

## **Die mögliche Bedeutung der polymetallischen Erzvorkommen des Pfunderer Bergs bei Klausen für die prähistorische Metallurgie im Eisacktal (Südtirol, Italien)**

Krismer, M., Tropper, P.

Institut für Mineralogie und Petrographie, Universität Innsbruck,  
Innrain 52f, A-6020 Innsbruck

### **Zusammenfassung**

Die Bergbaureviere des Pfunderer Bergs befinden sich westlich von Klausen oberhalb des Thinnetales in den Sarntaler Alpen. Geologisch zählt die Region zum südalpinen Basement und wird zum überwiegenden Teil aus Brixner Quarzphyllit aufgebaut. Für die Metallogenese im Raum Klausen sind jedoch vor allem die zahlreichen kleineren intermediären Intrusionen, zumeist Diorite (Klausenite), interessant. Diese permischen Magmatite treten als kleinräumige gang- und lagerförmige Körper im Brixner Quarzphyllit auf. Die Vererzungen werden in direktem Zusammenhang mit der Platznahme und der Abkühlung dieser Intrusionen gebracht. Metallogenetisch handelt es sich hierbei sicherlich um postmagmatische Bildungen in Zusammenhang mit zirkulierenden Wässern um die noch heiße Intrusion. Hydrothermale Alterationserscheinungen sowie Erzimpregnationen im Diorit weisen jedoch auch auf höhertemperierte, spätmagmatische Bildungen ähnlich den porphyrischen Kupferlagerstätten hin.

Historisch gesehen geht die erste urkundliche Erwähnung der historischen Gruben des Pfunderer Bergs zwar in das Jahr 1140 zurück, aber der Nachweis von prähistorischer Kupfermetallurgie im Eisacktal in den letzten Jahren legt nahe, dass diese Lagerstätte schon in der Prähistorie eine Rolle gespielt haben dürfte. Obwohl die mineralogischen und chemischen Eigenschaften der Pb-Zn-reichen Erze des Pfunderer Bergs geochemisch nicht mit den bisher gefundenen Schlacken und Metallen übereinstimmen, weisen neue Erzmineralfunde auf einen möglichen Zusammenhang hin. Die hier beschriebene chalkopyritreiche  $\text{Cu} \pm \text{Zn} \pm \text{Fe} \pm \text{Pb} \pm \text{Bi} \pm \text{Ag}$  Sulfidparagenese könnte Silber-, Bismuth-, Blei- und Zinkgehalte in den metallischen Einschlüssen der Proben von Milland und Gufidaun erklären und so auf einen Zusammenhang zwischen der Lagerstätte Pfunderer Berg und den prähistorischen Verhüttungsaktivitäten im Eisacktal weisen.

### **Abstract**

The historic mining area Pfunderer Berg is located to the west of Klausen above the Thinne Valley in the Sarntal Alps. The rocks of the area belong to the Southalpine Basement and consist mainly of Quartzphyllites (Brixner Quarzphyllit). Important for the metallogenesis are numerous small dioritic intrusions (Klausenites). These Permian magmatites occur as small dykes in the phyllitic basement. The mineralizations are closely related to the emplacement and crystallization of the magma bodies as well as due to very late- to post-magmatic activities by hydrothermal fluids circulating around the cooling intrusion. However, hydrothermal alteration and ore impregnations in the diorite indicate are also typical features of a small porphyry system. Although first mentioned in 1140 AD, widespread archaeological finds of smelting remains in the Eisack Valley indicate a possible connection to the ore deposits in prehistory. Until now, the mineralogical and geochemical data of the ore deposits did not match the composition of the slags but the recent discovery of a  $\text{Cu} \pm \text{Zn} \pm \text{Fe} \pm \text{Pb} \pm \text{Bi} \pm \text{Ag}$  sulfide assemblage could indeed explain the observed Ag, Bi, Pb and Zn contents of slags from Milland and Gufidaun. This in turn would be the first evidence for a possible connection between this ore deposit and prehistoric metallurgy in the Eisack Valley.

## 1. Einleitung

Die Metallagerstätten Südtirols, allen voran die Pb-Zn Lagerstätte Schneeberg und die Cu Lagerstätten vom Pfunderer Berg und Prettau waren im Mittelalter und in der Frühen Neuzeit das Ziel intensiven Bergbaues. Diese Aktivitäten beeinflussten Jahrhunderte lang die Landschaft und die Bevölkerung in den Bergbaugebieten. Bis heute ist Bergbau ein Teil dieser Regionen. Die Wurzeln des Bergbaues im Eisacktal sind möglicherweise jedoch viel weiter in der Vergangenheit zu finden.

In den letzten Jahrzehnten wurden zahlreiche archäologische Fragestellungen mittels naturwissenschaftlicher Methoden beleuchtet um ein besseres Verständnis der sozioökonomischen und ökologischen Entwicklung in Raum und Zeit zu erlangen. Für montanarchäologischen Fragestellungen sind geologische, mineralogische und chemische Untersuchungen an Erzen, Metallartefakten und Schlacken sehr erfolgversprechend. Ein interdisziplinärer Forschungsansatz auf den Gebieten der Mineralogie, Archäometrie und Montanarchäologie generiert dabei ein umfangreiches Bild der Bergbauentwicklung und deren Auswirkungen auf die Gesellschaft.

Bergbau hat sowohl in den Ost- als auch in den Südalpen eine lange Tradition und beeinflusste

sowohl in historischer als auch in prähistorischer Zeit die sozioökonomische als auch die ökologische Entwicklung der Region (Stöllner et al. 2011; Metten, 2003). Diese Arbeit soll neue Erkenntnisse zu Cu-reichen Erzen für die bronzezeitlichen Kupfer-Verhüttungs- bzw. Bergbautätigkeiten in der Region rund um die polymetallische Lagerstätte Pfunderer Berg bei Klausen im Eisacktal (Südtirol, Italien) vermitteln. Die Region Mittleres- und Unteres Eisacktal zwischen Brixen und Bozen ist durch das Vorhandensein von zahlreichen prähistorischen (bronzezeitlichen) Kupferschmelzplätzen sowohl am Talboden (Brixen) als auch an den Berghängen (Felthurns) und auf den Hochflächen der Sarntaler Alpen (Ritten, Reinswald) gekennzeichnet. Die Herkunft der verhütteten Kupfererze ist noch relativ unklar, da bis dato keine prähistorisch abbauwürdigen Kupfervorkommen bekannt sind und am Pfunderer Berg nur untergeordnet kupferführende Pb-Zn Erze bekannt sind und daher bis jetzt noch kein prähistorischer Kupfererzbergbau nachgewiesen worden ist. Ziel dieser Arbeit ist es einen Überblick über die Geologie und Bergbaugeschichte des Pfunderer Bergs mit möglichen Implikationen für prähistorische Wurzeln des Bergbaues im Licht neuer mineralogischer Daten zu geben.

## 2. Geographische Lage

Der Pfunderer Berg ist ein, vom Hochplateau der Villanderer Alm nach NE ziehender, Höhenrücken, welcher im Nordosten zu allen Seiten steil in das Thinnetal beziehungsweise Eisacktal abfällt (Abbildung 1). Das Thinnetal ist ein tief eingeschnittenes, schwer zugängliches Seitental des Eisacktals welches den Höhenrücken auf drei Seiten begrenzt. Die Bergbauspuren finden sich nicht nur am Gipfel des Pfunderer Bergs, dort beißen die Erzgänge an der Oberfläche aus und wurden übertage gefördert, sondern auch am NE-Abhang, am N-Abhang und am E-Fuß

des Höhenrückens. Das größte der drei Reviere wird als Rotlahn bezeichnet. Insgesamt 14 Stollen und zwei Tagbaue zwischen 1400 m Seehöhe und 800 m Seehöhe weisen auf den historischen Bergbau hin. Das Revier Kaltwasser befindet sich am NW-Abhang des Pfunderer Bergs und besteht aus vier Stollen und einem Tagbau. Das Revier Wolfsgraben befindet sich am E Fuß des Pfunderer Bergs im Thinnetal. Vier Stollen zählen zu diesem, in sehr unzugänglichem Gelände liegenden Revier.

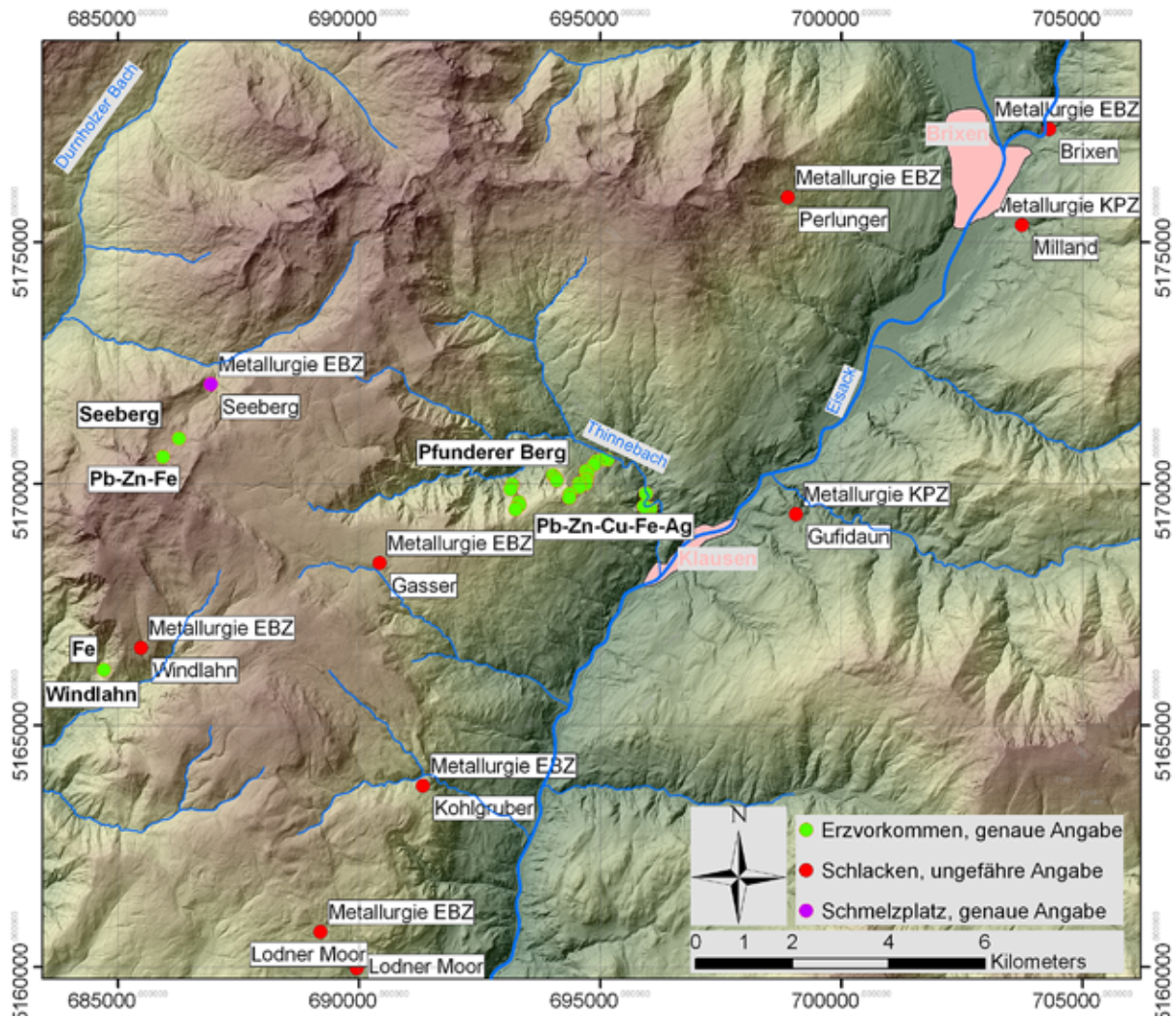


Abbildung 1: Übersichtskarte des Eisacktales zwischen Brixen und Klausen und den westlich anschließenden Sarntaler Alpen. Die grünen Punktsignaturen markieren die Erzvorkommen des Pfunderer Bergs und jene auf der Vilslanderer Alm. Die mit roten Punkten markierten Lokalitäten mit prähistorischen, metallurgischen Funden basieren auf der Zusammenstellung von Anguilano (2002), EBZ...Endbronzezeit (=bronzo finale), KPZ...Kupferzeit (=eneolitico) Die LiDAR Basisdaten wurden von der Abteilung Informationstechnik der Provinz Bozen zur Verfügung gestellt.

### 3. Die Geschichte des Bergbaues am Pfunderer Berg

#### 3.1. Mittelalter und Neuzeit

Der Bergbau am Pfunderer Berg ist durch die urkundlich festgehaltene Schenkung zwischen den Grafen von Wolkenstein und dem Kloster Neustift bei Brixen, aus dem Jahre 1140, belegt. Die Urkunde gilt als eine der ersten Erwähnungen eines Bergwerkes im gesamten Tiroler Raum (Dorfmann, 1974). Die Schenkung verweist auf ein „Silberbergwerk“ am Pfunderer Berg (Exel, 1998). 1177 wurde die Schenkung von Kaiser Friedrich I. Barbarossa bestätigt. Dabei verlieh der Kaiser die Nutzbarkeit und alle Bergwerksgerechtigkeiten dem Kloster Neustift (Dorfmann, 1974). Eine weitere Belehnung durch denselben Kaiser an den Fürstbischof Heinrich zu Brixen und dessen Nachfolger erfolgte alsbald im Jahre 1189 (Dorfmann, 1974). Festgehalten ist darin jedoch die Auflage, dass die Hälfte des Ertrages der Gruben an den Kaiser abgeliefert werden müssten. Weitere Urkunden mit ähnlichem Inhalt folgten zu Beginn des 13. Jahrhunderts (Dorfmann, 1974). Die zahlreichen Urkunden aus dem auslaufenden 12. Jahrhundert und im 13. Jahrhundert belegen eine erste Blütezeit des Bergbaues am Pfunderer Berg. Im 13. Jahrhundert wurden die Grafen von Tirol Landesfürsten und beherrschten bis in das folgende 14. Jahrhundert unangefochten den Metallbergbau. Infolge der Belehnung des Bergwerkes an Kardinal Nikolaus Cusanus, seines Zeichens Bischof von Brixen, durch Kaiser Ferdinand III. im Jahre 1452 entbrannte ein insgesamt 95 Jahre währender Streit um die Gruben vom Pfunderer Berg (Exel, 1998). Zu Beginn kam es vor allem zu Streitigkeiten zwischen Sigmund dem Münzreichen (1439-1490) und den Brixner Bischöfen. Ein gewichtiger Grund für diese Zwistigkeiten ist die grenznahe Lage des Bergbaugesbietes. Die Gemeindegrenzen von Villanders und Klausen/Latzfons zeichnen aktuell noch die ungefähre Lage der Grenzen zwischen der Grafschaft Tirol, dem Bistum Brixen und dem Bistum Trient nach und verlaufen geradewegs durch den Nordostabhang des Pfunderer Bergs, wo der Bergbau hauptsächlich stattfand. Demzufolge kam es zu einem erbitterten Kampf um die territoriale- und bergmännische Herrschaft der Gruben

(Exel, 1998). Der lange währende Streit wurde vertraglich im Jahre 1489 beendet und begann erneut im Jahre 1536, diesmal jedoch zwischen König Ferdinand und dem Bischof Christof (Exel, 1998). Erst im Jahre 1547 endete der Kampf um das Bergwerk infolge der neuen Festlegung der Grenzen der Territorien (Exel, 1998).

Unter der Herrschaft des Tiroler Grafen Sigmund und seines Nachfolgers Maximilian wurden im Laufe des 15. und 16. Jahrhunderts die Geschicke der Gruben an Gewerken übertragen, da die Landesfürsten aufgrund von Geldmangel den Bergbau nicht betreiben konnten. Als Gegenleistung mussten die Gewerken als Entschädigung eine Pacht in Form von Fron und Wechsel entrichten. Die wichtigsten Gewerken am Pfunderer Berg waren Hans Stöckl aus Schwaz, Hans Paumgarten und die Familie Fugger aus Augsburg. Das 16. Jahrhundert ist vor allem durch Bergbauaktivitäten der Gewerken, geprägt. Mitte des 16. Jahrhunderts erreichte der Bergbau am Pfunderer Berg seinen Höhepunkt. Am Anfang des 17. Jahrhunderts kam es zu einem zeitlich begrenzten Niedergang des Bergbaues und die Gewerken zogen sich zwischenzeitlich aus dem Bergbau zurück. Im Laufe dieses Jahrhunderts wurde mehr oder minder intensiv prospektiert und Erz abgebaut. Parallel zum Pfunderer Berg war zu diesem Zeitpunkt auch das Bergwerk auf der Villanderer Alm (am Seeberg) in Betrieb.

Eine erneute Blüte erlebte der Bergbau Mitte des 17. Jahrhunderts durch Mathias Jenner. Der Pfarrer von Klausen war vorher als Dekan in Fügen im Zillertal tätig und führte dort erfolgreich das nahe Goldbergwerk (Dorfmann, 1974). Die Stollen Barbara, Kassian und Katharina wurden unter der jennerschen Regie vorangetrieben. Gleichzeitig wurde auch der Bergbau auf der Villanderer Alm betrieben (Dorfmann, 1974). Nach dem Tod von Matthias Jenner im Jahre 1691 übernahmen seine Erben erfolglos den Bergbau und 1712 wurde es teilverstaatlicht. 1785 wurde das Bergwerk vollständig verstaatlicht (Dorfmann,

1974). Im 19. Jahrhundert war die Produktivität sehr gering. Trotzdem investierte das Österreichische Montanärar Mitte des 19. Jahrhunderts Geld in den Bau neuer Verkehrswege und Erzaufbereitungsanlagen im Thinnetal t (Dorfmann, 1974). Durch ein Unwetter im Jahr 1872 wurde die neue Infrastruktur zerstört und der Bergbau eingestellt (Dorfmann, 1974). Eine kurze Betriebsperiode erfolgte zwischen 1889 und 1905. Nach dem Ersten Weltkrieg nahm der italienische

Staat den Bergbaubetrieb 1920 erneut auf. Nach nur einem Jahr wurden die Bemühungen durch ein erneutes Hochwasserereignis im Thinnetal zunichte gemacht. 1939 wurde das Bergwerk an die private Gesellschaft Atesina und in der Folge an die private Gesellschaft SAGMA t verpachtet. Letztere begann 1941 mit dem Abbau, der 1943 endgültig eingestellt wurde. Dies war gleichzeitig die letzte Betriebsperiode.

#### 4. Regionalgeologischer Überblick

Die Region Klausen befindet sich im südalpinen kristallinen Basement welches größtenteils aus Quarzphyllit mit eingeschalteten Permischen Plutoniten und Gängenaufgebaut wird. Im mittleren Eisacktal werden die Phyllite als Brixner Quarzphyllit bezeichnet. Im Hangenden des Basements befindet sich der Etschtaler Vulkanit Komplex (ehemals Bozner Quarzporphyr) aus dem Perm. Diese vulkanischen Ablagerungen bilden ihrerseits die Basis für die Ablagerungen des Grödner Sandsteins, der Verrucano Konglomerate sowie der mesozoischen Karbonate der Dolomiten.

Das südalpine Basement besteht größtenteils aus paläozoischen, pelitischen bis psammitischen, marinen Sedimenten sowie eingeschalteten Metavulkaniten. Während der variszischen Gebirgsbildung wurde das Basement schwach metamorph überprägt (Ring & Richter, 1994; Wyhli et al., 2010). Das austroalpine Äquivalent zum südalpinen Basement sind die paläozoischen Schiefer der Nördlichen Grauwackenzone und des Innsbrucker Quarzphyllits welche einen ähnlichen lithologischen Aufbau aus klastischen marinen Sedimenten und eingeschalteten Vulkaniten zeigen. Auch diese Gesteinesabfolgen zeigen eine grünschieferfazielle Überprägung im Zuge der variszischen Orogenese. Im Gegensatz zum Brixner Quarzphyllit wurden diese Gesteine aber zusätzlich eoalpidisch metamorph überprägt.

Die stratigraphische Abfolge des südalpinen Basements ist aufgrund der Ausdehnung, der

ähnlichen Metamorphosebedingungen und des monotonen Charakters nur schwer zu fassen. Sassi & Spiess (1993) unterteilen das Basement in einen unteren pelitischen-psammitischen Komplex, welcher aufgrund von Fossilienfunden ins Kambrium bis Ordovizium gestellt wird. Die klastischen, marinen Sedimente dieses Komplexes zeigen variszische Metamorphosealter. Der vulkano-sedimentäre Komplex liegt stratigraphisch über den vorhin beschriebenen Abfolgen. Der Komplex besteht aus Metapeliten und Metapsammiten mit Einschaltungen von sauren bis basischen Vulkaniten, Vulkanoklastika sowie stratiformen Fe-Cu-(Zn, Pb) Mineralisationen. Die magmatische Aktivität wird als spät-Ordovizisch interpretiert (Sassi & Spiess, 1993). Der kalk-alkalische Charakter der Vulkanite weist möglicherweise auf eine krustale Anatexis in Verbindung mit der vulkanischen Aktivität hin. Der obere pelitische-psammitische Komplex ist stratigraphisch über dem vulkano-sedimentären Komplex einzuordnen. Die metamorphen marinen Sedimente wurden im Silur und im Devon abgelagert.

Im Bereich von Klausen ist das Basement durch monotone Quarzphyllitabfolgen gekennzeichnet. Jedoch sind vor allem im Bereich von Gufidaun zahlreiche prä-variszische, metabasitische Einschaltungen (Amphibolite) bekannt. Die genaue zeitliche Stellung dieser Metabasite ist allerdings noch unklar.

Das südalpine Basement erfuhr während der variszischen Orogenese eine schwache bis

mittelgradige Metamorphose welche sich heute in einer regionalen Metamorphosezonierung widerspiegelt. Der Metamorphosegrad nimmt von SE ausgehend (Chlorit-Zone, Comelico) gegen NW hin zu (Granat-Zone, Brixen). Im Bereich von Brixen wurden Temperaturen von ca. 500°C und 5-6 kbar ermittelt. Das variszische, regionalmetamorphe Ereignis im Südalpin wird mit 350-300 Ma angegeben wobei die 350 Ma Alter als erstes Aufheizstadium interpretiert werden. Alter um 320 Ma datieren das Temperaturmaximum und Alter um 300 Ma beziehen sich auf die Abkühlung (Sassi & Spiess, 1993). Im Endstadium der variszischen Orogenese kam es dann zu postkollisionaler Hebung und Extension und im Zuge dessen zur partiellen Schmelzbildung in der Kruste gefolgt von intensiven magmatischen Aktivitäten (Sassi & Spiess, 1993; Rottura et al., 1998). Folgende Lithologien des Südalpins sind Produkte des permischen, magmatischen Events (Rottura et al., 1998):

1. Etschtaler Vulkanit Komplex (Alte Bezeichnung: Bozner Quarzporphyr)
2. Brixner Granit
3. Ifinger Granit
4. Kreuzberg Granit
5. Cima d' Asta Granit

## 5. Metallogenese der Lagerstätte Pfunderer Berg

Das Gebiet um den Pfunderer Berg umfasst drei Hauptgesteinsarten

- a. Diorit
- b. Kontaktgestein
- c. Quarzphyllit

Der Diorit tritt in Form mehrerer kleiner Intrusionen zwischen dem Eingang zum Villnösstal und der Villanderer Alm auf. Die Form der Dioritintrusionen ist in den meisten Fällen gangförmig. Der Diorit ist zum Teil feinkörnig, zum Teil porphyrisch ausgebildet, die Mineralparagenese ist Plagioklas + Klinopyroxen + Biotit + Quarz (Dorfmann, 1974).

Gleichzeitig entstanden auch eine Vielzahl kleiner Intrusionen und Gänge. Geochemisch handelt es sich um hoch-K kalkalkalische Gesteinsassoziationen welche ein breites Spektrum von basisch bis sauer und intrusiv bis extrusiv abdeckten (Rottura et al., 1998).

In diesem extensiven Milieu kam es im Bereich Klausen-Villnöß zu kleineren, gangförmigen Dioritintrusionen. Folglich ist anzunehmen, dass die Villnößler Linie die Platznahme dieser kleineren Intrusionen ermöglicht bzw. gesteuert hat. Einige der größten Intrusionen im Bereich Klausen-Villnößtal findet sich im Bereich des Pfunderer Bergs und des Nockbaches nordwestlich von Klausen. Der Zusammenhang zwischen der ca. E-W streichenden Villnößtal Linie und den ca. E-W angeordneten Gängen und Gangsystemen der Dioritintrusionen und Hauptvererzungen, spricht für eine strukturell gesteuerte Platznahme der Schmelzen und erzführenden, hydrothermalen Lösungen. Die Platznahme des Magmas führte unter anderem zu einer kontaktmetamorphen Überprägung des umliegenden Quarzphyllites. Dieser Kontakt ist im Gelände kaum mehr zu beobachten und in den meisten Fällen tektonisch überprägt. Die Pb-Zn-Cu-Fe-Ag Vererzungen des Pfunderer Bergs werden aber in direkten Zusammenhang mit der Intrusion und Platznahme der Diorite in Verbindung gebracht.

Das z.T. porphyrische Gefüge der Diorite weist auf eine schnelle Abkühlung hin (Dorfmann, 1974). Die polymetallischen, hydrothermalen Pb-Zn-Cu-Fe-Ag Vererzungen des Pfunderer Bergs treten sowohl im Diorit als auch im Kontaktgestein auf. Seltener aber auch beschrieben ist ihr Auftreten im Quarzphyllit.

Die Vererzungen zeigen sich in einer Vielzahl von Ausbildungen, der größte Teil der Vererzungen ist gangförmig bis unregelmäßig angelegt. Bisweilen sind jedoch auch brekziöse, kokarden- und bandartige Strukturen, in einigen Fällen auch disseminierte Vererzungen sowie feinste Quarz/

Kalzit + Erz Äderchen im Diorit zu beobachten. Letztere werden als stockwerkartige Vererzungen bezeichnet. Der Hauptteil der Erze ist an ein diskordantes Gangsystem gebunden (Baumgarten et al., 1998). Diese Gänge waren auch das Ziel des historischen Bergbaues. Man kann drei verschiedene, gegen NNW einfallende und ca. 60° steil stehende Erz-Gänge unterscheiden (Baumgarten et al., 1998). Der Bezeichnung folgend wird vom Liegend-, Mitter-, und Hangengang gesprochen. Syngenetisch angelegte, sehr spitzwinkelig (in Bezug auf die Erzgänge) verlaufende sinistrale Verschiebungen haben bei der Platznahme der Mineralisationen eine gewichtige Rolle gespielt, indem sie die Hohlräum-schaffung maßgeblich beeinflusst haben (Baumgarten et al., 1998). Die Erzgänge sind mehrfach durch alp-idisch reaktivierte Aufschiebungen versetzt. Die Störungszonen wurden von den Bergleuten als „Wände“ bezeichnet und fallen gegen SW hin ein. Der Versatz reicht von wenigen cm bis hin zu 10er m (Baumgarten et al., 1998).

Über die Entstehung und Genese der Lagerstätte gibt es noch sehr wenige moderne Überlegungen. Der genetische Zusammenhang zwischen dem Diorit und der Vererzung, das metamorph-metasomatisch veränderte Kontaktgestein, sowie das brekziöse, kokardenförmige sowie disseminierte und aderförmige (stockwerkartige) Auftreten der Vererzungen weist auf eine porphyrische Lagerstätte hin. Diese Lagerstätten treten im Dachbereich von sauren- bis intermediären Intrusivkörpern auf und sind durch disseminierte Impregnation und stockwerkartige Vererzung des zumeist subvulkanischen Teils des Intrusivkörpers gekennzeichnet. Die betroffenen Gesteine haben zumeist eine porphyrische Textur und werden während der Vererzung stark hydrothermal umgewandelt. In Zusammenhang mit diesen ausgeprägten hydrothermalen Aktivitäten kommt es zum retrograden Sieden der Hydrothermen und infolge dessen zur hydraulischen Spaltung des Gesteines was zur Bildung der erzführenden Brekzien führt. Die hydrothermalen Gänge in den Magmatiten sowie im Basement sind sehr häufig mit porphyrischen Lagerstätten assoziiert. Die Remobilisation von stratiformen Fe-Cu-(Zn-Pb) vererzungen aus dem Basement, im Zuge der

magmatischen Aktivitäten hat möglicherweise auch einen Einfluss auf die Genese und den Metallgehalt des Erzvorkommens.

### 5.1. Die Bergbaureviere

Historische kann man drei Hauptreviere festhalten. Das Revier „Rotlahn-Roßtal“ ist das größte Revier und zieht von der Gipfelkuppe des Pfunderer Bergs in NE-Richtung bis hinunter in die Talsohle des Thinnebaches (Rotlahn) bzw. finden sich die sogenannten Fuggerstollen in NW Richtung unterhalb der Gipfelkuppe im Roßtal. Insgesamt umfasst dieses Revier 19 Stollen bzw. Tagverhau (Exel, 1998). Schwerer zugänglich sind die Stollen im Revier „Kaltwasser“. Dieses Revier umfasst 5 Stollen im sogenannten Kaltwassergraben, der in W-Richtung vom Gipfel des Pfunderer Bergs in das Thinnetal hinabführt (Exel, 1998).

Auf der E-Flanke des Pfunderer Bergs befindet sich das sehr schwer zugängliche Revier Wolfsgraben, welches 4 Stollen umfasst (Exel, 1998).

### 5.2. Die Erzminerale

Die polymetallischen Vererzungen des Pfunderer Bergs enthalten vorwiegend Pb-, Zn-, Cu- und Fe-Sulfide (Exel, 1998). Daneben treten untergeordnet auch Ag- und Bi-Sulfide sowie Au zutage (Krismer et al., 2011). Die Erzparagenese des Pfunderer Bergs besteht hauptsächlich aus Pyrit ( $\text{FeS}_2$ ), Zinkblende ( $\text{ZnS}$ ), Bleiglanz ( $\text{PbS}$ ), und Kupferkies ( $\text{CuFeS}_2$ ). Als Nebengemengteile treten Freibergit  $\text{Ag}_6\text{Cu}_4(\text{Fe,Zn})_2\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ , Ag-Tetraedrit  $(\text{Cu,Ag})_6\text{Cu}_4(\text{Fe,Zn})_2\text{Sb}_4\text{S}_{13}$  und Polybasit  $(\text{Ag,Cu})_{16}(\text{Sb,As})_2\text{S}_{11}$  auf. Während Ag-Tetraedrit mit den Hauptbestandteilen die Matrix bildet, kommen Freibergit und Polybasit als feinste Einschlüsse im Bleiglanz vor (Krismer et al., 2011). Weitere beschriebene Erzphase sind gediegen Silber, gediegen Gold, Elektrum ( $\text{AuAg}$ ), Akanthit ( $\text{Ag}_2\text{S}$ ), Stephanit ( $\text{Ag}_5\text{SbS}_4$ ), Pyrargyrit ( $\text{Ag}_3\text{SbS}_3$ ), Dyskrasit ( $\text{Ag}_3\text{Sb}$ ), Arsenopyrit ( $\text{FeAsS}$ ), Markasit ( $\text{FeS}_2$ ), Pyrrhotin ( $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ ), Cubanit ( $\text{CuFe}_2\text{S}_3$ ), Boulangerit ( $\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$ ), Jamesonit ( $\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$ ), Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), Siderit ( $\text{FeCO}_3$ ) sowie sekundär Hämatit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), Goethit ( $\text{FeO(OH)}$ ) und Chalkophanit ( $(\text{Zn, Fe, Mn})\text{Mn}_3\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) (Exel, 1998; Krismer et al., 2011). Eine besondere Erzparagenese

wird von Krismer et al. (2011) beschrieben. Hierbei handelt es sich um einen chalkopyritreichen, bleiglanz- und zinkblendearmen Erztyp mit Pb-Bi-Ag Phasen der homologen Lillianit-Serie ( $\text{Pb}_{N-1-2x}\text{Ag}_x\text{Bi}_{2+x}\text{S}_{N+2}$ ; N...steht dabei für die strukturelle Anordnung der Pb-Bauelemente in der Kristallstruktur, x...ist der Ag Gehalt; Pring und Etschmann, 2002). Die wichtigsten Bi-Pb Phasen sind Gustavit ( $\text{Ag}_3\text{Pb}_5\text{Bi}_{11}\text{S}_{24}$ ) und der außerhalb der Serie liegende Cosalit ( $\text{Pb}_2\text{Bi}_2\text{S}_5$ ) (Krismer et al., 2011).

Die Gangart besteht hauptsächlich aus Quarz ( $\text{SiO}_2$ ) und untergeordnet aus Kalzit ( $\text{CaCO}_3$ ), Baryt ( $\text{BaSO}_4$ ) und Fluorit ( $\text{CaF}_2$ ) (Exel, 1998). Weiters werden in seltenen Fällen auch Datolit ( $\text{Ca}(\text{HBSiO}_3)_2$ ), Prehnit ( $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ), Apophyllit ( $(\text{K},\text{Na})\text{Ca}_4(\text{Si}_8\text{O}_{20})(\text{F},\text{OH})\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) und Chabasit ( $(\text{K}_2,\text{Na}_2,\text{Mg},\text{Ca},\text{Sr})_2[\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}]_2\cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) beschrieben (Exel, 1998).

Im Zuge der erzmineralogischen und -petrologischen Neuuntersuchung von Krismer et al. (2011) wurden unter anderem chalkopyritreiche Erzstufen beprobt und mineralogisch charakterisiert. Besonders hervorzuheben sind dabei die Pb-Bi-Ag Sulfide welche als Nebengemengeteile enthalten sind. Die genannten Proben sind möglicherweise für die prähistorische Kupfermetallurgie im Eisacktal von Interesse und werden im Folgenden erzmikroskopisch beschrieben.

### 5.3. Mineralogie der chalkopyritreichen Erze

Neben den dominanten Pb-Zn ± Cu-Fe-Ag Erzen (inklusive zahlreicher Akzessorien) des Pfunderer Bergs wurden von Krismer et al. (2011) auch chalkopyritreiche sowie blei- und zinkarme Erze beschrieben, welche mit Pb-Bi-Ag Phasen vergesellschaftet sind. Diese Erzparagenese kann für die prähistorische Metallurgie im Raum Eisacktal auf jeden Fall in Betracht gezogen werden, da Colpani et al. (2009) sowohl in den Proben aus Milland (Gemeinde Brixen) als auch Gufidaun (Gemeinde Klausen) Bismuthphasen feststellen konnte. Hauptsächlich handelt sich um metallische Phasen im chemischen System Ag-As-Bi-Pb-Sb-Zn (Colpani et al., 2009). Die mineralogische Charakterisierung der chalkopyritreichen Erze vom Pfunderer Berg erfolgte mittels Auflichtmikroskopie und Elektronenstrahlmikrosonde (EPMA).

*Die Cu-Zn-Fe-Pb-Bi-Ag-S Paragenese:* In den magmatischen Gesteinen des Pfunderer Bergs treten vor allem Galenit + Sphalerit dominierte Paragenesen auf, im Kontaktgestein hingegen sind vorwiegend chalkopyrit- und pyritreiche Paragenesen üblich (Exel, 1998; Dorfmann, 1973). Entsprechend der geologischen und morphologischen Situation findet man in den höheren Lagen vorwiegend Blei-Zink Paragenesen im Diorit, während in den tiefer gelegenen Revieren im Kontaktgestein vorwiegend Chalkopyrit dominiert.

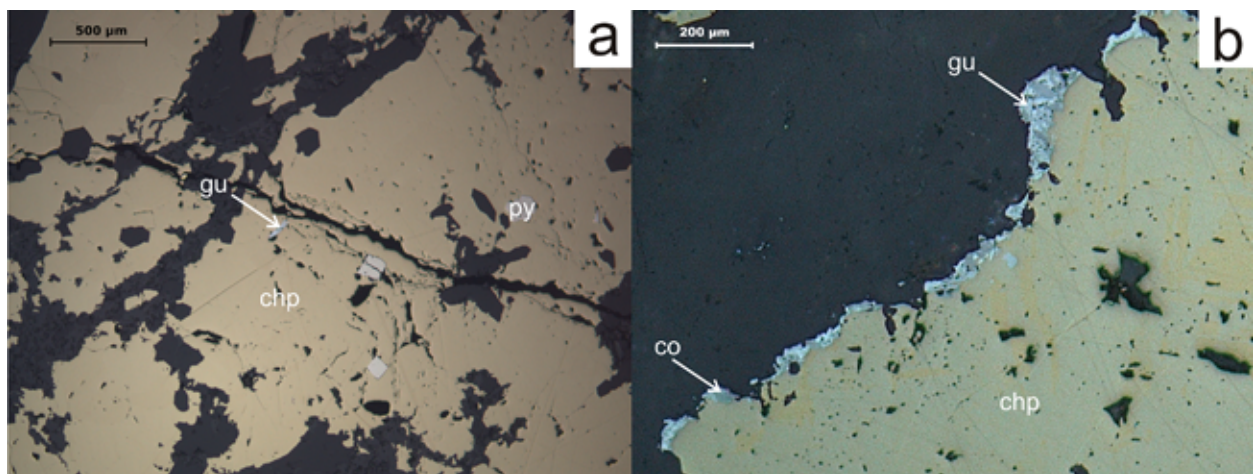


Abbildung 2: Auflichtmikroskopische Übersichtsaufnahmen der chalkopyritreichen Cu-Pb-Bi-Ag Paragenese: a) Chalkopyrit ist die Haupterzphase mit Einschlüssen von Pyrit und Gustavit (40x, IIP); b) Gustavit-Cosalit Anwachssaum an ein Chalkopyritkorn mit ausgeprägten α-β Umwandlungslamellen (100x, IIP).



Neben den Hauptphasen Chalkopyrit ± Pyrit ± Sphalerit treten im Kontaktgestein als Nebengemengeteile auch Pb-Bi-Ag Sulfide auf. Diese Cu-Zn-Fe-Pb-Bi-Ag-Zn-S Paragenese wurden erstmals von Krismer et al. (2011) nachgewiesen. In der folgenden Abhandlung werden diese Erze genauer beschrieben.

*Texturen und Mineralogie:*

Die Proben bestehen vorwiegend aus Chalkopyrit mit gut ausgebildeten  $\alpha$ - $\beta$  Umwandlungslamellen und Quarz als Gangart (Abbildung 2a). Chalkopyrit tritt in Form von disseminierten, makroskopisch sichtbaren, xenomorphen Körnern in Quarz auf. Untergeordnet zeigen sich idiomorphe Pyritaggregate als Einschlüsse in Chalkopyrit oder fein verteilt in der Gangart (Abbildung 2a). Neben Pyrit finden sich in allen Proben fein verteilte Sphaleritkörner in der Gangart

(Abbildung 2b). Die Pb-Bi-Ag Phasen treten in Form von Anwachssäumen und Einschlüssen um und in Chalkopyrit auf (Abbildung 2a und 2c). Lichtmikroskopisch können bereits mehrere Phasen identifiziert werden (Abbildung 3a-3d). Allen gemeinsam ist ein hohes Reflexionsvermögen. Es handelt sich um farblose bis leicht braun- beziehungsweise gelbstichige Minerale (Abbildung 2a, 2c). Bei schrägestelltem Analysator zeigen die Phasen Gustavit und Cosalit sehr kräftige Anisotropieeffekte (Abbildung 1a, 3b). Bleiglanz ist mit Matildit verwachsen (Abbildung 3c) und zeigt im Gegensatz zu letzterem keine Anisotropieeffekte (Abbildung 3d). Matildit zeigt ausgeprägte Effekte bei schräg gestelltem Analysator (Abbildung 3d), diese sind jedoch deutlich weniger intensiv als bei Gustavit und Cosalit. Der Modalbestand der Pb-Bi-Ag Phasen liegt im Prozent bzw. Zehntelprozentbereich

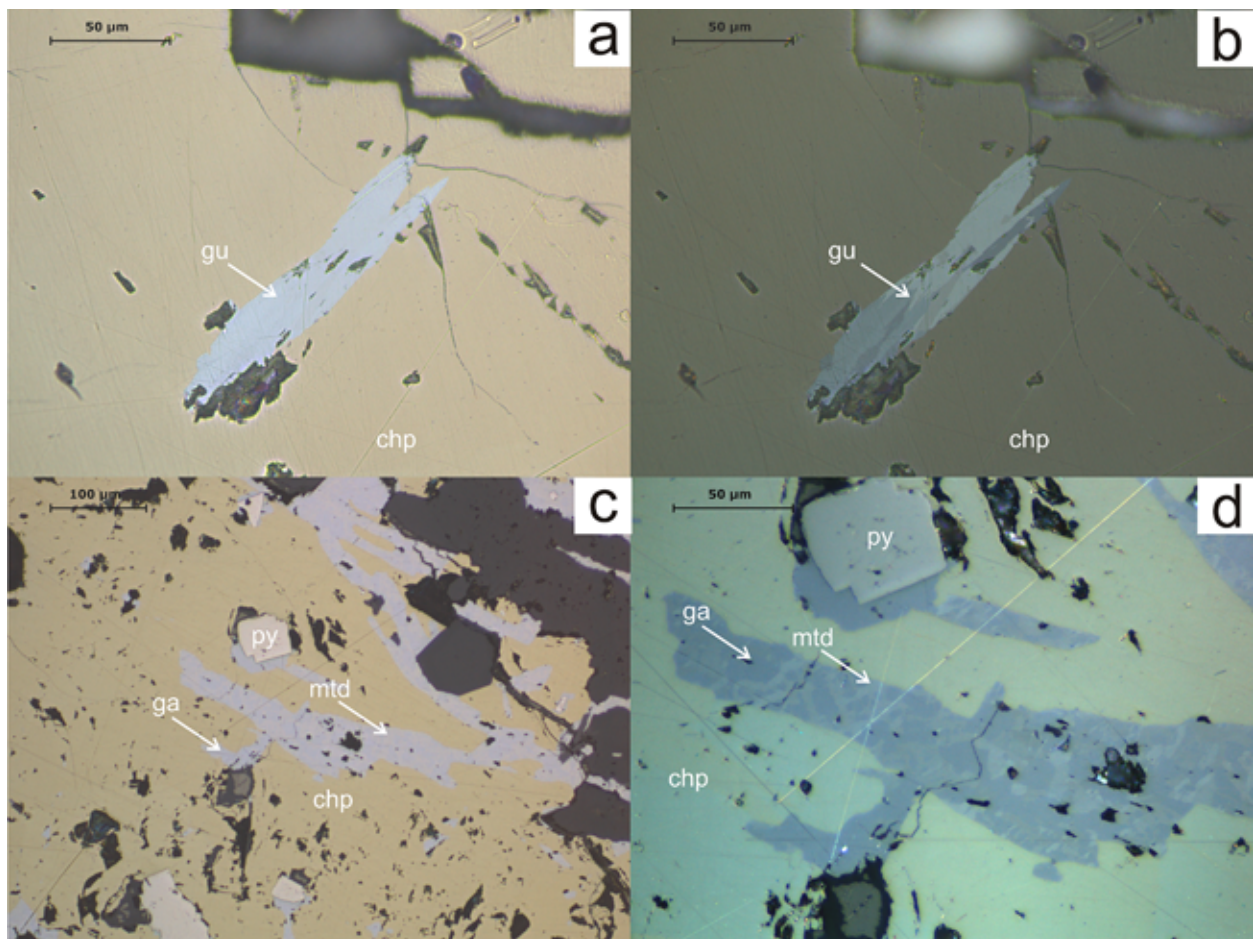


Abbildung 3: Detaillierte auflichtmikroskopische Dokumentation der Pb-Bi-Ag Phasen: a) Gustavitaggregat in Chalkopyrit aus Abbildung 2a (500x, IIP); b) Abbildung 3a mit schräg gestelltem Analysator (500x, XP); c) Galenit-Matilditverwachsung in Chalkopyrit (200x, IIP); d) Abbildung 3c mit schräg gestelltem Analysator (500x, XP).

## 6. Diskussion

### 6.1. Der Pfunderer Berg ein Erzlieferant für die prähistorische Kupferproduktion?

Die Nutzung der Erze des Pfunderer Bergs in vorchristlicher Zeit ist bis heute nicht klar belegt. Wie erwähnt ist das erste Zeugnis die Urkunde aus dem Jahre 1140. Für eine frühere Nutzung, vor allem in prähistorischer Zeit, gibt es sowohl Fürsprecher als auch Gegenstimmen.

In den meisten größeren Kupferlagerstätten in den Ostalpen (Schwaz-Brixlegg, Kitzbühel, Mitterberg uvm.) ist zumindest für die Mittel- und End-/Spätbronzezeit Bergbau belegt (Stöllner et al., 2011; Goldenberg und Rieser 2004; Goldenberg, 2004). Auch in den Südalpen östlich von Trient sind endbronzezeitliche Kupferschmelzplätze dokumentiert, die Erze stammen vermutlich aus kleineren lokalen Vorkommen (Merten, 2004). Neben dem endbronzezeitlichen Schmelzplatz Reinswald in den Sarntaler Alpen finden sich sowohl im Eisacktal (Brixen) als auch auf den Hängen und Hochflächen der östlichen Sarntaler Alpen zahlreiche Cu-Schlackenhalde Fundplätze aus dem selben Zeitabschnitt. Diese Fülle von Schmelzplätzen lässt ein lokales Kupfervorkommen vermuten. Der Pfunderer Berg ist dabei die einzige Lagerstätte welche neben Pb, Zn und Ag auch kupferführend ist. Hingegen wird bezweifelt, dass der Kupfergehalt der anstehenden Erze für die prähistorische Nutzung ausreichte. Baumgarten (2005) konstatiert, dass die kupferzeitlichen, metallurgischen Kupferschlacken von Milland bei Brixen (Dal Ri et al., 2005; Cremante & Storti, 2005; Artioli et al., 2005) in keinem Zusammenhang mit den Erzen von Pfunderer Berg noch mit anderen relevanten regionalen Lagerstätten stehen. Hinweis dafür ist der zinkreiche und bleiarmer Charakter der Schlacken. Eine entsprechende Erzparagenese ist untypisch für die Kupfervorkommen in Südtirol (Baumgarten, 2005). Krismer et al. (2011) schließt aus der blei- und zinkreichen Erzzusammensetzung, der Haupterze der Pfunderer Berges, dass beide Elemente in höheren Konzentrationen im extrahierten Metall oder in der anfallenden Schlacke auftreten müssen. Die Fraktionierung der Elemente zwischen Schlacke und Metall ist

aber stark abhängig von den thermischen und atmosphärischen Bedingungen während des Schmelzvorganges (Krismer et al., 2011). Zink wird aufgrund seines chemischen Verhaltens vorwiegend in der Schlacke angereichert (Krismer et al., 2011) während Blei sowohl im Metall als auch in der Schlacke angereichert werden kann (Krismer et al., 2011).

### 6.2. Räumliche Verteilung der bronzezeitlichen Kupferverarbeitung im Eisacktal

Im Eisacktal zwischen Klausen und Brixen findet man sowohl in den Tal- als auch Hanglagen zahlreiche Hinweise auf endbronzezeitliche (Laugen Kultur) Kupfermetallurgie (Abbildung 1; Dal Ri, 1972; Anguilano et al., 2002; Artioli et al., 2008; Colpani et al., 2008; Lunz, 1993). Weitere Funde sind von den westlich des Eisacktals liegenden Hochflächen der Sarntaler Alpen (Ritten, Villanderer Alm, Reinswald) dokumentiert (Abbildung 1; Lunz, 1993).

*Der Schmelzplatz Seeberg bei Reinswald:* In den 1970er Jahren wurde im Bereich am Fuße des Seebergs bei Reinswald ein endbronzezeitlicher Kupferschmelzplatz dokumentiert (Dal Ri, 1972). Der Schmelzplatz befindet sich nur wenige 100 m unterhalb des kleinen Bergbaugesbietes Seeberg auf zirka 1800 m Seehöhe. Anhand von typologischen Merkmalen von Keramikfundstücken konnte der Schmelzplatz der Laugen Kultur aus der auslaufenden Bronzezeit zugeordnet werden (Dal Ri, 1972). Die Lage des Fundkomplexes ist umso erstaunlicher wenn man bedenkt, dass die Erze im Bergbaugesbiet Seeberg ausschließlich Pb, Zn, Fe und Ag-führend sind. Die nächsten Cu-führenden Erze stehen am Pfunderer Berg an, dieser ist über den sogenannten Toten und die Hochfläche der Villanderer Alm zu erreichen. Für den Hin- und Rückweg zum Pfunderer Berg sind jedoch insgesamt zirka 1100 Höhenmeter über 6 Kilometer Luftlinie zurückzulegen.

*Die Schlackenfunde von Milland bei Brixen:* In der Talsohle in Milland bei Brixen wurde in den 2000er Jahren bei Bauarbeiten eine große

Schlackenhalde angefahren, deren älteste Datierungen in die Kupferzeit (Glockenbecherkultur) zurückreichen (Dal Ri et al., 2008; Colpani et al., 2008). Insgesamt wurden zirka 200 kg Schlacke sowie ein Gusskuchen geborgen (Colpani et al., 2008; Artioli et al., 2008). Die chemische Zusammensetzung der Schlacken lässt auf eine zinkreiche Chalkopyritparagenese mit geringem Bleigehalt schließen, welche untypisch für die Region ist (Baumgarten, 2008). Das einzige Kupferfragment hingegen zeigt geochemische Ähnlichkeiten mit den Erzen aus dem Vinschgau (Artioli et al., 2008).

*Metallurgische Schlacken in Gufidaun bei Klausen:* In der Ortschaft Gufidaun, wenige Kilometer nordöstlich von Klausen auf einer Terrasse gelegen, konnten kupferzeitliche Siedlungsstrukturen inklusive einer ofenähnlichen Struktur archäologisch dokumentiert werden (Colpani et al., 2006). Zu den Funden zählen auch zahlreiche metallurgische Schlackenfragmente. Die  $^{14}\text{C}$  Datierung von Kohleresten aus dem Bereich der Öfen ergibt Alter zwischen 2600 BC und 2300 BC (Colpani et al., 2006).

*Weitere Schlackenhalden und Schmelzplätze in der Umgebung des Pfunderer Bergs:* Die prähistorischen Schlackenhalden beinhalten sowohl Plattenschlacken als auch Schlackenkuchen und Schlackensand. Das Alter der metallurgischen Aktivitäten fällt fast ausschließlich in die Späte Endbronzezeit. Zum Teil sind die Befunde auch älter. Neben den drei beschriebenen Fundstellen gibt es noch zahlreiche weitere Fundstellen an den Hängen des Eisacktales und auf den Hochflächen der südöstlichen Sarntaler Alpen. Im Bereich des Lodner Moors, auf der Hochfläche vom Ritten, ist ein endbronzezeitlicher Schlackenfundplatz bekannt, die Datierung (Laugen-Melaun Kultur) erfolgte anhand von stilistischen Merkmalen von Keramikresten (Anguilano et al., 2002).

Am Ostabhang des Rittner Horns hinunter nach Barbian ist im Bereich der Kohlgrube eine Schlackenhalde dokumentiert welche anhand der auftretenden Keramikreste in die Späte Bronzezeit datiert (Anguilano et al., 2002). Weiter im Norden findet man auf der Hochfläche der Villanderer Alm bei der Gasserhütte Schlackenreste (Anguilano et

al., 2002). Trotz fehlender Altersdatierung kann aufgrund des Fundinhaltes ein ähnliches Alter vermutet werden. Eine weitere Lokalität findet man am Südwestabhang des Villanderer Bergs in Richtung Sarntal. Auf einer Höhenkuppe (Lokalität: Windlahn) tritt dort eine Schlackenhalde aus der Späten Bronzezeit auf. Auch diese Überreste der frühen Metallurgie konnte indirekt mittels typologischer Merkmale von Keramikresten datiert werden (Anguilano et al., 2002).

Westlich von Brixen, am Ostabhang des Königangers, findet man bei der Lokalität Perlunger in Greuth ebenfalls undatierte Schlackenreste welche aufgrund des Fundinhaltes (Plattenschlacken, Schlackenkuchen, Schlackensand) auf eine endbronzezeitliche Kupferproduktion schließen lassen (Anguilano et al., 2002).

*Das Schmelzplatz Fennhals:* In Zusammenhang mit bronzezeitlicher Kupfermetallurgie in Südtirol trifft man unweigerlich auf den sehr gut dokumentierter, endbronzezeitlicher Schmelzplatz Fennhals oberhalb von Kurtatsch (Hauser 1986). Von den insgesamt fünf ausgegrabenen Öfen sind drei im Archäologiemuseum in Bozen sowie zwei im Museum Zeitreise Mensch in Kurtatsch ausgestellt. Die isolierte Lage des Schmelzplatzes fernab jeglicher Kupfervorkommen ist ein Kuriosität. Es gibt nur Mutmaßungen zur Erzprovenienz. Von nahen Kupfergruben auf der Nonsberger Seite des Mendelkamms bis zu der Vorstellung, dass die Lokalität aufgrund des Holzreichtums gewählt wurde reichen die Vermutungen (Hauser, 1986). Die Erzprovenienz ist nach wie vor nicht geklärt und alle „näheren“ Kupfererzvorkommen (Ulten, Monzoni uvm.) inklusive des Pfunderer Bergs (50 km Luftlinie) können natürlich als Lieferanten in Erwägung gezogen werden.

### 6.3. Schlussfolgerung

Die „chain operator“ der prähistorischen Kupfermetallurgie im Eisacktal und im ganzen Raum Südtirol ist bis heute nur teilweise verstanden. Einerseits gibt es zahlreiche, klare Hinweise auf Verhüttung, andererseits zeichnen sich die meisten Lagerstätten Südtirols generell durch geringe Kupfergehalte aus. Die einzigen großen Kupfervorkommen sind im Penninikum in Prettau

im Hinteren Ahrntal zu finden. Diese Vorkommen erklären aber keineswegs die hohe Dichte an metallurgischen Rückständen im Eisacktal und den Hochflächen des Ritten und der Villanderer Alm, da die Erze in diesem Falle zwischen 70 und 80 km durch das Ahrntal und Pustertal nach Brixen und Klausen transportiert worden wären. Größere Schlackenfunde im Ahrntal fehlen dabei vollkommen (Baumgarten, pers. Mitt.). Ein lokales Erzvorkommen wäre demnach naheliegender. Die mineralogische und chemischen Eigenschaften der Pb-Zn-reichen Erze des Pfunderer Bergs stimmen chemisch jedoch nicht mit denen der Schlacken und Metalle überein. Die hier beschriebenen chalkopyritreichen  $\text{Cu} \pm \text{Fe} \pm \text{Pb} \pm \text{Bi} \pm \text{Ag} \pm \text{Zn}$  Sulfidparagenese hingegen weist eine deutlich abweichende

Mineralogie zu den typischen blei- und zinkreichen Mineralisationen auf und erklärt unter anderem die Silber-, Bismuth-, Blei- und Zinkgehalte in den metallischen Einschlüssen der metallurgischen Proben von Milland und Gufidaun (Colpani et al., 2009). Die von Colpani et al. (2009) beobachteten Antimon- und Arsengehalte könnten auch auf weitere akzessorische Phasen zurückzuführen sein. Zum Beispiel ist Tetraedrit und Arsenopyrit am Pfunderer Berg weit verbreitet (Krismer et al., 2011). Aufgrund der chemischen Ähnlichkeit zwischen den beschriebenen Erzen und den archäologischen Proben kann ein Zusammenhang zwischen der Lagerstätte Pfunderer Berg und den Verhüttungsaktivitäten im Eisacktal nicht ausgeschlossen werden.

## 7. Danksagung

Die Autoren möchten sich bei den Mitarbeitern des Instituts für Mineralogie und Petrographie für die Hilfe bei den Analyse und Auswertung

der Ergebnisse bedanken. Dr. Benno Baumgarten wird für die kritische Durchsicht des Manuskriptes gedankt.

## Literaturverzeichnis

Anguilano, L., Angelini, I., Artioli, G., Moroni, M., Baumgarten, B., Oberrauch, H. (2002): Analisi di scorie di estrazione del rame provenienti da siti dell'età del Bronzo dell'Alto Adige. *In*: 5. Internationaler Bergbau Workshop Ridnaun/Schneeberg (eds.: Baumgarten, B., Mair, V., Schölzhorn, H.). 7-14.

Artioli, G., Colpani, F., Angelini, I., Anguilano, L. (2005): Verhüttung von Erzen in Milland (Brixen, Eisacktal, BZ). Mineralogische Analysen der Schmelzschlacken. *In*: Der spät-kupferzeitliche Schmelzplatz von Milland bei Brixen im Rahmen der beginnenden Metallurgie im alpinen Raum (eds.: Dal Ri, L., Tecchiati, U.). 18-20.

Artioli, G., Baumgarten, B., Marelli, M., Guissani, B., Recchia, S., Nimis, P., Giunti, I., Angelini, I., Omenetto, P. (2008): Chemical and isotopic tracers in Alpine copper deposits: geochemical links between mineas and metals. *Geo-Alps*, 5: 139-148.

Baumgarten, B., Folie, K., Stedingk, K. (1998): Auf den Spuren der Knappen: Bergbau und Mineralien in Südtirol. Tappeiner Verlag (Lana), 288 pp.

Baumgarten, B. (2005): Welche Schlüsse lassen sich aus den historischen Bergbauspuren um Brixen für die Vorgeschichte ziehen? *In*: Der spät-kupferzeitliche Schmelzplatz von Milland bei Brixen im Rahmen der beginnenden Metallurgie im alpinen Raum (eds.: Dal Ri, L., Tecchiati, U.). 18-20.

Colpani, F., Angelini, I., Artioli, G., Tecchiati, U. (2009): Copper smelting activities at the Milland and Gudon Chalcolithic sites (Bolzano, Italy): Chemical and mineralogical investigations of the archaeometallurgical finds. *In*: Proceedings Actes ISA 2006 (eds.: Moreau, J-F., Auger, R., Chabot, J., Herzog, A.), 367-374.

- Cremante, M. and Storti, C. (2005): Metallurgische Aktivitäten in Milland: Die Untersuchung der Kupferschlacken anhand chemischer, mikrostruktureller und metallographischer Analysen. *In: Der spätkupferzeitliche Schmelzplatz von Milland bei Brixen im Rahmen der beginnenden Metallurgie im alpinen Raum* (eds.: Dal Ri, L., Tecchiati, U.). 15-17.
- Dal Ri, L. (1972): Spuren urgeschichtlicher Erzgewinnung in den Sarntaler Alpen. *Der Schlern*, 46: 592-601.
- Dal Ri, L., Rizzi, G., Tecchiati, U. (2005): Die Untersuchung einer spätkupferzeitlichen Struktur mit Hinweisen auf Erzgewinnung und -verhüttung in Milland bei Brixen. *In: Der spätkupferzeitliche Schmelzplatz von Milland bei Brixen im Rahmen der beginnenden Metallurgie im alpinen Raum* (eds.: Dal Ri, L., Tecchiati, U.). 4-11.
- Dorfmann, W. (1974): Der Bergbau im Raume Klausen. PhD Thesis, University of Padua, Padua, 146 pp.
- Exel, R. (1998): Lagerstättenkundliche und montanhistorische Erhebungen über den Erzbergbau in Südtirol (Provinz Bozen, Italien). *Berichte der Geologischen Bundesanstalt*, 42: 130 pp.
- Goldenberg, G. (2004): Ein Verhüttungsplatz der mittleren Bronzezeit bei Jochberg (Nordtirol). *In: Alpenkupfer (Rame delle Alpi)* (eds.: Weisenberg, G., Goldenberg, G.). *Der Anschnitt*, 17: 165-176.
- Goldenberg, G., Rieser, B. (2004): Die Fahlerzlagerstätten von Schwaz/Brixlegg (Nordtirol), *In: Alpenkupfer (Rame delle Alpi)* (eds.: Weisenberg, G., Goldenberg, G.). *Der Anschnitt*, 17: 37-52.
- Hauser, L. (1986): Die bronzezeitlichen Kupferschmelzöfen in „Fennhals“ über Kurtatsch. *Der Schlern*, 60, 75-87.
- Krismer, M., Vavtar, F., Tropper, P., Sartory, B., Kaindl, R. (2011): Mineralogy, mineral chemistry and petrology of the Ag-bearing Cu-Fe-Pb-Zn sulfide mineralizations of the Pfunderer Berg (South Tyrol, Italy). *Austrian Journal of Earth Sciences*, 104/1: 36-48.
- Lunz, R. (1993): Lajen – Ur- und Frühgeschichte. *In: Gemeinde Buch Lajen*, Hrsg.: Gemeinde Lajen, Dr. Paul Lang. Typak (St. Ulrich), 578 pp.
- Metten, B. (2003): Beitrag zur spätbronzezeitlichen Kupfermetallurgie im Trentino (Südalpen) im Vergleich mit anderen prähistorischen Kupferschlacken aus dem Alpenraum. *Metalla*, 10: 1-122.
- Pring, A., Etschmann, B. (2002): HRTEM observations of structural and chemical modulations in cosalite and its relationship to the lillianite homologues. *Mineralogical Magazine*, 66, 451-458.
- Ring, U., Richter, C. (1994): The Variscan structural and metamorphic evolution of the eastern Southalpine basement. *Journal of the Geological Society*, 151: 755-766.
- Rottura, A., Bargossi, G. M., Caggianelli, A., Del Moro, A., Vison, D., Tranne, C.A. (1998): Origin and significance of the Permian high-K calc-alkaline magmatism in the central-eastern Southern Alps, Italy. *Lithos*, 45: 329-348.
- Sassi, F.P., Spiess, R. (1993): The Southalpine metamorphic basement in the Eastern Alps. *In: The pre-Mesozoic Geology in the Alps* (eds.: Raumer, J. F., Neubauer, F.), Springer (Berlin), 599-607.
- Stöllner, Th., Breitenlechner, E., Eibner, C., Herd, R., Kienlin, T., Lutz, J., Maass, A., Nicolussi, K., Pichler, Th., Pils, R., Röttger, K., Song, B., Taube, N., Thomas, P., Thurner, A. (2011): Dre Mitterberg als Großproduzent für Kupfer. *In: Forschungsprogramm HiMAT - Neues zur Bergbaugeschichte der Ostalpen* (eds.: Goldenberg, G., Töchterle, U., Oggel K., Krenn-Leeb A.). *Archäologie in Österreich Spezial* 4: 113-144.
- Wyhlidal, S., Thöny, W., Tropper, P., Mair, V. (2010): Multi-equilibrium and pseudosection modelling of the northernmost southalpine basement (brixen quartzphyllite, South-Tyrol, Italy). *Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft* 156: 159 - 173.

