser Veröffentlichung beschriebenen Beispiele der schmelzmetallurgischen Verfahrenstechnik in den Verhüttungszentren sind ein Beleg für einen überregional betriebenen Austausch von fachspezifischem Wissen der Metallurgen sowie von den handwerklichen Erfahrungen der Gießer und Schmiede zumindest im Kulturraum der Ostalpen, wenn nicht darüber hinaus.

Neben der für den Bergbau und den Schmelzprozess notwendigen technologischen Infrastruktur sollten auch die menschlichen Erfordernisse von einem Verhüttungszentrum erfüllt werden, d.h. es sollte ein längerfristiges Wohnen und ein glückliches Familienleben sowie Ackerbau, Viehzucht, Vorratshaltung, usw. in der Nähe der Verhüttungsanlagen möglich sein^{46,70-73}. Gehen wir einmal davon aus, dass in der obersteirischen Grauwackenzone durch die Kupfererze eine blühende und florierende Industriegesellschaft bestand, dann muss es eine Vorratswirtschaft gegeben haben. Bergleute sind in der Grube rund um die Uhr beschäftigt. Gleiches gilt aber auch für die Aufbereitung und den Schmelzbetrieb, gegebenenfalls auch für die Holzbringung und die Köhlerei. Die Agrarwirtschaft war wohl auf diese Arbeitsteilung hin optimiert. Bergbau, Hüttenbetrieb, Ackerbau, Viehzucht und Vorratshaltung benötigen eine organisierte Arbeitsteilung. Arbeitsteilung wiederum setzt eine größere Gemeinschaft von Menschen voraus.

Ein funktionierendes Dorfleben auch in den entlegenen Alpentälern war also eine Voraussetzung für eine blühende nachhaltige bronzezeitliche Montanindustrie.

Die Anzahl der Dörfer und die Bevölkerungsdichte in den Dörfern der Ennstaler und Eisenerzer Alpen sowie der Rottenmanner Tauern war in der Bronzezeit von der Nachfrage nach Kupfer und Bronze abhängig. Dass die Menschen in den Siedlungen durch den Metallprodukthandel auch gute Beziehungen zu den nordwestlichen und südöstlichen Voralpengebieten besessen haben, ist wohl jedem einleuchtend.

Diese Zeilen sollen einen Zwischenbericht über die erfolgreiche, interdisziplinäre Zusammenarbeit zur Generierung von Wissen über die Metallurgie in der Bronzezeit am Beispiel „Montanarchäologie“ für den geneigten Leser bilden. Die Ergebnisse bilden eine wissenschaftliche montanarchäologische Basis für weitere zukünftige Arbeiten nicht nur im Fachbereich Archäometallurgie, sondern sie sollten vor allem zu Arbeiten mit sozialen Inhalten anregen und diese fördern.

Danksagung

Die archäometallurgischen Proben wurden an der Montanuniversität Leoben am Lehrstuhl für Eisen- und Stahlmetallurgie, am Lehrstuhl für Gesteins- hüttenkunde und am Lehrstuhl für Geologie und Lagerstättenlehre sowie in der voestalpine Werk Linz, Abteilung - Metallkundliche Analytik und Oberflächenanalytik, untersucht, wofür sich die Autoren herzlich bedanken.

Anmerkungen:

- 1 Ernst PREUSCHEN, Kupfererzlagerstätten in der Steiermark. In: Der Bergmann, Der Hüttenmann – Gestalter der Steiermark, Katalog der 4. Landesausstellung, (Graz 1968), 185-188.
- 2 Ernst PREUSCHEN /Richard PITTIONI, Neue Beiträge zur Topographie des urzeitlichen Bergbaues auf Kupfererz in den österreichischen Alpen. In: *Archaeologia Austriaca* 18 (1955), 45-79.
- 3 Walter MODRIJAN, Die Erforschung des vor- und frühgeschichtlichen Berg- und Hüttenwesens und die Steiermark. In: Der Bergmann, Der Hüttenmann – Gestalter der Steiermark, Katalog der 4. Landesausstellung, (Graz 1968), 41-87.
- 4 Gerhard SPERL, Aere Perennior in honorem Ernst Preuschen (1898 – 1973) und 25 Jahre Arbeitskreis Johnsbach. In: *res montanarum* 46 (2009), 17-20.
- 5 Gerhard SPERL, Zur ehemaligen Kupfergewinnung in der Radmer und im Johnsbachtal. In: *Montangeschichte des Erzberggebietes*, Vorträge der Arbeitstagung 17.-19.11.1978 in Vordernberg 1979, 135-145.
- 6 Gerhard SPERL (Hg.), Protokolle des Arbeitskreises Johnsbach, Erich-Schmid-Institut, ÖAW, Leoben – 8.7.1976, 21.5.1977, 30.6.1978, 18.8.1988.
- 7 Gerhard SPERL, Geschichte und Stand der Montanarchäologie in Österreich. In: *res montanarum* 34 (2004), 85-92.
- 8 Susanne KLEMM, Die Erforschung der prähistorischen Kupfergewinnung in den Eisenerzer Alpen 1955 – 2005. In: *res montanarum* 38 (2006), 26-36.
- 9 Susanne KLEMM, *Montanarchäologie in den Eisenerzer Alpen, Steiermark*, (Wien 2003).
- 10 Horst WEINEK, *Kupfererzeugung, historischer Kupferbergbau und Montandenkmäler in der Grauwackenzone der Eisenerzer Alpen im Raum Eisenerz, Radmer und Johnsbach*. Diss. Montanuniversität Leoben 2001.

- 11 Horst WEINEK, Prähistorische Schlackenplätze auf der Sonnseite im Johnsbachtal (Steiermark) – wo waren die dazugehörigen Bergbaue? In: *res montanarum* 37 (2006), 32-37.
- 12 Horst WEINEK, Prähistorischer Kupfererzbergbau zwischen Eisenerz und Johnsbach – welche Indizien gibt es dafür? In: *res montanarum* 46 (2009), 30-34.
- 13 Josef HASITSCHKA, Die Erforschung der Johnsbacher Bergbaue. In: *res montanarum* 46 (2009), 21-29.
- 14 Georg WALACH, Prähistorischer Kupferbergbau in den Eisenerz-Alpen (Steiermark). In: *res montanarum* 34 (2004), 60-64.
- 15 Gerhard SPERL/Hubert PRESSLINGER, Frühes Berg- und Hüttenwesen rund um das Gesäuse. In: *Österreichischer Kalender für Berg, Hütte, Energie* (Wien 1980), 151-157.
- 16 Von den Kommunen erfolgte mit Ausnahme der Stadtgemeinde Trieben keine finanzielle Unterstützung der montanarchäologischen Projekte.
- 17 Clemens EIBNER/Hubert PRESSLINGER, Montanarchäologische Grabungsergebnisse bronzezeitlicher Kupferverhüttungsplätze – Rekonstruktion der metallurgischen Aggregate. In: Hubert PRESSLINGER/Clemens EIBNER (Hgg.): *Der Beginn der Metallzeiten im Bezirk Liezen – eine montanarchäologische Dokumentation*. In: *Kleine Schriften Schloss Trautenfels Universalmuseum Joanneum* 31 (2014), 9-19.
- 18 Georg WALACH/Georg Karl WALACH, Frühes Berg- und Hüttenwesen zwischen Palten-, Liesing-, Johnsbachtal und Admont – Verzeichnis der Bodendenkmale. In: *res montanarum* 33 (2004), 11-14.
- 19 Georg WALACH, Die bronzezeitliche Kupfergewinnung im Palten- und im Liesingtal, Prospektionsbefunde und vergleichende Bewertung. In: *res montanarum* 33 (2004), 15-22.
- 20 Hubert PRESSLINGER/Georg WALACH /Clemens EIBNER, Bronzezeitliche Verhüttungsanlagen zur Kupfererzeugung in den Ostalpen. In: *BHM* 133 (1988), Heft 7, 338-344.
- 21 Georg WALACH, Prospektion urzeitlicher Kupfergewinnungsstätten im Ostteil der Ostalpen – Schwerpunkt Geophysik. In: Gerd WEISGERBER/Gert GOLDENBERG (Hgg.): *Alpenkupfer – Rame delle Alpi, (Bohum 2004 = Deutsches Bergbaumuseum Bochum, Der Anschnitt Beiheft 17)*, 243-254.
- 22 Georg WALACH, Geomagnetische Versuchsmessungen über Kupferschlackenfundplätze im Johnsbach- und Paltental (Stmk.). In: *BHM* 124 (1979), Heft 8, 388.
- 23 Georg WALACH, Aufgaben und Ziele der Geophysik im Rahmen der montanarchäologischen Forschung in der Nördlichen Grauwackenzone (Raum Paltental/Gesäuse). In: *BHM* 128 (1983), Heft 4, 135-137.
- 24 Georg WALACH, Über die Erkundung von montanhistorischen Bodendenkmalen mit geophysikalischen Prospektionsmethoden. In: *res montanarum* 1 (1990), 19-21.
- 25 Georg WALACH, Das prähistorische Berg- und Hüttenwesen des Großraumes Leoben im Lichte geophysikalischer Forschungsergebnisse. In: *res montanarum* 3 (1991), 5-8.
- 26 Georg WALACH, Montanarchäologische Bodendenkmale. In: Hubert PRESSLINGER/ Hans Jörg KÖSTLER (Hgg.): *Bergbau und Hüttenwesen im Bezirk Liezen, Kleine Schriften der Abteilung Schloß Trautenfels am Steiermärkischen Landesmuseum Joanneum* 1993, Heft 24, 15-24.
- 27 Georg WALACH, Geophysik im Dienste der Archäologie, Mitteilungen der geodätischen Institute der Technischen Universität Graz, Graz 1990, Folge 69, 61-72.
- 28 Georg WALACH, Methodik und Beispiele zur geophysikalischen Prospektion urgeschichtlicher Kupfergewinnungsstätten in den Ostalpen. In: *Materialhefte zur Archäologie* 41 (1998), 93-98.
- 29 Georg WALACH, Montanarchäologische Prospektion im alpinen Gelände – Methoden, Arbeitsweise, Beispiele. In: *Tagungsband zum Bergbau-Workshop 1999 in Bramberg am Wildkogel, Salzburg* 26.-29.8.1999.
- 30 Georg WALACH, Archäogeophysikalische Prospektionsmethodik, Seminarvortrag im 2. Internationalen montanhistorischen Grabungspraktikum Johnsbach 1983.
- 31 Georg WALACH, Die bronzezeitliche Kupfergewinnung im Raum Paltental-Johnsbach-Radmer. In: *Leobner Grüne Hefte N.F.10* (1990), 53-76.
- 32 Hubert PRESSLINGER/Clemens EIBNER, Prähistorischer Kupfererzbergbau und die Verhüttung der Erze. In: Hubert PRESSLINGER/ Hans Jörg KÖSTLER (Hgg.): *Bergbau und Hüttenwesen im Bezirk Liezen, Kleine Schriften der Abteilung Schloß Trautenfels am Steiermärkischen Landesmuseum Joanneum* 24 (1993)24, 25-36.
- 33 Hubert PRESSLINGER/Clemens EIBNER, Bautechnische Ausführung bronzezeitlicher Kupferhütten. In: *Da schau her* (1989), Heft 1, 7-9.
- 34 Clemens EIBNER, Der späturnenfelderzeitliche Schmelzplatz Ehrnau, Gem. Mautern in Steiermark. In: Reinhold WEDENIG (Hg.): *Archäologische Begehungen und Untersuchungen beim Bau der Pyhrn-Autobahn über den Schober-Paß in der Steiermark, Fundberichte aus Österreich*, 30 (1992), 215-216.
- 35 Hubert PRESSLINGER/Clemens EIBNER, Montanarchäologie im Paltental (Steiermark) – Bergbau, Verhüttung, Verarbeitung und Siedlungstätigkeit in der Bronzezeit. In: Gerd WEISGERBER/ Gert GOLDENBERG (Hgg.): *Alpenkupfer – Rame delle Alpi, (Bohum 2004 = Deutsches Bergbaumuseum Bochum, Der Anschnitt Beiheft 17)*, 63-74.
- 36 Hubert PRESSLINGER /Clemens EIBNER /Georg WALACH/Barbara PRESSLINGER, Die Ur- und Frühgeschichte der Marktgemeinde Gaishorn am See. In: Karl WEISS (Hg.): *Heimatsbuch Gaishorn am See. (Marktgemeinde Gaishorn am See 2007)*, 16-33.
- 37 Walter PROCHASKA/Hubert PRESSLINGER, Kupfererze und prähistorische Laufsclacken – aufschlussreiche geochemische Untersuchungen. In: *Da schau her* (1989), Heft 4, 9-14.
- 38 Hubert PRESSLINGER /Clemens EIBNER, Forschungsergebnisse über Bergbau, Verhüttung und Siedlungstätigkeit in der Bronzezeit im Paltental. In: *Da schau her* (1996), Heft 4, 8-13.
- 39 Hubert PRESSLINGER/Clemens EIBNER, Montanwesen und Siedlungen in der Bronzezeit im Paltental (Österreich). In: *Der Anschnitt* 49 (1996), Hefte 5/6, 158-165.
- 40 Hubert PRESSLINGER, Schlackenkundliche Untersuchungsergebnisse von bronzezeitlichen Schlacken aus dem Paltental. In: *res montanarum* 19 (1998), 17- 24.
- 41 Hubert PRESSLINGER, Der Bau metallurgischer Anlagen in der Spätbronzezeit. In: *res montanarum* 28 (2002), 5-10.
- 42 Hubert PRESSLINGER, Montanarchäologische Forschungen zur Urgeschichte im Paltental. In: *Mitteilungsblatt der Korrespondenten der historischen Landeskommission für Steiermark, Graz* 2002, Heft 8, 195-199.
- 43 Clemens EIBNER, Archäologische Untersuchungen im Paltental. In: *res montanarum* 19 (1998), 6-11.
- 44 Hubert PRESSLINGER /Clemens EIBNER /Barbara PRESSLINGER, Archäologische Belege der bronzezeitlichen Kupfererzverhüttung im Paltental (Steiermark). In: *res montanarum* 46 (2009), 35-45.
- 45 Hubert PRESSLINGER /Clemens EIBNER /Walter PROCHASKA/Barbara PRESSLINGER, Archäometallurgie Paltental – eine großartige Erfolgsgeschichte. In: *res montanarum* 50 (2012), 58-73.
- 46 Hubert PRESSLINGER /Clemens EIBNER /Barbara PRESSLINGER, Das bronzezeitliche Kupferindustriegbiet Flitzen Alm in der Gemeinde Gaishorn. In: *Da schau her* 30 (2009), Heft 3, 24-27.

- 47 Gerhard SPERL, Urgeschichtliches Hüttenwesen im Paltental. In: Da schau her (1980), Heft 3, 6-7.
- 48 Clemens EIBNER, Die Kupfergewinnung in den Ostalpen während der Urzeit. In: Karl SCHMOTZ (Hg.): Vorträge des 7. Niederbayerischen Archäologentages, (Degendorf 1989), 29-36.
- 49 Clemens EIBNER, Kupferverhüttung – das Vorstadium für Gießereihütten der Urzeit. In: Archeologia Polski 27 (1982), 303-313.
- 50 Otmar Michael FRIEDRICH, Die Lagerstätten der Steiermark. In : Der Bergmann, Der Hüttenmann – Gestalter der Steiermark, Katalog der 4. Landesausstellung, (Graz 1968), 37-40; sowie Karte der Minerallagerstätten der Steiermark im Anhang des Kataloges.
- 51 Johan Georg HADITSCH, Grundlagen der Rohstoffversorgung, Bundesministerium für Handel, Gewerbe und Industrie, Wien 1979, Heft 2, 5-45.
- 52 Gustav HIESSLEITNER, Zur Geologie der Erz führenden Grauwackenzone zwischen Admont-Selzthal-Liezen. In: Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt 101 (1958), 35-78.
- 53 Walter POSTL, Mineralschätze der Steiermark, Begleitheft zur Ausstellung im Schloss Eggenberg, Abteilung für Mineralogie, Landesmuseum Joanneum (Graz 1993).
- 54 Polonium wurde ebenso in den Erzstufen aus dem Lorenzer Graben analysiert. Des Weiteren wurde ein Poloniumgehalt von 1 Masse-% in den Sulfiden vom Verhüttungsplatz „Schlosser“/KG Schwarzenbach/OG Trieben gemessen.
- 55 Hubert PRESSLINGER /Barbara PRESSLINGER /Walter PROCHASKA / Clemens EIBNER, Forstwegebau – ein Nutzen für die montanarchäologische Forschung unserer Heimat. In: Da schau her 33 (2012), Heft 2, 16-19.
- 56 Der Flurname „Kalcher“ leitet sich vom griechischen $\chi α λ κ ὀ ς$, was Erz sowie Kupfer bedeutet. In den ausgeheilten Rissen der Pyrite in den Erzproben der Lagerstätte „Kalcher“ wurden 43,8 Masse-% Sb, 16,2 Masse-% Co, 18,5 Masse-% Fe und 19,1 Masse-% S bestimmt.
- 57 Hubert PRESSLINGER /Clemens EIBNER, Metallografische und mikroanalytische Beurteilungsergebnisse von bronzezeitlichen Erz-, Schlacken- und Rohprodukten. In: Hubert PRESSLINGER / Clemens EIBNER (Hgg.): Der Beginn der Metallzeiten im Bezirk Liezen – eine montanarchäologische Dokumentation. In: Kleine Schriften Schloss Trautenfels Universalmuseum Joanneum 31 (2014), 20-31 .
- 58 Hubert PRESSLINGER /Clemens EIBNER/Barbara PRESSLINGER, Der mittelbronzezeitliche Industriestandort Schwarzenbach/OG Trieben. In: Da schau her 31 (2010), Heft 3, 21-23.
- 59 Hubert PRESSLINGER /Walter PROCHASKA, Chemische Analysen von bronzezeitlichen Laufsclacken. In: res montanarum 28 (2002), 10-14.
- 60 Hubert PRESSLINGER /Walter PROCHASKA /Georg WALACH, Beurteilung der chemischen Analyseergebnisse von bronzezeitlichen Laufsclacken und metallischen Rohprodukten – eine Einteilung nach Talschaften. In: res montanarum 33 (2004), 37-39.
- 61 Hubert PRESSLINGER /Georg WALACH/Clemens EIBNER/Walter PROCHASKA, Montanarchäologische Untersuchungsergebnisse eines urnenfelderzeitlichen Kupfererz-Verhüttungsplatzes bei Mautern/Steiermark. In: BHM 137 (1992), Heft 1, 31-37.
- 62 Brief des Bundesdenkmalamtes, Landeskonservatorat für Steiermark vom 8.6.2004; Briefe von Generalsekretär Dr. Herwig Friesinger der Österreichischen Akademie der Wissenschaften vom 24.8.2004 und 20.6.2005.
- 63 Brief des Bundesdenkmalamtes, Landeskonservatorat für Steiermark vom 15.7.2008, in dem die Untersuchungsergebnisse von der Flitzen- und Treffneralm zur Gänze in Frage gestellt werden!
- 64 Harald HARMUTH, Untersuchungen von sieben historischen Keramiken vom Fundort „Versunkene Kirche“ in St. Lorenzen i. P., Untersuchungsbericht – Lehrstuhl für Gesteinshüttenkunde, Montanuniversität Leoben vom 23.6.1999.
- 65 Harald HARMUTH, Untersuchung von geformten und ungeformten Baustoffen eines bronzezeitlichen Kupferofens, Fundort „Versunkene Kirche“ bei Trieben, Untersuchungsbericht – Lehrstuhl für Gesteinshüttenkunde, Montanuniversität Leoben vom 5.7.2001.
- 66 Harald HARMUTH, Untersuchung von historischen keramischen Proben (Gebrauchskeramik vom Kaiserkörperl bei Rottenmann und aus dem Johnsbachtal), Untersuchungsbericht – Institut für Gesteinshüttenkunde, Montanuniversität Leoben vom 6.5.2015.
- 67 Hubert PRESSLINGER /Clemens EIBNER /Harald HARMUTH /Ingo LETH, Baustoffe, Feuerfestmaterialien und Keramiken im bronzezeitlichen Hüttenbetrieb. In: BHM 145 (2000), Heft 9, 368-376.
- 68 Hubert PRESSLINGER /Clemens EIBNER /Harald HARMUTH, Naturwissenschaftliche Untersuchungsergebnisse an Gebrauchskeramikproben vom mittelbronzezeitlichen Arbeits- und Siedlungsplatz Schlosser/KG Schwarzenbach/OG Trieben. In: BHM 156 (2011), Heft 1, 1-6.
- 69 Hubert PRESSLINGER /Clemens EIBNER /Harald HARMUTH, Keramiken, Feuerfestmaterialien und Hüttenbaustoffe im bronzezeitlichen Hüttenbetrieb. In: Hubert PRESSLINGER/Clemens EIBNER (Hgg.): Kleine Schriften Schloss Trautenfels Universalmuseum Joanneum 31 (2014), 31, 49-57.
- 70 Clemens EIBNER, Die mittelbronzezeitliche Fundstelle „Schlosser“ in Schwarzenbach, Stadtgemeinde Trieben. In: res montanarum 33 (2004), 27-30.
- 71 Clemens EIBNER /Hubert PRESSLINGER, Urzeitliche Kupferproduktion, Versorgung der Bergbaugebiete in den Ostalpen und die Bedeutung der Metalldeponierung. In: res montanarum 38 (2006), 22-35.
- 72 Erich PUCHER, Sechs Jahrtausende alpine Viehwirtschaft. In: Forschungen in den Nördlichen Kalkalpen, ANISA 5 (2014), 73-100.
- 73 Hubert PRESSLINGER /Clemens EIBNER, Zusammenfassung der montanarchäologischen Studien und Ausblick auf weiterführende Arbeiten. In: Hubert PRESSLINGER /Clemens EIBNER (Hgg.): Kleine Schriften Schloss Trautenfels Universalmuseum Joanneum 2014, Heft 31, 89-95.

Autoren:

Univ.-Prof. Hon.-Prof. Univ.-Doz.

Dipl.-Ing. Dr. mont. Hubert J. M. Presslinger

St. Lorenzen 45

8784 Trieben

em. Univ.-Prof. Dr. Clemens Eibner

Alszeile 118/10/4

1170 Wien

E-Mail: clemens.eibner@zaw.uni-heidelberg.de