

Prähistorische Schlacken und Erze aus dem Vinschgau – Geochemische und archäometallurgische Analysen

Prehistoric slags and ores from the Vinschgau – Geochemical and archaeometallurgical analyses

→ Thomas Koch Waldner¹, Mathias Mehofer², Michael Bode³

¹ Deutsches Bergbau-Museum Bochum, Abteilung Forschung, Forschungsbereich Montanarchäologie, Am Bergbaumuseum 31, 44791 Bochum, thomas.koch-waldner@bergbaumuseum.de

² University Vienna, Archäometallurgie, VIAS Vienna Institute for Archaeological Science, Franz-Klein-Gasse 1, A-1190 Vienna, mathias.mehofer@univie.ac.at

³ Deutsches Bergbau-Museum Bochum, Abteilung Forschung, Forschungsbereich Forschungslabor, Herner Straße 45, 44787 Bochum, michael.bode@bergbaumuseum.de

KEY WORDS

Vinschgau, Erz, Schlacke, Kupfer, Bronzezeit, Bergbau, Geochemie, Bleiisotopen

EINLEITUNG

In den vergangenen Jahren konnte vor allem durch die Forschungen des Deutschen Bergbau-Museums Bochum und des Forschungszentrums HiMAT der Universität Innsbruck, die herausragende Bedeutung des bronzezeitlichen Kupferbergbaus in den Alpen aufgezeigt werden. Die Forschungen konzentrierten sich bislang auf die großen Kupferproduktionszentren des Mitterberggebietes, Kitzbühels, des Inntals und des Trentinos. Um den Wissenstransfer in diesem Großraum besser nachvollziehen zu können, wird nun der Fokus auch auf kleinere Bergbaureviere gelegt. Südtirol liegt zwischen den genannten Montanzentren in den Nord- und Südalpen und stellt ein bis dato montanarchäologisch nahezu unerforschtes Gebiet dar. Die Entdeckung bronzezeitlicher Verhüttungsspuren im Vinschgau, im Westen Südtirols, stellt den jüngsten Nachweis einer prähistorischen Kupferproduktionsregion in den Alpen dar (Koch Waldner 2019). Aufgrund seiner geographischen Lage an einem inneralpinen Verkehrsknotenpunkt mit Anbindungen in die Nord- und Südalpen sowie nach Westen in die Schweiz könnte das Vinschgauer Bergbauggebiet eine besondere Rolle im Technologietransfer eingenommen haben. Darüber hinaus hätte es die zentrale Lage innerhalb des Alpenbogens ermöglicht, das hier produzierte Kupfer in die Metallkreisläufe bzw. Handels- und Tauschnetzwerke sowohl südlich als auch nördlich der Alpen einzuspeisen.

Der Nachweis eines spätbronzezeitlichen Kupferschmelzplatzes auf Vellnair am Prader Berg gab den Anlass für erste montanarchäologische Prospektionen und archäometallurgische Untersuchungen im Vinschgau (Koch Waldner 2019). Die Ergebnisse aus diesen initialen Forschungen führten schließlich zu einem gemeinsamen Forschungsprojekt des Deutschen Bergbau-Museums Bochum (DBM) mit dem Vienna Institute for Archaeological Science (VIAS) der Universität Wien, finanziert durch die Fritz-Thyssen-Stiftung (Pr.Nr. Az.10.19.1.040AA)

und das Amt für Bodendenkmäler Südtirol. Das Projekt steht in Kooperation mit dem Amt für Bodendenkmäler sowie dem Amt für Geologie und Baustoffprüfung des Landes Südtirol.

Im Zuge des Projektes konnten weitere prähistorische Kupferschmelzplätze sowie historische Bergbauspuren entdeckt werden. Die gewonnenen Erkenntnisse aus den 2019 und 2020 durchgeführten Prospektionen verdeutlichen, dass sich im Ortlergebiet eine ausgedehnte Bergbauregion befand, in der über einen langen Zeitraum Metalle produziert wurden.

Durch systematische Analysen von Erzen, Schlacken und Bronzeobjekten soll nun festgestellt werden, welche Rolle dieses Bergbauggebiet in der regionalen sowie überregionalen Metallversorgung während der Bronze- und Eisenzeit einnahm. Als Grundlage dieser Studie gilt es zunächst, die Kupferlagerstätten im oberen Vinschgau zu charakterisieren. Hierfür wurden die geochemische Zusammensetzung sowie die Bleiisotopenverhältnisse ausgewählter Kupfererze und prähistorischer Schlacken ermittelt. Die Ergebnisse dieser ersten Untersuchungen werden im vorliegenden Beitrag präsentiert.

FRAGESTELLUNG

Ziel der Pilotstudie ist es, die bis dato bekannten montanarchäologischen Spuren im Vinschgau systematisch aufzunehmen und zu erforschen. Neben den Geländearbeiten liegt der Fokus auf der Analyse von Erzen, Schlacken und Bronzeobjekten. Folgenden Fragestellungen wird dabei besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

- Welche Kupfererzlagerstätten des Vinschgaus wurden in der Urgeschichte genutzt?
- Welche Schmelzprozesse lassen sich anhand der Schlackenanalysen rekonstruieren?

- Lässt sich die Nutzung lokaler Erze in bronze- und früheisenzeitlichen Metallobjekten nachweisen?
- Ist die geochemische Zusammensetzung dieser Erze in Buntmetallobjekten aus den benachbarten Regionen (Norditalien, Tirol, Schweiz) feststellbar?
- Welche Großräume lassen sich als Abnehmer des im Vinschgau produzierten Kupfers identifizieren?

Der Umstand, dass der Vinschgau und das Stilsfer Gebiet ab der Mittelbronzezeit einen Aufschwung erlebten, lässt sich allerdings nur dann umfassend beschreiben, wenn man auch seine Einbindung in überregionale Handels- und Austauschnetzwerke betrachtet. Die in Norditalien verbreitete Terramare-Kultur besitzt ein reichhaltiges Repertoire an Bronzetypen. Die Hortfunde von Pila del Brancon oder das Gräberfeld von Olmo di Nogara (Salzani 1994; Salzani 2000; Salzani 2005), beide am Übergang der Südalpen in die Poebene, nahe Verona gelegen, zeigen sehr eindrücklich die Bandbreite der archäologischen Metallfunde. Es lassen sich z. B. die so genannten Doppelpickelbarren nennen, die sich als typische (Rohmetall)Form von Norditalien bis in den westbalkanischen Raum finden. Wo die Kupferlagerstätten des dafür verwendeten Erzes lagen, war bis vor Kurzem noch nicht geklärt. Natürlich bieten sich die Südalpen mit ihren reichen Erzvorkommen an (Artioli et al. 2016). Bis in jüngster Zeit fehlten jedoch die naturwissenschaftlichen Nachweise, auf deren Basis sich solche Austauschnetzwerke rekonstruieren lassen (Jung et al. 2011).

Lothar Sperber konnte in seiner Arbeit bereits die Rolle der Nordtiroler und Salzburger Bergbaureviere in der spätbronzezeitlichen Kupferversorgung in Mitteleuropa beschreiben (Sperber 2004). So zeigen z. B. aktuelle Forschungen, dass das Kupfer der berühmten Himmelscheibe von Nebra aus den Ostalpen stammt (Pernicka 2011). Dies belegt, dass die zuvor genannten Bergbaureviere eine dominierende Position für die Metallversorgung Mittel- und Nordeuropas einnahmen (Stöllner 2011), wohingegen die südlich des Alpenhauptkammes gelegenen Regionen ihr Kupfer aus anderen Quellen bekamen (Jung et al. 2011, 240 Fig. 23.8). Aktuelle archäometallurgische Forschungen zeigen nun, dass die Südalpen eine herausragende Rolle in der bronzezeitlichen Metallversorgung Italiens eingenommen haben (Jung et al. 2011; Jung & Mehofer 2013). Diese Untersuchungen ließen erkennen, dass das Trentino eine wesentliche Versorgungsrolle in diesem Netzwerk gespielt haben dürfte, wie dies bereits in der von Jan Cierny vorgelegten Zusammenstellung bronzezeitlicher Kupferschmelzplätze angedeutet wurde (Cierny 2008). Inwieweit Südtirol und insbesondere der Vinschgau Kupfer in diese Distributionsnetzwerke, die bis nach Süditalien reichten (Jung et al. 2011), einspeisten, ist bis dato noch ungeklärt. Seine verkehrstechnische Lage würde es möglich machen, dass das dort produzierte Kupfer sowohl nach Nordtirol als auch nach Italien verhandelt worden sein könnte. Dies mag als Hinweis dienen, wie weit die Handelsbeziehungen schon während der Bronzezeit gereicht haben mögen.

GEOGRAPHISCHE LAGE

Der Vinschgau liegt im Westen Südtirols (Italien), am Oberlauf der Etsch und erstreckt sich vom Reschenpass (1507 m ü.d.M.) bis zum Schnalstal. Im geografischen Sinne zählt auch das

Hochtal von Nauders in Nordtirol (Österreich) zum Vinschgau, wo er durch die Finstermünz-Schlucht vom Inntal getrennt wird. Die geografische Grenze im Osten verläuft entlang der Talstufe bei Töll (508 m ü.d.M.) westlich von Meran. Das Vinschgauer Haupttal verläuft parallel zur Etsch, vom Alpenhauptkamm am Reschen nach Süden bis in das Gurnser Becken. Hier wenden sich Tal und Fluss um annähernd 90° nach Osten und verlaufen in dieser Richtung bis zur Töll bzw. in das Meraner Becken.

Aus geographischer Sicht stellt die Etsch im oberen Vinschgau die Grenze zwischen den westlichen (Sesvenna Gruppe), mittleren (Öztaler Alpen) und südlichen (Ortler Gruppe) Ostalpen dar. Das Gebirge östlich und nördlich der Etsch ist Teil der Öztaler Alpen. Westlich der Etsch liegt die Sesvenna-Gruppe, die den Vinschgau vom Unterengadin in Graubünden (Schweiz) trennt. Südlich der Etsch liegen die Ortler Alpen (auch Ortler-Gruppe), benannt nach dem höchsten Berg Südtirols, dem Ortler (3905 m ü.d.M.). Dieser Gebirgsstock trennt das Untersuchungsgebiet vom Veltlin (Valtellina) und der Lombardei. Auf Vinschgauer Seite ist die Gebirgsgruppe besonders durch das Trafoi-, Sulden- und Martelltal geprägt. Über diese Täler bzw. den Trafoi- und Suldenbach sowie die Plima fließt ein erheblicher Teil des Wassers der Ortler Alpen nach Norden ab. Der Trafoibach mündet in Gomagoi (Beidewasser) in den Suldenbach, der bei Spondinig nördlich von Prad in die Etsch mündet. Der Großteil der bisher nachgewiesenen prähistorischen Bergbauspuren liegt in diesem Bereich, mit einem Schwerpunkt am Ausgang des Suldentales bei Stils und Prad.

GEOLOGIE

Die Gebirgsgruppen der Ortler und Öztaler Alpen sowie der Sesvenna-Gruppe treffen im Gurnser Becken aufeinander. Dieser Spannungsbereich ist durch Überschiebungen der Ortler-Campo Decke, der Öztal Decke sowie der Sesvenna Einheit geprägt und wird als Vinschgauer Scherzone bezeichnet (Keim et al. 2018). Die Scherzone ist durch eine heterogene Geologie gekennzeichnet. Die Zone erstreckt sich vom nordwestlichen Teil des Ortlergebietes bei Stils bis an die Südflanke der Öztaler Alpen bei Schluderns im Norden und Laas im Osten (Abb. 1). Die untersuchten Erzproben stammen von den Kupferlagerstätten bei Stils und Eyrs, die in dieser Zone liegen.

Mit Ausnahme der Erze aus Eyrs stammen sämtliche Erz- und Schlackenproben aus den Ortler Alpen. Der zentrale Stock dieser Gebirgsgruppe besteht größtenteils aus Dolomit- und Kalkgestein über einem Kristallinsockel (Keim et al. 2018). Die dominante geologische Einheit stellt die Ortler-Campo-Decke dar, in der vor allem metamorphe Gesteine – Glimmerschiefer, Quarzphyllite, Orthogneise, Amphibolite und Marmore – in Erscheinung treten. Erze bzw. Erzminerale kommen vor allem entlang tektonischer Linien vor.

Hinsichtlich des Kupferbergbaus im Gebiet von Stils gilt es hervorzuheben, dass das Gebirge in diesem Bereich durch stark verfaltete Gesteinsschichten geprägt ist. Der oberflächennahe Bereich in der Vinschgauer Scherzone wird von phyllitischem Schiefer dominiert. Das Kupfererz bei Stils kommt vorwiegend mit Quarz als Gangart, mit Dolomit als Nebengestein vor. Die Abbaupraktiken beschränkten sich jedoch nicht allein auf die Lagerstätten der beschriebenen Scherzone. Die historischen

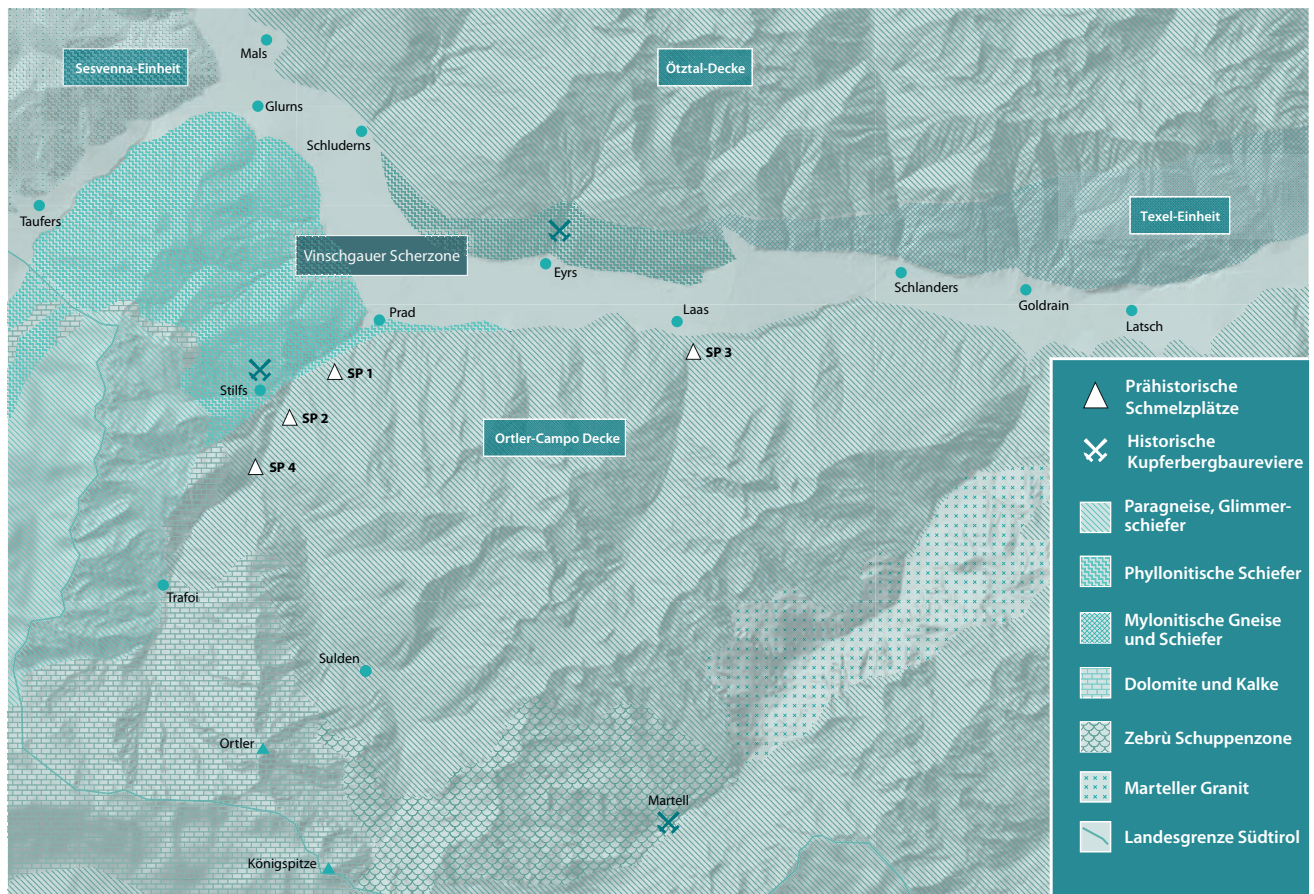


ABB 1: Tektonische Einheiten, historische Kupferbergbaureviere und prähistorische Schmelzplätze im Untersuchungsgebiet. (Grafik: T. Koch Waldner & N. Auer)
FIG. 1: Tectonic units, historic copper mining districts and prehistoric smelting sites in the investigation area. (graphic: T. Koch Waldner & N. Auer)

Bergbauspuren am Prader Berg sowie im Zaytal bei Sulden liegen im Bereich der Ortler-Campo Decke, während sich jene im hinteren Martelltal in der Zebrü-Schuppenzone befinden.

ARCHÄOLOGIE

Im Ortlergebiet, an den Grenzen zur Schweiz und der Lombardei, entwickelten sich ab der Mitte des 2. Jahrtausends v. Chr. zwei Siedlungen an der Kupferlagerstätte von Stilfs. Hinweise darauf, dass diese Lagerstätte bereits während der Bronzezeit abgebaut wurde, lieferten Schlackenfunde von der Höhensiedlung Kaschlin (Lunz 1997). Im Jahre 2008 wurden schließlich die Reste eines weitläufigen Kupferschmelzplatzes aus der Späten Bronzezeit am gegenüberliegenden Prader Berg entdeckt (Koch Waldner 2019; in Druck). Diese Entdeckung sowie erste archäometallurgische Untersuchungen der Schlacken führten zum gegenwärtigen Forschungsprojekt.

Seit dem Beginn der Forschungen im Sommer 2019 konnten weitere Kupferschmelzplätze lokalisiert werden. Mit einer Ausnahme liegen die Fundstellen am Eingang des Suldentales, unweit der Chalkopyritlagerstätte sowie den Mittel- und Spätbronzezeitlichen Höhensiedlungen „Weiberbödele“ und „Kaschlin“ bei Stilfs. Ein Schmelzplatz liegt 12 km östlich dieses Fundbereiches, am Ausgang des Laaser Tales (Koch Waldner in Druck). Auch diese Fundstelle befindet sich in unmittelbarer Nähe zweier Höhensiedlungen, die spätestens in der mittleren

Bronzezeit gegründet wurden und bis in die Eisenzeit bewohnt waren.

Die Schlackenfunde der entdeckten Schmelzplätze zeigen deutliche Parallelen zueinander und zu Funden aus anderen prähistorischen Bergbauregionen der Ostalpen. Es finden sich Schlackenkuchen mit flachen Unterseiten sowie zwei typologische Gruppen von Plattenschlacken.

Das Untersuchungsgebiet liegt an der Reschenpassroute, einem bedeutenden Verkehrsweg für den urgeschichtlichen Alpen- transit. Im oberen Vinschgau zweigen von dieser Nord-Süd-Verbindung Wege nach Westen in die Ostschweiz und die nördliche Lombardei ab. Aufgrund seiner verkehrsgeografisch günstigen Lage liegt die Vermutung nahe, dass dieses Gebiet eine wichtige Rolle für den technologischen Wissenstransfer – besonders nach Westen – einnahm. Die spätbronzezeitliche und früheisenzeitliche Laugen-Melaun Kultur breitete sich vom Vinschgau über das Sesvenna-Gebirge in das schweizerische Unterengadin, die westlichste Region dieses Kulturkreises, aus. Anlass zur Annahme eines Technologietransfers zwischen dem Vinschgau und Graubünden geben zudem die zahlreichen Funde von Laugen-Melaun Keramik im Oberhalbstein (Rageth 1986), der westlichsten bekannten ostalpinen Kupferbergbauregion dieser Epoche.

Neben Technologie- und Kulturtransfers erlaubt es die geographische Lage des Vinschgaus, das hier produzierte Kupfer in die Metallkreisläufe nördlich und südlich der Alpen einzuspeisen. In diesem Zusammenhang gilt es zu betonen, dass während der späten Bronze- und frühen Eisenzeit der Oberlauf der

Etsch sowie die Kupferproduktionsregion im Trentino (Silvestri et al. 2015) Teil desselben Kulturraumes waren. Tatsächlich liegen sämtliche bislang bekannten Bergbauspuren der späten Bronze- (1300–800 v. Chr.) und frühen Eisenzeit (800–550 v. Chr.) südlich des Alpenhauptkammes innerhalb des Gebietes der Laugen-Melaun Kultur bzw. im Trentino, Süd- und Osttirol (Koch Waldner in Druck). Dies mag einen Eindruck davon geben, welche Bedeutung die Kupferproduktion und –distribution für die Laugen-Melaun Kultur hatte. Die präsentierten Untersuchungen sollen eine Grundlage für weiterführende Forschungen zur Rekonstruktion der Bedeutung des prähistorischen Kupferbergbaus für die überregionale Metallversorgung sowie die wirtschaftlichen und kulturellen Entwicklungen im Gebiet des heutigen Südtirols darstellen.

BEDEUTUNG DER VERKEHRSWEGE

Neben den Erzvorkommen spielte die verkehrsgeographische Lage des oberen Vinschgaus die wichtigste Rolle für wirtschaftliche und kulturelle Entwicklungen. Die größte Bedeutung hatte dabei der Reschenpass, über den ein wichtiger Verkehrsweg durch die zentralen Alpen führt. Die Reschenpassroute führt von Oberitalien, der Etsch entlang zum Alpenhauptkamm, über den Reschen in das Inntal und über den Fernpass nach Süddeutschland. Dieser Weg wurde seit prähistorischer Zeit genutzt und stellte schon damals eine Verbindung zwischen der oberen Donau und der Adria her. Unter römischer Herrschaft wurde der Weg zur Via Claudia Augusta ausgebaut und stellte bis in die Spätantike eine der am stärksten frequentierten Nord-Süd-Verbindungen durch die Alpen dar.

Im oberen Vinschgau, speziell im Glurnser Becken zweigen von dieser Route Wege nach Westen und Süd-Westen ab. Durch das Münstertal, welches bei Glurns in den Vinschgau mündet gelangt man zum Ofenpass im Schweizer Kanton Graubünden. Dieser Übergang verbindet den Vinschgau mit dem Engadin. Aus archäologischer Sicht bestanden während der Bronze- und Eisenzeit enge Kontakte zwischen dem Vinschgau und dem Unterengadin (Rageth 2000). In diesem Zusammenhang sind neben dem Ofenpass auch die Übergänge Schliniger Pass (Südtirol) und Norbertshöhe (Nordtirol) als Verbindungen durch das Sesvenna Gebirge in das Engadin zu erwähnen.

Südlich des Münstertales verläuft das Suldental, welches bei Prad in das Haupttal mündet. Über das Sulden- und Trafoital gelangt man zum Stilfser Joch (2757 m ü.d.M.), das den Vinschgau mit dem Veltlin (Valtellina) verbindet. Der Pass stellt eine direkte Verbindung zwischen dem Tiroler Raum und der Lombardei her und ermöglicht über das Veltlin Kontakte in das Gebiet von Mailand und in die Westalpen. Neben dem Bergbau war dieser Übergang von zentraler Bedeutung für die infrastrukturelle Entwicklung des Ortlergebietes.

METHODEN

PROBENVORBEREITUNG (HAUS FÜR MATERIAL UND ANALYTIK [HFMA], DEUTSCHES BERGBAU-MUSEUM BOCHUM)

Für die chemische Analyse geeignete Stücke der Schlacken und Erze wurden analysenfein gemahlen und die homogenisierten Probenpulver für 8 h bei 105°C getrocknet. Ca. 100 mg wurden

jeweils in PTFE-Druckbehältern eingewogen und mit 1,2 g HF und jeweils 5 g HNO₃ und HCl, alle konzentriert, benetzt. In einer Mikrowelle (µPREP-A microwave, MLS GmbH) wurden die Proben für 40 min bei 250°C aufgeschlossen. In einem zweiten Schritt wurden zur Vermeidung von Niederschlägen durch CaF₂-, FeF₃- und/oder AlF₃-Bildung 10 ml 5%ige H₃BO₃ zugegeben und die Gemische nochmals für 20 min auf die gleiche Temperatur erhitzt. Abschließend wurden die Aufschlusslösungen mit destilliertem Wasser auf eine Konzentration von ca. 1000 mg/l aufgefüllt.

CHEMISCHE ANALYSE DER PROBELNÖSUNGEN (HAUS FÜR MATERIAL UND ANALYTIK [HFMA], DEUTSCHES BERGBAU-MUSEUM BOCHUM)

Die Haupt-, Neben- und Spurenelementbestimmung wurde mit einem HR-ICP-MS Element XR (Thermo Fisher Scientific) durchgeführt. Mit einer externen Kalibration wurde quantifiziert. Zur Konzentrationsbestimmung der Haupt- und Nebenelemente wurden die Probenlösungen 1:100 mit 5%iger HNO₃ verdünnt, für die Spurenelemente 1:10. Gemessen wurde mit einem FAST SC-Autosamplersystem, einem ST 5532 PFA µ-FLOW-Zerstäuber, einer Peltier-gekühlten PFA-Sprühkammer und einem 1,8 mm Saphirinjektor im dreifach-Detektormodus in Niedrig-, Mittel- und Hochauflösung. Kontrolliert wurden die Messungen mit Matrix-kompatiblen Standardmaterialien (FER-1 und FER-2 [Canadian Certified Reference Materials Project]) und GSR-5 (GBW07107) (LGC Standards, Teddington, Middlesex, UK). Die relative Standardabweichung (RSD) betrug für die Spurenelemente ca. 0,5 bis 4,5 %, für die Haupt- und Nebenelemente ca. 0,5 bis 2 %.

BLEIABTRENNUNG DER PULVERISIERTEN ERZ- UND SCHLACKEN-PROBEN (HAUS FÜR MATERIAL UND ANALYTIK [HFMA], DEUTSCHES BERGBAU-MUSEUM BOCHUM)

Die Bleiabtrennung erfolgte mit einem vorgereinigten Ionenaustauscher-Harz (BIO-RAD Laboratories, AG@1-X8 Resin). Je nach Bleigehalt der Materialien wurde eine entsprechende Menge (für ca. 0,01 Gew.-% Pb = 50 mg) Probenpulver in Teflon-Bechern über Nacht bei ca. 100°C mit 5 g HF/HNO₃ (5:1) aufgeschlossen. Danach wurde die Probenlösung eingedampft. Der Rückstand wurde mit 1 ml 7N HBr aufgenommen und nach 30 min mit 6 ml H₂O_{dest.} verdünnt. Das Austauscher-Harz wurde in Teflonsäulen gegeben (Menge entspricht einem Harzvolumen [1HV]), mit 3HV 1 N HBr konditioniert und die Probenlösung darüber pipettiert. Danach wurde das Harz mit mindestens 2 HV 1 N HBr und anschließend mit 2 HV 2 N HCl gewaschen, bevor mit 4,5 HV 6 N HCl das Blei aus dem Harz eluiert und für die Bleiisotopenanalyse bei 120°C eingetrocknet wurde. Aus den Tabellen 3 und 4 kann entnommen werden, dass einige Erz- und Schlacken-Proben sehr wenig Blei besitzen (<10 ppm) (Proben 15, 16, 24, 28, 29, 32, 51, 57 und 58 [5 ppm Pb]). Die Einwaage betrug hier jeweils 350 mg und entsprechend hoch war die Matrix, aus der das wenige Pb extrahiert werden musste. Trotz verlängerter Auswaschzeiten (s. o.) stößt das Verfahren verständlicherweise hier an seine Grenzen (z. B. Fraktionierung).

RÖNTGENDIFFRAKTOMETRIE (HAUS FÜR MATERIAL UND ANALYTIK [HFMA], DEUTSCHES BERGBAU-MUSEUM BOCHUM)

Die Feinstrukturanalyse der Pulver der Schlacken- und Erzproben wurden mit einem 2Theta-Diffraktometer (Panalytical, Modell X'pert Pro) mit X'Celerator-Detektor durchgeführt. Ca. 100 mg wurden dafür auf einen Probenhalter gegeben und mit einem Stempel verdichtet. Die Probenoberfläche wird mit Cu-K α -Strahlung unter einem Winkel θ aus der Röntgenröhre (Betrieb bei 45 kV und 40 mA) bestrahlt. Mit der 2Theta-Anordnung des Geräteaufbaus werden die Winkel im Bereich der Totalreflexion angefahren und mit Hilfe eines Computers aufgezeichnet. Die Messdauer betrug jeweils 120 s, die Auswertung geschah mit der High Score Plus-Software.

BLEIISOTOPENANALYSE (FRANKFURT ISOTOPE & ELEMENT RESEARCH CENTER AT GOETHE UNIVERSITÄT FRANKFURT [FIERCE])

Für die Bleiisotopenbestimmung mit einer Multikollektor-ICP-MS Neptune Plus (Thermo Fisher Scientific) werden in der Regel ca. 40 Proben in einer Messserie automatisiert gemessen. Das eingetrocknete Bleieluat der Probe wird dazu mit 2%iger HNO₃ auf etwa 125 ppb Pb verdünnt. Dieser Probenlösung wird 10 ppb Tl-Standardlösung (NIST SRM-997) zur internen Fraktionierungskorrektur zugesetzt. Bleistandards mit 125 ppb Pb (NIST SRM-981) werden zur Überprüfung der Richtigkeit der Analyseergebnisse und der Stabilität des Messgerätes (massdrift) während der Messreihe nach jeweils 5 Proben zwischen geschaltet. Die 2-fache absolute Standardabweichung (2SD) ist für ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 0,008–0,013, für ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb 0,007–0,012, für ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb 0,017–0,034, für ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 0,00008–0,00015 und für ²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb 0,00030–0,00042.

GEOCHEMISCHE ANALYSE DER ERZE

Von acht Gesteinsproben aus den Geländebegehungen im Vinschgau wurden für die röntgendiffraktometrische und nasschemische Analyse jeweils eine möglichst erzeiche Zone mit einer Trennscheibensäge genommen und pulverfein gemahlen. Die Ergebnisse der Untersuchungen hinsichtlich des Erzmineralbestandes sowie die Cu-, Fe- und S-Gehalte sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Ankerit und Quarz sind in den Proben die vorherrschenden Gangarten. Bis auf Probe 58 führen sie alle Chalkopyrit, in zwei Fällen zusammen mit Pyrit. Goethit, Hämatit und Malachit treten als begleitende sekundäre Eisen- bzw. Kupfererze auf (Proben 49, 52, 57). In Probe 52 kommen Boulangerit und Bindheimit als Sb-, bzw. Sb-Pb-reiche akzessorische Begleitphasen des Chalkopyrits hinzu (vergleiche Mair 1996), Stibnit in Probe 50. Probe 58 enthält Tennantit, ein As-Fahlerz, zusammen mit mehreren Gangmineralen. Gleichfalls variabel wie der Mineralbestand sind auch die Summen für Cu, Fe und S in den Proben. Sie schwanken zwischen 24 und 84 Gew.-% (Abkürzungen der Erzminerale, wenn möglich, nach Kretz [1983] bzw. Whitney und Evans [2010]).

Abbildung 2 veranschaulicht die Spurenelementmuster der acht Laborproben von sechs verschiedenen Stellen im Vinschgau (Tab. 3). Teilweise sind Peakspitzen (As, Bi, Sb) identifizierten Mineralphasen zugeordnet. Für den Plot gilt die Annahme, dass die dort aufgereihten chemischen Elemente hauptsächlich

PROBEN-NR.	GANG (XRD)	ERZ (XRD)	GEW.-% CU	GEW.-% FE	GEW.-% S	GEW.-% CU,FE,S
49, EYRS	ANK, QZ	CCP, GTH, PY	5.5	28	15	49
50, EYRS	-	CCP, STN	13	9.4	13	35
51, STILFS-ARZLOCH	ANK, QZ, SD, GP	CCP, PY	8.1	18	19	46
52, STILFS-ARZLOCH	ANK, QZ	BIN, BOU, CCP, HEM	2.2	16	5.3	24
54, STILFS-FATIRA	ANK, QZ	CCP, PY	14	21	17	52
56, STILFS-KAR-MATSCH	QZ, GTH	CCP	4.9	44	11	59
57, STILFS-SCHARTE	QZ	CCP, MLC	30	25	29	84
58, STILFS-GIPS	ANH, GP, MGS, QZ	TNT	2.4	5.2	22	29

TAB. 1: Alphabetische Auflistung der Erzphasen und Gangart in den acht untersuchten Probenstücken der gesammelten Gesteine aus dem Vinschgau mit Angabe der Anteile an Cu, Fe und S in Gew.-%. Abkürzungen: Ank = Ankerit, Bin = Bindheimit, Bou = Boulangerit, Ccp = Chalkopyrit, Gp = Gips, Gth = Goethit, Hem = Hämatit, Mgs = Magnesit, Mlc = Malachit, Py = Pyrit, Qz = Quarz, Sd = Siderit, Stn = Stibnit, Tnt = Tennantit.

TAB. 1: Ore phases and gangue in alphabetical order in the eight analysed samples from the Vinschgau area with contents of Cu, Fe and S in wt.-%. Abbreviations: Ank = ankerite, Bin = bindheimite, Bou = boulangerite, Ccp = chalcopyrite, Gp = gypsum, Gth = goethite, Hem = hematite, Mgs = magnesite, Mlc = malachite, Py = pyrite, Qz = quartz, Sd = siderite, Stn = stibnite, Tnt = tennantite.

Teil der primären sulfidischen Cu-Fe-Sulfide (Ccp, Py) mit ihren akzessorischen Erzmineralanteilen und nicht des Ganggesteins sind, weshalb die analytischen Daten auf Cu, Fe und S normiert wurden. Sicherlich gehört ein Teil des Fe und S auch zur Gangart, aber nur so lassen sich die Resultate in erster Annäherung vergleichen.

Allgemeingültige Merkmale für die lokalen Vorkommen oder die Vinschgau-Vererzungen als Ganzes zu definieren lässt sich bei den wenigen Proben und ihrer mineralogischen Diversität kaum durchführen. Zumindest liegen die Ni-, Se- und Te-Gehalte in einem relativ engen, niedrigen Schwankungsbereich. Gleiches lässt sich für As feststellen, nur auf höherem Konzentrationsniveau, wobei die Anwesenheit von Tennantit den As-Gehalt stark ansteigen lässt. Die Ag-, Co- und Pb-Anteile streuen am deutlichsten. Wie aus den vorliegenden Analysen deutlich wird, bestimmen akzessorische Minerale wie Bindheimit, Boulangerit, Bismuthinit, Stibnit oder auch Tennantit als Einschlüsse oder Verwachsungen in den Haupterzen Chalkopyrit und Pyrit, welches geochemisches Charakteristikum die jeweilige Probe hat.

An den in Mair (1996) beschriebenen Erzparagenesen orientiert, kann man in den Stilfs-Vererzungen, in denen Chalkopyrit der wichtigste und häufigste Vertreter ist, am ehesten mit Pb und Sb als signifikanten Beimengungen rechnen. Führt das Erzgestein auch Tennantit, wie im Beispiel von Probe 58, kommt As als weiteres chemisches Element hinzu. Auch im Bergbaurevier von Eyrs dominiert Chalkopyrit. Pyrit tritt stark zurück. Als häufig wird noch Fahlerz, selten Bismuthinit aufgezählt (siehe auch Schifferle et al. 2014). In Probe 50 zeigte sich zudem Stibnit. As, Sb und Bi müssten daher als typische geochemische Begleiter des lokalen Kupferbergbaus im Vordergrund stehen. Schifferle et al. (s. o.) publizierten 2014 ein interessantes Forschungsprojekt, in dem Kupferschlacken des 13./14. Jahrhunderts v. Chr. vom Schmelzplatz Fennhals aus Kurtatsch in Südtirol chemisch untersucht wurden. Auf der Suche nach den zu den Schlacken passenden Erzvorkommen werden einige wichtige prähistorische Montanlandschaften aus den Südalpen, aus dem Pennin und auch aus den Ostalpen mit ihren typischen Erzparagenesen überblickhaft beschrieben, darunter auch eine Pb-Zn-Cu-Vererzung aus Eyrs. Neben Chalkopyrit, Sphalerit, Galenit, Pyrit und Pyrrhotin tritt vereinzelt Cobaltit,

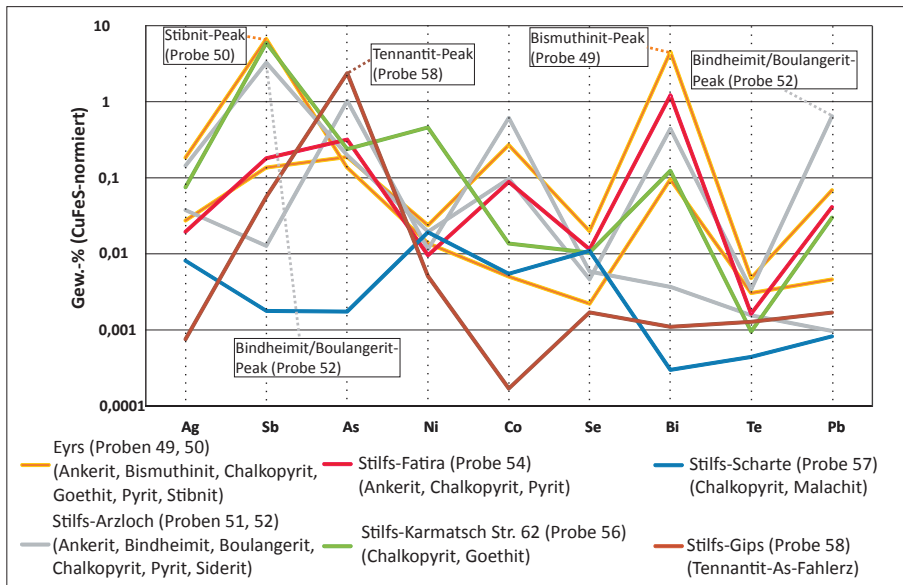


ABB. 2: Spiderdiagramm mit den CuFeS-normalierten Gehalten an ausgewählten chemischen Elementen in den untersuchten Proben aus dem Vinschgau. Das Erzmineral Bismuthinit in Probe 49 wurde durchlichtmikroskopisch detektiert (Grafik: M. Bode).
FIG. 2: Spider diagram with CuFeS-normalized contents of selected chemical elements in the samples from the Vinschgau area. The ore mineral bismuthinite in sample 49 was detected using a transmitted light microscope (graphic: M. Bode).

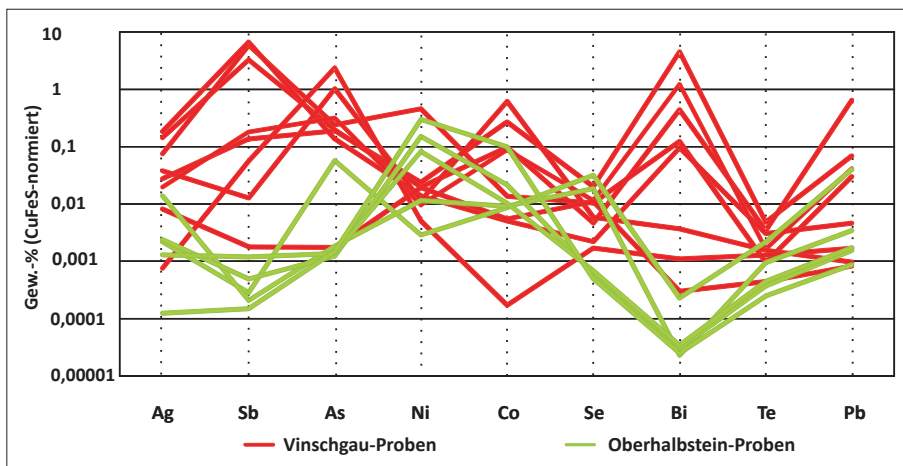


ABB. 3: Spiderdiagramm mit den CuFeS-normalierten Gehalten an ausgewählten chemischen Elementen in den untersuchten Proben aus dem Vinschgau und fünf erzhaltigen Gesteinsproben aus dem Oberhalbstein-Tal (Reitmaier-Naef et al. 2020) (Grafik: M. Bode).
FIG. 3: Spider diagram with the CuFeS-normalized contents of selected chemical elements in the samples from the Vinschgau area and five ore-containing rock samples from the Oberhalbstein valley (Reitmaier-Naef et al. 2020) (graphic: M. Bode).

Arsenopyrit, Bismuthinit, gediegen Bismut, Elektrum und gediegen Gold auf. Tabelle 1 in Schifferle et al. (2014) weist auf die Rolle mehrerer chemischer Elemente als Haupt-, Neben- oder Spurenelement hin. Als Nebenelement und damit signifikant auftretend werden mit Blick auf Abbildung 2 Ag, As, Bi, Co und Pb genannt. Dieser Aufzählung kann man unseren Analysen nach durchaus zustimmen, zumal sich z. B. Co und auch As sogar in den hier untersuchten Schlacken mengenmäßig hervorheben (Tabelle 3). Lediglich Sb sticht in unseren Analysen noch als weiteres erwähnenswertes Element heraus. Eine Gegenüberstellung mit Kupfererz aus dem Oberhalbstein-Tal (Graubünden, Schweiz) etwa 80 km westlich von Eyrs ist in Abbildung 3 dargestellt. Zwei prähistorische Bergbaureviere (Avagna-Ochsenalp, Cotschens) von dort wurden kürzlich mit einigen geochemischen Analysen Cu- und Fe-Erz-führender Gesteinsproben vorgestellt (Reitmaier-Naef et al. 2020). Fünf der insgesamt 7 Probenanalysen werden für den Vergleich mit dem Vinschgau herangezogen. Probe 4427-AO aus Avagna-Ochsenalp repräsentiert eines der Cu-reichsten Mineralisationen in der Oberhalbstein-Region. Sie setzt sich im Grunde lediglich aus Chalkopyrit und Quarz zusammen, mit einem Cu-Anteil von 3,26 Gew.-% (Reitmaier-Naef et al. 2020, Tabelle 1). Für diesen Vererzungstyp wird ein geringer Spurenelementgehalt prognostiziert. Die anderen vier Analyseergebnisse sind von Erzen aus Cotschens, die im Hauptteil in einer Serpentin-Sequenz ein-

gebettet sind und in zwei Typmineralisationen eingeteilt werden (Reitmaier-Naef et al. 2020, Tabelle 3). Typ 1 ist durch Pyrrhotin, Chalkopyrit und Bornit charakterisiert und bis auf Ni, Cr und Co relativ arm an Spurenelementen. Die Paragenese aus Bornit, Chalkosin und wenig Chalkopyrit prägt den Typ 2. Da hier der Serpentin lokal durch einen Metabasit ersetzt ist, liegen die Ni-, Cr- und Co-Werte deutlich tiefer. Festzuhalten bleibt, auch hinsichtlich Abbildung 3, dass beide Kupferbergbaureviere den Untersuchungen nach in ihrer Paragenese, ihrem geologischen Milieu und damit auch in ihrem Spurenelementmuster, von denen im Vinschgau unterscheidbar sind. Als eines der wichtigsten prähistorischen Kupferbergbaureviere in den Ostalpen gilt die Mitterberg-Region südlich von Salzburg. Man kennt von dort drei Mineralisationstypen, die unterschiedlichen Erzformations-Phasen entstammen. Chalkopyrit gehört zur zweiten und dominanten Stufe. Co-reiches Kupfererz wird für den dritten Typ beschrieben. Fahlerz, hauptsächlich Sb-reicher Tetraedrit, tritt mit Ni- und As-haltigen Sulfiden akzessorisch auf (Pernicka et al. 2016). Mehr als 100 chemische Analysen wurden für die Erzvorkommen des Mitterbergs durchgeführt. Davon werden in Abbildung 4 und 5 solche Datensätze herangezogen, in denen alle in den hier vorgestellten Spiderdiagrammen dargestellten Spurenelemente gemessen wurden (Pernicka et al. 2016 Tabelle 4). Da dort S als Gemengteil nicht angegeben wird, werden die Datensätze mit

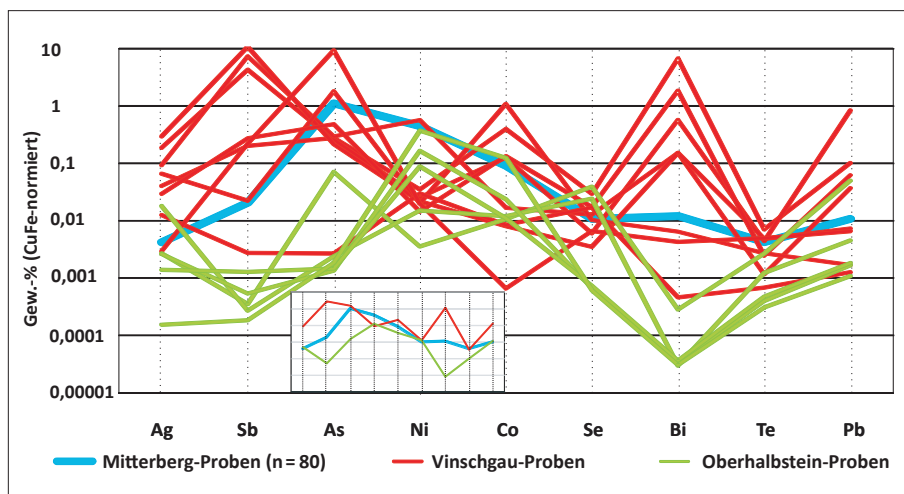


ABB. 4: Spiderdiagramm mit den FeCu-normierten Gehalten an ausgewählten chemischen Elementen in den untersuchten acht Proben aus dem Vinschgau, fünf erzhaltigen Gesteinsproben aus dem Oberhalbstein-Tal und 80 vom Mitterberg-Revier (Pernicka et al. 2016; Reitmaier-Naef et al. 2020). Das Miniaturdiagramm stellt für alle drei Lokalitäten die Durchschnittswerte dar (Grafik: M. Bode).

FIG. 4: Spider diagram with the FeCu-normalized contents of selected chemical elements in the eight samples from the Vinschgau area, five ore-containing rock samples from the Oberhalbstein valley and 80 from the Mitterberg district (Pernicka et al. 2016; Reitmaier-Naef et al. 2020). Small diagram shows average values for all three localities (graphic: M. Bode).

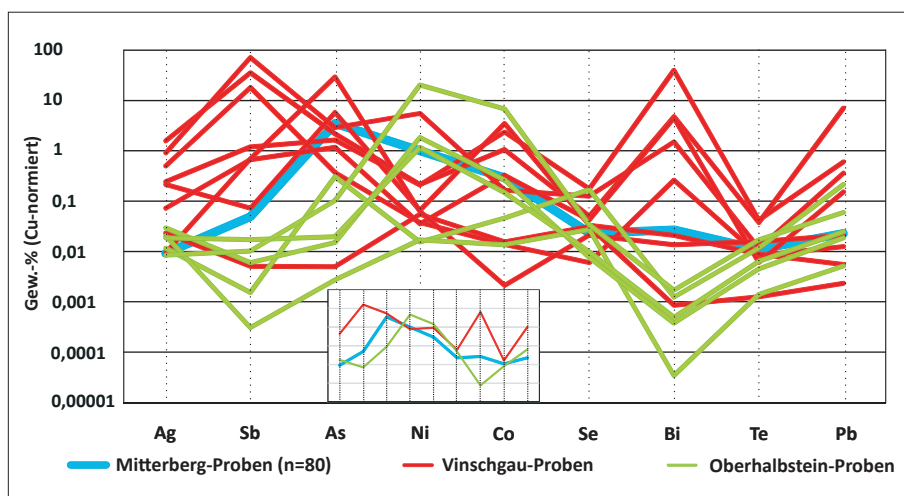


ABB. 5: Spiderdiagramm mit den Cu-normierten Gehalten an ausgewählten chemischen Elementen in den untersuchten acht Proben aus dem Vinschgau, fünf erzhaltigen Gesteinsproben aus dem Oberhalbstein-Tal und 80 vom Mitterberg-Revier (Pernicka et al. 2016; Reitmaier-Naef et al. 2020). Das Miniaturdiagramm stellt für alle drei Lokalitäten die Durchschnittswerte dar (Grafik: M. Bode).

FIG. 5: Spider diagram with the Cu-normalized contents of selected chemical elements in the eight samples from the Vinschgau area, five ore-bearing rock samples from the Oberhalbstein valley and 80 from the Mitterberg district (Pernicka et al. 2016; Reitmaier-Naef et al. 2020). Small diagram shows average values for all three localities (graphic: M. Bode).

den Daten aus Abbildung 3 einmal CuFe- und einmal Cu-normiert gezeigt.

Auch für die Mitterberg-Studie gilt, dass die Laboranalysen vorwiegend mit den Anteilen der Akzessorien schwanken. Nach deren Eigenart kann man am ehesten mit signifikanten Verschiebungen der As-, Co-, Ni- und Sb-Werte rechnen. Beide Abbildungen 4 und 5 zeigen, auch dank der hohen Zahl an Messungen (80), genau für diese Elemente verhältnismäßig hohe Mittelwerte. Das Missverhältnis an Laboranalysezahlen macht den geochemischen Vergleich zwischen dem Vinschgau und dem Oberhalbstein auf der einen Seite und dem Mitterberg auf der anderen aber schwierig. In den Abbildungen 4 und 5 zumindest stechen sowohl die Einzelanalysen als auch die Durchschnittswerte der Vinschgau-Proben im Ag-, Sb- und Bi-Gehalt klar heraus.

Die Spurenelement-Gegenüberstellung konnte sich nur auf zwei Publikationen über benachbarte Erzvorkommen aus dem Ostalpen, mit analytisch vergleichbaren Datensätzen, beziehen. Die eigene Probenanzahl ist für einen guten Überblick über die Geochemie der Vinschgauer Vererzungen noch zu gering. Es lässt sich aber erahnen, dass es möglich ist, die alten Montanreviere im Alpenraum bei umfassender Untersuchung mineralogisch und chemisch zu unterscheiden. Dem kommt zugute, dass Alter und metallogenetische Prozesse der Erzbildungen im Alpenraum zum Teil sehr verschiedenartig sind (vgl. z. B. überblickartig Schifferle et al. 2014).

BLEIISOTOPENANALYSEN

Als nächster Schritt wurden die obig geochemisch beschriebenen acht Erzproben und zusätzlich 12 Schlackenproben (Tab. 1, 3 und 4) einer Bleiisotopenanalyse unterzogen, um eine mögliche analytische Verbindung zwischen den lokalen Erzlagern, den Vor-Ort gefundenen metallurgischen Überresten und den daraus produzierten Metallen zu untersuchen. Als Abfallprodukte der Kupferverhüttung sind Schlacken als relativ ortsfest einzustufen, ihr Entstehungs- und Auffindungsort liegen im Regelfall relativ nahe beieinander. Weiters sind sie als Bindeglied zwischen dem Ausgangsmaterial (Erz, Kupferstein, Rohmetall etc.) und den Produkten (Rohkupfer, Gusskuchen, fertige Objekte) anzusehen. Ihre chemische Zusammensetzung und Bleiisotopenverhältnisse sind durch die gleichen Einflüsse wie die produzierten Metalle geprägt, deshalb stehen sie mit ihnen aus analytischer Sicht in enger Beziehung. Diese Einflüsse umfassen z.B. Bleieinträge aus der Gangart, den Ofenwandbestandteilen, der technischen Keramik, dem Flussmittel, dem Brennstoff oder aus gemischten Erzen und Metallen mit unterschiedlicher Herkunft. Es muss aber erwähnt werden, dass die Forschung im Allgemeinen davon ausgeht, dass sich die Bleiisotopenverhältnisse während des Verhüttungsprozesses nicht oder nur äußerst geringfügig ändern (Pernicka 2014, 255). Hatte das in diesen Materialien enthaltene Blei andere

PROBEN NR.	BEZEICHNUNG	FLUR/FUNDORT/GEMEINDE	VORLÄUFIGE ANSPRACHE
PROBE 1	PRAD-SP 1	VELLNIR, PRADER BERG, GEM. PRAD	DICKE PLATTENSCHLACKE
PROBE 2	PRAD-SP 1	VELLNIR, PRADER BERG, GEM. PRAD	SCHLACKENKUCHEN-FRAGMENT
PROBE 3	PRAD-SP 1	VELLNIR, PRADER BERG, GEM. PRAD	DICKE PLATTENSCHLACKE
PROBE 5	PRAD-SP 1	VELLNIR, PRADER BERG, GEM. PRAD	SCHLACKENKUCHEN-FRAGMENT
PROBE 15	STILFS-SP 2	KLEIN BODEN, GEM. STILFS	DICKE PLATTENSCHLACKE MIT RAND UNTEN
PROBE 16	STILFS-SP 2	KLEIN BODEN, GEM. STILFS	DICKE PLATTENSCHLACKE MIT RAND UNTEN
PROBE 24	STILFS-SP 2	KLEIN BODEN, GEM. STILFS	DICKE PLATTENSCHLACKE
PROBE 28	STILFS-SP 2	KLEIN BODEN, GEM. STILFS	SCHLACKENKUCHEN-FRAGMENT
PROBE 29	STILFS-SP 2	KLEIN BODEN, GEM. STILFS	SCHLACKENKUCHEN-FRAGMENT
PROBE 30	STILFS-SP 2	KLEIN BODEN, GEM. STILFS	SCHLACKENKUCHEN-FRAGMENT
PROBE 31	GOMAGOI-SP 4	GOMAGOI, GEM. STILFS	SCHLACKENKUCHEN-FRAGMENT
PROBE 32	GOMAGOI-SP 4	GOMAGOI, GEM. STILFS	SCHLACKENKUCHEN-FRAGMENT

TAB. 2: Liste der 12 analysierten Schlackenproben.
 TAB. 2: List of the 12 slag samples under study.

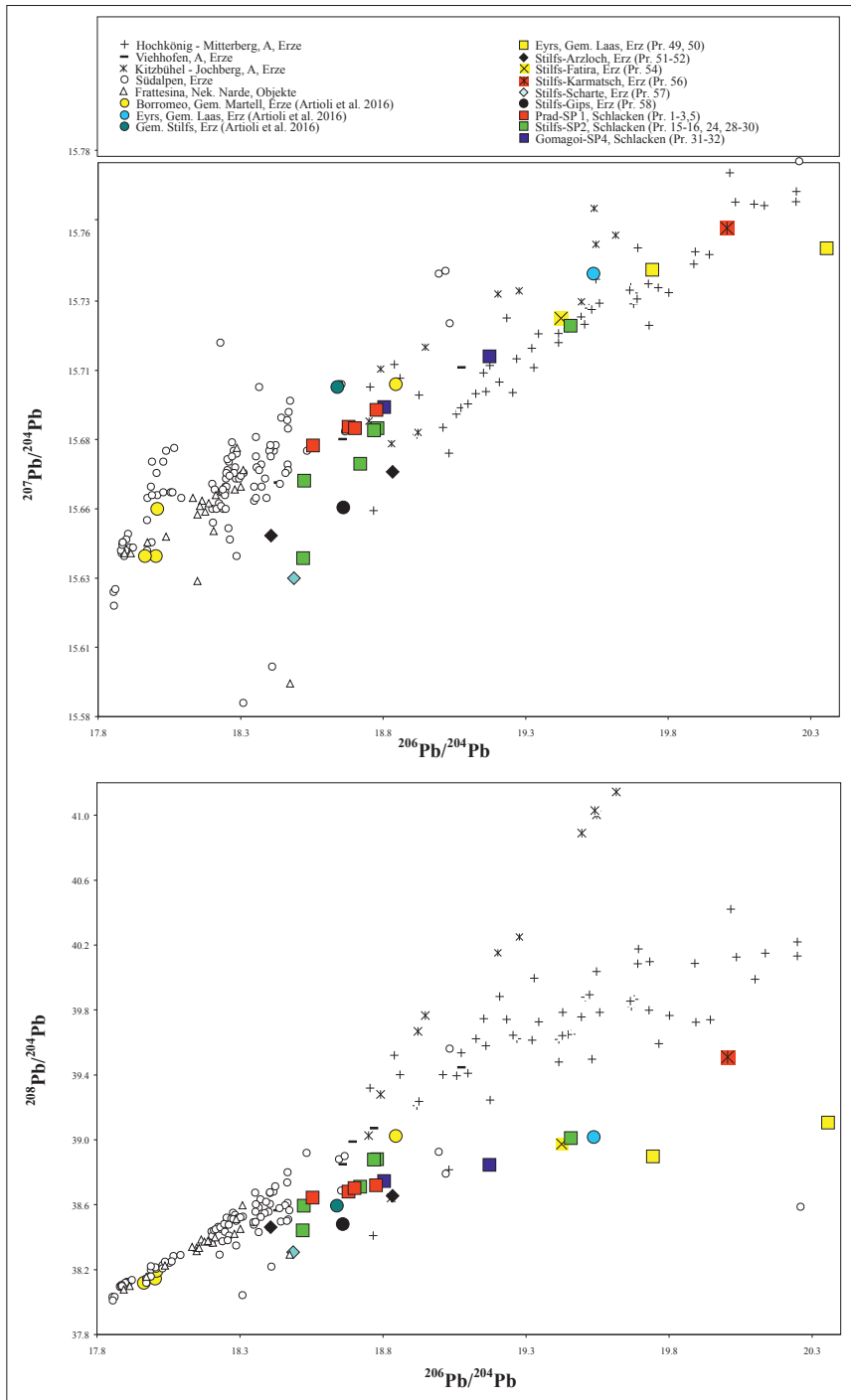


ABB. 6: In den Bleisotopendiagrammen wurden die Analysedaten der Erze und Schlacken aus dem Vinschgau mit denen aus den benachbarten Regionen Trentino, Tirol und Salzburg verglichen, sie unterscheiden sich sehr gut von diesen. Einige der Schlacken und Erze überlagern einander (z.B. Prad-SP1, rote Quadrate), sodass von einer gemeinsam genutzten Lagerstätte ausgegangen werden kann (Grafik: M. Mehofer, Universität Wien, Daten: dieses Projekt; Artioli et al. 2016; 32 Tab. 2; Pernicka et al. 2016, 106, 54 Tab. 5; Mehofer et al. 2020, 192, Tab. 2).

FIG. 6: In the lead isotope diagrams, the isotopic data of the slags and ores from the Vinschgau were combined with those from the neighbouring regions of Trentino, Tyrol and Salzburg; they differ very well from these. Some of the slags and ores overlap each other (e.g. Prad-SP1, red squares), so that a commonly used copper ore deposit can be assumed (graph: M. Mehofer, University Vienna, data: this project; Artioli et al. 2016; 32 Tab. 2; Pernicka et al. 2016, 106, 54 Tab. 5; Mehofer et al. 2020, 192, Tab. 2).

Isotopenverhältnisse (z. B. aufgrund von differierenden Uran-Thorium/Verhältnissen) als das verwendete Schmelzgut, so würde dies auch die Isotopenwerte des produzierten Metalls und der Schlacken verändern und eine direkte Zuordnung zu den Ausgangserzen erschwert bzw. verhindert. Eine Korrelation zwischen Schlacken und Metallen wäre aber weiterhin möglich. Trotz der zuvor genannten Einschränkungen ist es lohnend, solche Analysen durchzuführen. Manches Mal erlauben die Analysen allerdings nur, eine Bergbauregion als Herkunftsgebiet des untersuchten Kupfers auszuschließen.

Die zur Verfügung stehenden Bleiisotopenverhältnisse wurden zuerst zu den aussagekräftigen Dreisisotopendiagrammen $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ sowie $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ kombiniert und um bereits publizierte Messwerte von Erzen aus dem Trentino, Südtirol, dem Veneto sowie dem Tiroler und Salzburger Raum ergänzt (Artioli et al. 2016; Pernicka et al. 2016). Gilberto Artioli führte in den letzten Jahren intensive Beprobungen und Analysen von Erzlagerstätten in den Südalpen durch und publizierte die Resultate in einem zusammenfassenden Artikel. Ausgehend von den geologischen und geochemischen Daten definierte er anhand der Bleiisotopenverhältnisse fünf Gruppen: 1) die Valsugana VMS Gruppe, 2) die südalpine AATV Gruppe (Alto Adige/Südtirol, Trentino, Veneto), 3) die austroalpine AA Gruppe (Alto Adige/Südtirol), 4) die Erze der Karnischen Alpen und 5) die Ophiolith assoziierten Erze der Region Prettau (Artioli et al. 2016, 32 Tab. 2). Die Daten der Vinsch-

gauer Erze wurden zur austroalpinen AA Gruppe zusammengefasst. Einschränkend muss aber erwähnt werden, dass von Artioli nur sechs Erzproben aus drei Lagerstätten – Stilfs (1 Probe), Eysrs (1 Probe), Borromeo (4 Proben) – für den hier diskutierten Untersuchungsraum publiziert wurden und diese eine sehr weite Streuung der Isotopenwerte ausweisen. Ihre $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ Verhältnisswerte variieren zwischen 17,972 und 19,537. Hier offenbart sich eine der Schwächen solcher Analysen, besonders, wenn die U/Pb-Verhältnisse, wie es für alpine Kupfererze typisch ist, stark variieren und damit ebenso die Bleiisotopenzusammensetzungen. Deshalb können sie nur ziel führend eingesetzt werden, wenn eine entsprechend große Anzahl an Vergleichsdaten zur Verfügung steht. So wäre es wünschenswert, wenn pro Lagerstätte mindestens 10, idealerweise bis zu 30 Erzstücke aus unterschiedlichen Tiefen analysiert würden, um den Erzkörper möglichst komplett zu erfassen. Eine heterogene Geologie des Untersuchungsgebietes – wie im vorliegenden Fall die der Vinschgauer Scherzone – erschwert solche Untersuchungen zusätzlich, da auf relativ kleinem Raum Kupferlagerstätten mit unterschiedlichen Isotopenverhältnissen vorhanden sein können. Wurden diese Erze, oder die aus ihnen gewonnenen Metalle in prähistorischer Zeit zusammen verarbeitet und geschmolzen kam es zur Mischung der Isotopenwerte, was eine Zuordnung zu einer spezifischen Lagerstättenregion sehr erschwert.

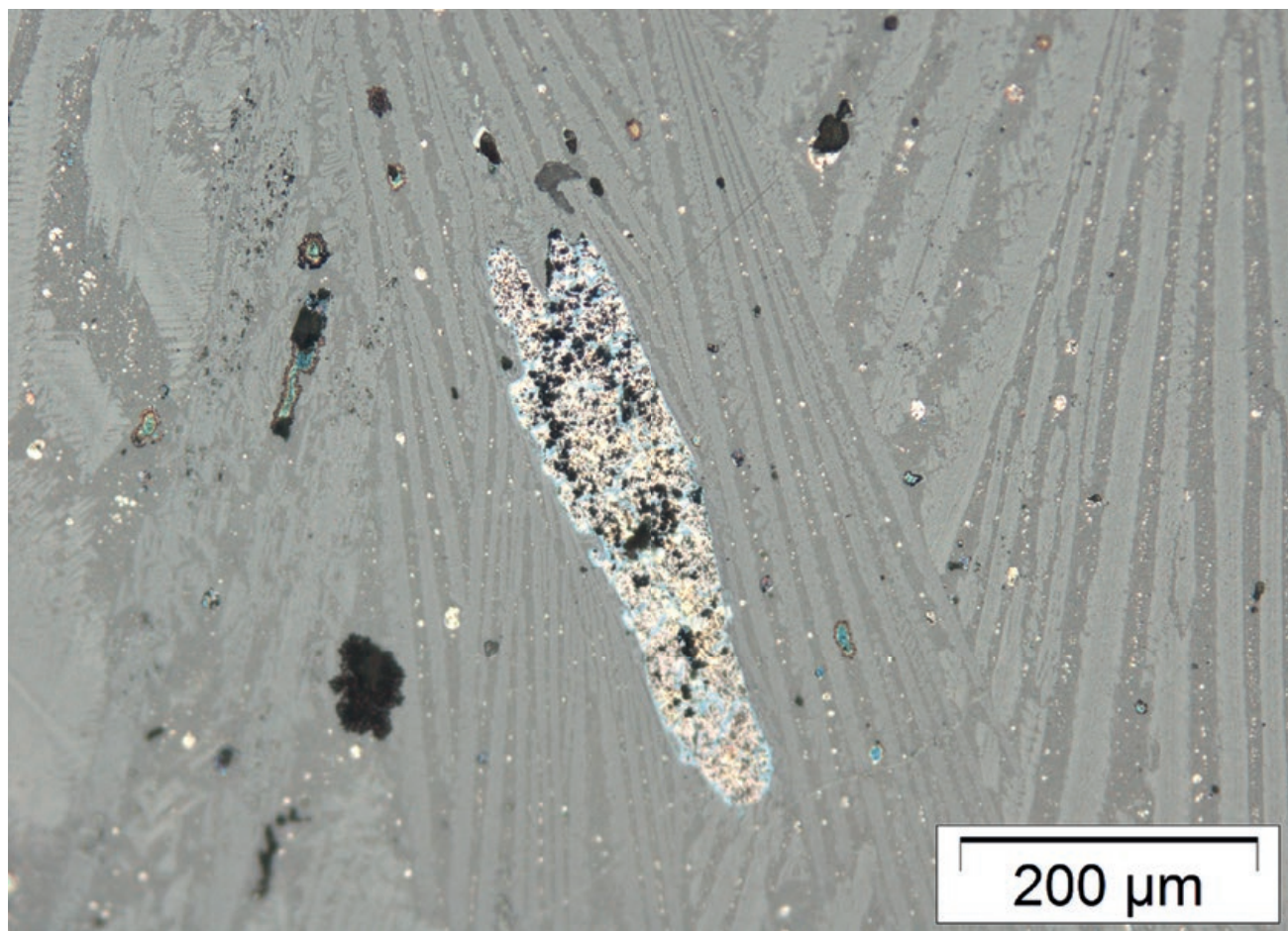


ABB. 7: Mikroskopaufnahme der Pr. 11 vom Schmelzplatz Prad-SP 1. Das Mikrogefüge der Plattenschlacke wird von langstängeligen Olivinen (Fayalit, hellgrau) dominiert. Dazwischen sind Kupferstein (gelb-bläulich) und gelegentlich Magnetite in die Schlackenmatrix (dunkelgrau) eingelagert (Foto: M. Mehofer, Universität Wien).

FIG. 7: Micrograph of sample no. 11 from the smelting site Prad-SP 1. The microstructure of the plate-slag is dominated by olivines (fayalite, light grey). In between, matte (yellowish) and occasionally magnetites are visible in the slag matrix (dark grey) (photo: M. Mehofer, University of Vienna).

Zuallererst kann festgestellt werden, dass die Isotopenverhältnisse der Vinschgauer Erz- und Schlackenfunde in einem ähnlichen Bereich variieren. Sie setzen sich relativ gut von den aus den umliegenden Regionen (Tirol, Salzburg, Trentino) stammenden Erzproben ab (Abb. 6). Dies soll in Zukunft eine Eingrenzung spezifischer Lagerstättenbezirke als Herkunftsgebiet des verwendeten Kupfers ermöglichen. Es gilt aber zu bedenken, dass die analysierten Erze (und auch die Schlacken) sehr geringe Bleikonzentrationen haben. Ist in der begleitenden Gangart ebenfalls Blei in entsprechenden Mengen vorhanden und kann diese während der Probenaufbereitungsprozesse nicht abgetrennt werden, so geht auch das in ihr enthaltene Blei in die Analyse mit ein. Dies verändert natürlich die gemessenen Isotopenverhältnisse des Erzes und kann sie hin zu denen des Nebengesteins verschieben, was bei der Interpretation entsprechend berücksichtigt werden muss.

Die analysierten Schlacken zeigen die für sie üblichen Bestandteile (Tab. 3). Die zwischen 0,43% und 2,79% schwankenden Kupferkonzentrationen weisen sie als Abfallprodukte des Kupferverhüttungsprozesses aus (Abb. 7), die messbaren Schwefelwerte stehen damit in Zusammenhang und zeigen eine sulfidische Erzbasis an. Ein Zusammenhang mit Eisenverhüttung ist auszuschließen, da weder die Morphologie, noch das Mikrogefüge der untersuchten Schlackenproben mit dem von hallstattzeitlich datierten Eisenverhüttungsschlacken – wie etwa vom Waschenberg, OÖ – übereinstimmt (Haubner & Strobl 2014). In keiner der untersuchten Schlacken fand sich z.B. metallisches Eisen, wie es für solche Eisenverhüttungsschlacken typisch ist. In einigen der untersuchten Erze sind deutlich erhöhte Bismutgehalte von bis zu 2,2% (Probe 49) sowie Antimonkonzentrationen von bis zu 3,48% (Probe 50 und 56) messbar, was allerdings keinen eindeutigen Niederschlag in den Analysewerten der Schlacken findet. Dies kann damit erklärt werden, dass Bismut und auch Antimon während der Verhüttung vornehmlich ins Metall übergehen und/oder teilweise aboxidieren und verdampfen. Natürlich ist es auch möglich, dass die beproben Erze aus Lagerstättenbereichen stammen, die nicht urgeschichtlich genutzt wurden. Kobalt und Arsen haben, wie bereits zuvor erwähnt, erhöhte Mengenanteile in den Schlacken.

Die von Artioli und im Rahmen unserer Forschungen untersuchten Erzproben aus dem Stollen bei Eyrs in der Gemeinde Laas (Pr. 49 und 50) haben als Gemeinsamkeit hohe $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ Verhältniswerte über 19,5, auch wenn sie nicht übereinstimmen. Ob diese Abweichungen z.B. durch unterschiedliche Beprobungsstellen innerhalb der Lagerstätte begründet sind, kann zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht geklärt werden. Fest steht aber, dass die drei Erzproben 49, 50 und 56 unserer Studie mit Verhältniswerten zwischen 19,74 und 20,53 die höchsten Urangehalte besitzen und somit verhältnismäßig stark radio-gen ausgeprägt sind. Gleiches gilt für das von Artioli aus der Gemeinde Stilfs analysierte Erz. Da in seiner Publikation keine weiteren Informationen angegeben wurden, aus welchem Stollen diese Probe stammt, kann nur festgehalten werden, dass ihre Isotopenverhältnisse grundsätzlich in einem ähnlichen Bereich wie die der in diesem Projekt analysierten Erze und Schlacken liegen.

Für eine Schlacke vom Schmelzplatz Stilfs-SP 2 (Pr. 28) und eine Erzprobe aus Stilfs-Fatira (Pr. 54) kann in den Bleiisotopendiagrammen eine gewisse Nähe zueinander (Abb. 5) und damit Korrelation erkannt werden (Tabelle 4). Dies deutet darauf hin, dass die Schlacke aus einem Verhüttungsprozess stammt, in dessen Rahmen Erz mit ähnlichen Bleiisotopenver-

hältnissen wie aus der Probe Stilfs-Fatira geschmolzen wurde. Zwei Schlacken vom Schmelzplatz Prad-SP1 (Pr. 3 und 5), jeweils eine Schlacke von Prad-SP1 und Gomagoi-SP4 (Pr. 2 und 31) sowie zwei Schlacken vom Verhüttungsplatz Stilfs-SP 2 (Pr. 15 und 16) haben einander stark ähnelnde Isotopenverhältnisse. Dies lässt für die jeweiligen Schlacken auf eine gemeinsam genutzte Erzbasis, etwa aus derselben Lagerstätte, schließen. Für die restlichen analysierten Schlacken konnten keine solchen Übereinstimmungen beobachtet werden.

Bedauerlicherweise konnte aufgrund der SARS-Covid19 Restriktionen die geplante Beprobung der Buntmetallgegenstände vom Ganglegg und anderen Fundstellen im oberen Vinschgau noch nicht durchgeführt werden. Deshalb kann zur möglichen Verteilung und Verbreitung des produzierten Kupfers noch keine Aussage getroffen werden. Die Untersuchung, in welche Verteilungsnetzwerke das Metall eingespeist wurde, muss deshalb auf einen späteren Zeitpunkt verschoben werden. Es ist zu diskutieren, ob das im Vinschgau produzierte Kupfer entlang der Flussläufe bis in das Alpenvorland und weiter gelangte. Dies lässt sich zumindest für das im Trentino produzierte Kupfer rekonstruieren, wie die Auswertung von Analysedaten ausgewählter Funde aus dem norditalienischen Fundort Frattesina sowie der Nekropole Narde I zeigte (Jung et al. 2001; Jung & Mehofer 2012; Jung & Mehofer 2013; Mehofer & Jung 2017; Mehofer et al. 2020, 192, Tab. 2). Auch hier kann keine direkte isotopische Übereinstimmung mit Vinschgauer Erzen festgestellt werden, die meisten Funde lassen sich mit Erzen aus dem Trentino verbinden. Nur wenige dieser Funde haben Verhältniswerte, die sich in der Nähe der Erze aus Borromeo (Vinschgau), aber auch Valle Imperina und Calceranica (beide Trentino) befinden (Abb. 5). Die Ergebnisse der Bleiisotopenanalysen der Funde vom Ganglegg sind abzuwarten, bevor hier weitere Rückschlüsse zur Metallzirkulation gezogen werden können.

ZUSAMMENFASSUNG

Aufgrund der komplexen Geologie in den Vinschgauer Bergbaurevieren reichen 8 Erzgesteinsproben für eine repräsentative Beschreibung der Geochemie der Erzvorkommen nicht aus. Neben den Haupterzen Chalkopyrit und Pyrit konnten aber einige der typischen akzessorischen Begleitminerale bereits im spärlichen Untersuchungsmaterial erkannt werden (Bindheimit, Bismuthinit, Boulangerit, Stibnit, Tennantit). Sie machen in wechselnden Kombinationen die Charakteristika der geochemischen Spurenelementmuster im Vinschgau aus (Ag, As, Bi, Co, Pb, Sb). Ob sich hier ein Alleinstellungsmerkmal für den Vinschgau herauskristallisiert, können nur weitere Analysen für dieses Gebiet und weitere Untersuchungen alter Kupferbergbau im alpinen Raum zeigen. In dieser Studie konnten zumindest deutliche Unterschiede zu den Kupfer-(Eisen)erzen vom Oberhalbstein (Schweiz) und dem Mitterberg festgestellt werden.

Die Bleiisotopenanalysen geben einen ersten Einblick in die Nutzung der örtlichen Kupferlagerstätten. Zum einen ist erkennbar, dass sich die bis dato analysierten Erze isotopisch von denen des benachbarten Trentino unterscheiden. Die nördlich bzw. nordöstlich gelegenen Erzreviere von Kitzbühel, Viehhofen und Hochkönig-Mitterberg zeigen ebenfalls keine Übereinstimmung. Dies erleichtert die zukünftig geplanten Analysen von Buntmetallartefakten, da deren Spurenelement-

und Bleiisotopensignatur, so sie nicht durch Recycling verändert wurden, prinzipiell einer dieser Lagerstättenregionen zuordenbar sein sollten. Beispielgebend wurden die Analyseergebnisse von Artefakten aus Frattesina und der Nekropole Narde I einbezogen, deren Kupfer im Trentino erschmolzen und dann in die Poebene gebracht, wo es in den örtlichen Werkstätten verarbeitet wurde.

Des Weiteren zeigen die Ergebnisse, dass einige der analysierten prähistorischen Schlacken – z.B. Prad-SP1 (Pr. 2) und Gomagoi-SP4 (Pr. 31) sowie Stilfs-SP 2 (Pr. 15 und 16) – fast identische Bleiisotopenwerte haben. Da es sich dabei um Schlacken handelt, die unterschiedlichen Prozessstufen zugeordnet werden können (Probe 3: dicke Plattenschlacke; Probe 5: Schlackenkuchen) kann angenommen werden, dass bei der Entstehung dieser Abfallprodukte die gleiche Erzbasis verwendet wurde. Leider handelt es sich bei den betreffenden Stücken um Oberflächenfunde, weshalb keine genauere chronologische Zuordnung möglich ist. Es kann daher keine Aussage darüber getroffen werden, ob die beiden analysierten Schlacken eventuell aus demselben Schmelzprozess stammen. Einige weitere Schlacken von verschiedenen Vinschgauer Fundplätzen weisen ebenfalls eine isotopische Korrelation auf, was auf eine gemeinsam genutzte Lagerstätte schließen lässt. Am offensichtlichsten wird dies anhand einer Erzprobe aus Stilfs-Fatira (Pr. 54) und einer Schlackeprobe vom Schmelzplatz Stilfs-SP2 (Pr. 28), deren Isotopenwerte gut miteinander korrelieren. Diese bleiisotopische Ähnlichkeit könnte die Annahme nahelegen, dass Erz im Bereich der Flur Fatira geschürft, zum Schmelzplatz Stilfs-SP2 am gegenüberliegenden Berghang transportiert und dort verhüttet wurde.

LITERATUR

- ARTIOLI, G., ANGELINI, I., NIMIS, P. & VILLA, J. M., 2016: A lead-isotope database of copper ores from the Southeastern Alps: A tool for the investigation of prehistoric copper metallurgy. – *J. Arch. Sci.*, 75: 27–39.
- CIERNY, J., 2008: Prähistorische Kupferproduktion in den südlichen Alpen: Region Trentino Orientale. – *Der Anschnitt*, 22. 1–248, Bochum.
- HAUBNER, R. & STROBL, S. 2014: Slag investigation from iron smelting and iron processing sites in Austria – from Hallstatt and medieval period and the 19th century. – *Materials Science Forum*, 782 (2014) 635–640.
- JUNG, R., MEHOFER, M. & PERNICKA, E., 2011: Metal Exchange in Italy from the Middle to the Final Bronze Age (14th–11th Century BCE). – In: Betancourt, P. P., Ferrence, S. C. (Hrsg.), *Metallurgy: Understanding How, Learning Why. Studies in Honor of James D. Muhly*, 231–248, INSTAP Academic Press, Philadelphia.
- JUNG, R. & MEHOFER, M., 2012: Analisi archeologiche ed archeometriche di una Punta di giavelotto del BR. – In: Cazzella B., Moscoloni, M., Recchia, G. (Hrsg.), *Coppa Navigata e l'area umida alla foce del Candelaro durante l'età del Bronzo*, 453–456, Foggia.
- JUNG, R. & MEHOFER, M., 2013: Mycenaean Greece and Bronze Age Italy: Cooperation, Trade or War? – *Archäologisches Korrespondenzblatt*, 43 (2): 175–193.
- KEIM L., MAIR V. & MORELLI C., 2018: Geologische Übersichtskarte von Südtirol, Tirol und Trentino; Version 2018. Amt für Geologie und Baustoffprüfung (Bozen 2018).
- KOCH WALDNER T., 2019: Prähistorische Siedlungen und Bergbauspuren im Ortlergebiet – Bergbau an einem Verkehrsknotenpunkt der Zentralalpen. In: Hye S., Töchterle U. (Hrsg.): UPIKU:TAUKE. Festschrift für Gerhard Tomedi zum 65. Geburtstag. UPA 339 (Bonn 2019) 275–285.
- KOCH WALDNER T., (in Druck): Bronze Age Copper Mining in the Vinschgau, South Tyrol – The discovery of a mining landscape at a central alpine traffic junction. In: Gavranovic M., Mehofer M. (Hrsg.): *Bronze Age Metallurgy. production – consumption – exchange. Proceedings of the Workshop at the Austrian Academy of Science, May 2019. OREA 13* (Wien in Druck).
- KRETZ, R., 1983: Symbols of rock-forming minerals. *American Mineralogist* 68: 277–279.
- LUNZ, R., 1997: Ur- und Frühgeschichte des Raumes Glurns-Prad-Stilfs-Trafoi. In: R. Loose (ed.), *Prad am Stilfserjoch. Beiträge zur Orts- und Heimatkunde von Prad, Aguns und Lichtenberg* (Prad a. Stilfserjoch 1997).
- MAIR, V., 1996: Die Kupferbergbaue von Stilfs, Eys und Klausen. *Stoansuacher* 1: 38–44.
- MEHOFER, M. & JUNG, R., 2017: Weapons and metals – Inter-regional contacts between Italy and the Eastern Mediterranean during the Late Bronze Age. – In: Fischer, P., Burge T. (Hrsg.), *Sea Peoples up-to-Date: New Research on Transformations in the Eastern Mediterranean in the 13th–11th Centuries BCE: Proceedings of the ESF-Workshop Held at the Austrian Academy of Sciences, Vienna, 3–4 November 2014*, 389–400, Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien.
- MEHOFER, M.; JUNG R. & PERNICKA, E., 2020 (in Druck): On the copper-based exchange processes between the southern alps and the eastern Mediterranean. – *Padusa LVI*.
- PERNICKA, E., 2014: Provenance determination of archaeological metal objects. A short history of provenance analysis of archaeological metal objects – In: B. W. Roberts & C. P. Thornton (Hrsg.), *Archaeometallurgy in Global Perspective*, NewYork, 239–268.
- PERNICKA, E., LUTZ, J. & STÖLLNER, T., 2016: Bronze age copper produced at Mitterberg, Austria, and its distribution. *ArchA* 100: 19–55.
- RAGETH J., 1986, Die wichtigsten Resultate der Ausgrabungen in der bronzezeitlichen Siedlung auf dem Padnal bei Savognin (Oberhalbstein GR). *JbSGUF* 69, 1986, 63–103.
- RAGETH, J., 2000: Der Kanton Graubünden und der obere Vinschgau. *Helvetica Arch.* 123/31, 2000, 91–99.
- REITMAIER-NAEF, L., THOMAS, P., BUCHER, J., OBERHÄNSLI, M., GRUTSCH, C. O., MARTINEK, K.-P., SEIFERT, M., RENTZEL, PH., TURCK, R., REITMAIER, TH. & DELLA CASA, PH., 2020: Mining at the Fringes. High-Altitude Prehistoric Copper Mining in the Oberhalbstein Valley (Grisons, Switzerland). *Archaeologia Austriaca* 104: 123–151.
- SALZANI, L., 1994: Nogara. Rinvenimento di un ripostiglio di bronzi in località «Pila del Brancón». – *Quaderni di Archeologia del Veneto* 10, 83–94.
- SALZANI, L., 2000: Fratta Polesine. Il ripostiglio di bronzi n. 2 da Frattesina. – *Quaderni di Archeologia del Veneto* 16: 38–46.
- SALZANI, L., 2005: La necropoli dell'età del Bronzo all'Olmo di Nogara, Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona, 2 Serie, Sezione Scienze Dell'Uomo 8. Verona.

- SCHIFFERLE, L., KRISMER, M. & TROPPEL, P., 2014: Woher stammen die Kupfererze vom Fennhals (Kurtatsch, Südtirol)? Ein chemischer und mineralogischer Vergleich der Kupferschlacken mit ausgewählten Cu-führenden Erzvorkommen aus Südtirol und dem Trentino. *Geo.Alp* 11: 85–102.
- SILVESTRI E., HAUPTMANN A., BELLINTANI P., MOTTES E., NICOLIS F., 2015: Bronzezeitliche Kupferverhüttung in Trentino. In: Stöllner T., Oegg K. (Hrsg.): *Bergauf Bergab. Eine Zeitreise durch 10.000 Jahre Bergbau in den Ostalpen. Wissenschaftl. Beiband zur Ausstellung im Deutschen Bergbau-Museum Bochum vom 31.10.2015–24.04.2016, im Vorarlberg Museum Bregenz vom 11.06.2016–26.10.2016 (Rahden/Westf. 2015)* 201–208.
- SPERBER, L., 2004: Zur Bedeutung des nördlichen Alpenraumes für die spätbronzezeitliche Kupferversorgung in Mitteleuropa: mit besonderer Berücksichtigung Nordtirols. – In: Weisgerber, G. & Goldenberg, G. (Hrsg.), *Alpenkupfer – Rame delle Alpi, Der Anschnitt Beiheft 17*, Bochum, 303–345.
- STEINER H., 2007: Die befestigte Siedlung am Ganglegg im Vischgau – Südtirol: Ergebnisse der Ausgrabungen 1997–2001 (Bronze-/Urnenfelderzeit) und naturwissenschaftliche Beiträge. *Forsch. Denkmalpflege in Südtirol* 3, (Bozen).
- STÖLLNER, TH., 2011: Der Mitterberg als Großproduzent für Kupfer in der Bronzezeit: Fragestellungen und bisherige Ergebnisse. – In: Oegg, K.; Goldenberg, G.; Stöllner, Th. & Prast, M. (Hrsg.), *Die Geschichte des Bergbaues in Tirol und seinen angrenzenden Gebieten. Proceedings zum 5. Milestone-Meeting des SFB HiMAT vom 07.-10.10.2010 in Mühlbach (Innsbruck)*, 93–106.
- WITNEY, D.L. & EVANS, B.W., 2010: Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist* 95: 185–187.

Eingereicht am: 1.4.2021

Angenommen am: 13.5.2021

PROBEN N.R.	FUNDORT	ANSPRACHE	NA2O	MGO	BAO	AL2O3	SiO2	P2O5	S	CAO	TiO2	ZNO	MNO	FE	CU	K2O	SB	PB	BI	SUM	AG	SN	TE	U	V	CR	CO	NI	SR	AS	SE
1	PRAD- SP 1	DICKE PLATTEN-SCHLACKEN (FA, MAG, WO)	0,26	0,70	0,02	3,46	25,8	1,94	1,52	3,78	0,10	0,12	0,12	54,1	2,32	0,97	0,002	0,060	0,0003	95	0,0016	0,011	<0,00035	0,0005	0,0017	0,001	0,26	0,015	0,007	0,029	0,001
2	PRAD- SP 1	SCHLACKEN-KUCHEN-FRAGMENT (CRS, FA, MAG, MC, QZ)	0,44	1,57	0,04	6,18	38,5	3,49	0,51	6,13	0,29	0,02	0,14	39,0	0,60	2,20	0,002	0,002	0,0002	99	0,0004	0,004	0,0004	0,0006	0,0041	0,003	0,35	0,004	0,013	0,022	0,0002
3	PRAD- SP 1	DICKE PLATTEN-SCHLACKEN (BN, DI, FA, MAG, MS, QZ)	0,53	1,24	0,04	6,08	35,0	3,33	0,17	5,95	0,18	0,06	0,19	43,0	0,90	2,08	0,002	0,019	0,0003	99	0,0004	0,010	0,0004	0,0006	0,0026	0,002	0,44	0,014	0,013	0,020	0,002
5	PRAD- SP 1	SCHLACKEN-KUCHEN-FRAGMENT (CRS, FA, QZ)	0,27	1,07	0,03	5,09	46,6	4,59	0,34	6,64	0,17	0,02	0,07	28,4	0,71	1,83	<0,0015	0,007	0,0001	96	0,0005	0,004	<0,00035	0,0006	0,0025	0,002	0,26	0,008	0,010	0,021	<0,0005
15	STILFS- SP 2	DICKE PLATTEN-SCHLACKEN MIT RAND UNTEN (FA, DI, GH)	0,16	0,34	0,01	2,09	31,5	0,30	2,48	1,21	0,09	0,08	0,02	60,0	0,59	0,76	0,002	0,001	0,001	100	0,0002	0,004	<0,00035	0,0002	0,0011	0,001	0,03	0,003	0,003	0,016	<0,0005
16	STILFS- SP 2	DICKE PLATTEN-SCHLACKEN MIT RAND UNTEN (FA, HD)	0,15	0,33	0,02	1,97	30,1	0,28	2,51	1,19	0,09	0,01	0,03	61,4	0,60	0,80	0,002	0,001	0,001	99	0,0002	0,004	<0,00035	0,0002	0,0012	0,054	0,03	0,039	0,003	0,016	<0,0005
24	STILFS- SP 2	DICKE PLATTEN-SCHLACKEN (CCP, DELAFOSBIT, FA, GTH, WUS)	0,06	0,28	0,02	1,15	20,3	0,23	3,71	1,00	0,06	0,005	0,03	69,4	0,87	0,37	<0,0015	0,001	0,001	98	0,0004	0,002	<0,00035	0,0002	0,0008	0,004	0,03	0,002	0,002	0,025	0,001
28	STILFS- SP 2	SCHLACKEN-KUCHEN-FRAGMENT (CRS, FA, MAG, QZ)	0,17	0,89	0,03	5,70	46,1	1,65	0,84	2,25	0,16	0,01	0,02	35,8	0,59	1,98	0,002	0,001	0,001	96	0,0004	0,006	<0,00035	0,0009	0,0021	0,001	0,09	0,006	0,007	0,015	<0,0005
29	STILFS- SP 2	SCHLACKEN-KUCHEN-FRAGMENT (CRS, FA, HEM, MAG, QZ)	0,15	0,40	0,02	2,15	30,3	0,23	2,32	0,99	0,09	0,005	0,02	57,2	0,66	0,62	0,002	0,001	0,002	95	0,0003	0,002	<0,00035	0,0002	0,0012	0,001	0,05	0,005	0,003	0,015	<0,0005
30	STILFS- SP 2	SCHLACKEN-KUCHEN-FRAGMENT (CRS, FA, QZ)	0,15	0,94	0,02	4,51	50,1	1,38	0,43	2,10	0,16	0,01	0,02	32,9	0,43	1,67	<0,0015	0,009	0,001	95	0,0003	0,005	<0,00035	0,0007	0,0021	0,001	0,09	0,002	0,006	0,013	0,001
31	GOMAGOI- SP 4	SCHLACKEN-KUCHEN-FRAGMENT (CRS, FA, MAG, QZ)	0,20	0,79	0,02	4,91	59,1	2,33	0,16	3,78	0,22	0,03	0,02	17,9	2,79	1,63	0,002	0,004	0,001	94	0,0010	0,005	<0,00035	0,0011	0,0028	0,002	0,21	0,018	0,007	0,045	<0,0005
32	GOMAGOI- SP 4	SCHLACKEN-KUCHEN-FRAGMENT (CRS, FA, FLOURAPATIT, QZ)	0,34	1,71	0,04	6,15	44,3	4,22	0,17	7,87	0,29	0,02	0,07	26,7	0,79	2,14	<0,0015	0,001	0,0001	95	0,0005	0,003	<0,00035	0,0007	0,0044	0,20	0,32	0,014	0,016	<0,0005	
49	EYRS- GEM- LAMS	ANK, BISMUTINIT, CCP, GP, GTH, MS, PY, QZ	0,04	0,35	0,001	0,17	9,44	0,01	15,2	12,45	0,001	0,08	0,35	27,9	5,54	0,06	0,07	0,033	2,200	74	0,013	0,010	0,0023	0,007	<0,00005	<0,0001	0,13	0,012	0,01	0,09	0,010
50	EYRS- GEM- LAMS	AB, AN, CCP, MS, STIBNIT	3,66	0,38	0,02	12,6	32,4	0,24	12,8	0,22	0,13	0,56	0,008	9,44	13,0	3,21	2,35	0,002	0,034	91	0,065	0,001	0,0011	0,054	0,0003	<0,0001	0,00	0,005	0,01	0,05	0,001
51	STILFS- ARZLOCH	ANK, CCP, GP, MS, PY, SD, QZ	0,03	1,83	0,001	0,26	26,9	0,01	19,2	7,06	0,003	0,04	0,83	18,3	8,06	0,05	0,01	0,0004	0,002	83	0,017	0,003	0,0007	0,001	0,0001	<0,0001	0,28	0,005	0,005	0,47	0,003
52	STILFS- ARZLOCH	ANK, BINDEHEIMIT, BOULANGERIT, CCP, HEM, QZ	0,04	5,49	0,001	0,08	15,4	0,01	5,26	26,5	0,001	0,09	2,25	16,4	2,18	0,03	0,78	0,154	0,105	75	0,034	0,001	0,0008	0,0005	<0,00005	0,02	0,005	0,02	0,05	0,001	
54	STILFS- FAIRA	ANK, CCP, PY, QZ	0,03	1,66	0,001	0,22	13,7	0,01	17,0	12,3	0,007	0,03	0,65	20,7	14,1	0,07	0,09	0,021	0,632	81	0,010	0,007	0,0008	0,0003	0,0001	<0,0001	0,05	0,005	0,01	0,16	0,006
56	STILFS- KARWITSCH	CCP, GTH, QZ	0,04	0,03	0,003	0,44	14,5	0,04	10,5	0,001	0,02	0,01	0,01	43,7	4,89	0,35	3,48	0,018	0,073	78	0,044	0,004	0,0006	0,002	0,0004	<0,0001	0,01	0,27	0,003	0,14	0,006
57	STILFS- SCHARTE	CCP, MLC, QZ	0,04	0,01	0,001	0,12	12,0	0,02	29,2	0,27	0,002	0,08	0,01	25,2	29,7	0,02	0,0015	0,001	0,0003	97	0,007	0,0003	0,0004	0,0002	0,0002	<0,0001	0,005	0,016	0,0002	0,00	0,009
58	STILFS- GIPS	ANH, GP, MGS, QZ, TNT	0,04	3,59	0,008	0,24	5,90	0,01	21,8	31,8	0,01	0,22	0,01	5,24	2,38	0,04	0,02	0,0005	0,0003	71	0,0002	0,002	0,0004	0,0005	0,0003	<0,0001	0,00005	0,001	0,37	0,70	0,0005

TAB. 3: Chemische Zusammensetzung der Schlacken- und Erzproben aus dem Vinschgau mit Angabe der Schlackentypen und des Mineralbestands in den Schlacken und Erzen sowie für die jeweiligen Proben (Abkürzungen der Mineralphasen nach Kretz [1983] bzw. Whitney und Evans [2010]). Alle Angaben in Masseprozent (Gew.-%).

TAB. 3: Chemical composition of the slag and ore samples from the Vinschgau area with information on slag types and mineral content in the slags and ores (abbreviations of the mineral phases according to Kretz [1983] and/or Whitney and Evans [2010]). All values are given in mass percent (wt.-%).

PROBEN-NR.	ANSPRACHE	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	MG/KG PB	MG/KG U
1	DICKE PLATTENSCHLACKE (FA, MAG, WO)	18,553	15,678	38,644	0,8450	2,0828	600	4,6
2	SCHLACKENKUCHEN-FRAGMENT (CRS, FA, MAG, MC, QZ)	18,776	15,691	38,719	0,8357	2,0622	22	6,0
3	DICKE PLATTENSCHLACKE (BN, DI, FA, MAG, MS, QZ)	18,679	15,685	38,681	0,8397	2,0709	190	6,2
5	SCHLACKENKUCHEN-FRAGMENT (CRS, FA, QZ)	18,701	15,684	38,702	0,8387	2,0696	70	6,2
15	DICKE PLATTENSCHLACKE MIT RAND UNTEN (FA, DI, GH)	18,779	15,684	38,880	0,8352	2,0703	10	2,0
16	DICKE PLATTENSCHLACKE MIT RAND UNTEN (FA, HD)	18,768	15,683	38,878	0,8357	2,0715	8,8	2,1
24	DICKE PLATTENSCHLACKE (CCP, DELAFOSSIT, FA, GTH, WUS)	18,523	15,665	38,595	0,8457	2,0836	10	2,3
28	SCHLACKENKUCHEN-FRAGMENT (CRS, FA, MAG, QZ)	19,457	15,721	39,011	0,8080	2,0050	9,0	8,6
29	SCHLACKENKUCHEN-FRAGMENT (CRS, FA, HEM, MAG, QZ)	18,720	15,671	38,711	0,8372	2,0679	6,8	2,4
30	SCHLACKENKUCHEN-FRAGMENT (CRS, FA, QZ)	18,520	15,637	38,443	0,8444	2,0758	85	7,2
31	SCHLACKENKUCHEN-FRAGMENT (CRS, FA, MAG, QZ)	18,803	15,692	38,747	0,8345	2,0606	40	11
32	SCHLACKENKUCHEN-FRAGMENT (CRS, FA, FLOURAPATIT, QZ)	19,172	15,710	38,847	0,8194	2,0262	13	7,2
49	ANK, BISMUTINIT, CCP, GP, GTH, MS, PY, QZ	19,744	15,741	38,898	0,7973	1,9702	330	70
50	AB, AN, CCP, MS, STIBNIT	20,356	15,749	39,105	0,7737	1,9211	16	540
51	ANK, CCP, GP, MS, PY, SD, QZ	18,833	15,668	38,655	0,8320	2,0525	4,4	13
52	ANK, BINDHEIMIT, BOULANGERIT, CCP, HEM, QZ	18,407	15,645	38,461	0,8500	2,0895	1500	4,8
54	ANK, CCP, PY, QZ	19,424	15,724	38,975	0,8095	2,0066	210	2,5
56	CCP, GTH, QZ	20,005	15,757	39,510	0,7876	1,9750	180	17
57	CCP, MLC, QZ	18,487	15,630	38,308	0,8455	2,0722	6,9	2,0
58	ANH, GP, MGS, QZ, TNT	18,660	15,655	38,480	0,8390	2,0622	5,0	4,7

TAB. 4: Bleisotopenverhältnisse der Schlacken- und Erzproben aus dem Vinschgau mit Angabe der Schlackentypen und des Mineralbestands in den Schlacken und Erzen sowie für die jeweiligen Proben die Pb- und U-Gehalte (Abkürzungen der Mineralphasen nach Kretz [1983] bzw. Whitney und Evans [2010]).

TAB. 4: Lead isotope ratios of the slag and ore samples from the Vinschgau area with information on slag types and mineral content in the slags and ores as well as the Pb and U contents (abbreviations of mineral phases according to Kretz [1983] and/or Whitney and Evans [2010]).