

Mineralogisch-Petrologische Untersuchungen pyrometamorpher Quarzphyllite von der Vogeltenne bei Elvas (Brixen/Südtirol)

Klaus Zöll & Peter Tropper

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

Zusammenfassung

Verschlackte Gesteinsproben von der Vogeltenne bei Elvas (Brixen/Südtirol), deren archäologischer Kontext aber nicht gesichert ist, wurden im Zuge dieser Untersuchung mineralogisch-petrologisch untersucht. Bei den Gesteinen handelt es sich um Brixner-Quarzphyllite, die durch ein Brandereignis pyrometamorph überprägt wurden. Dabei konnte die Bildung von Spinell (Hercynit) und Olivin + Anorthit aus dem im Gestein auftretenden Granat beobachtet werden. Beim Zerfall von Chlorit entstanden die Minerale Olivin, Titanit, Ilmenit und Magnetit, welche für die thermodynamische Phasenanalyse in Betracht gezogen wurden. Die beobachtete Mineralparagenese lässt auf eine Temperaturentwicklung bis zu 900°C schließen. Die Hitzeeinwirkung auf die Gesteine war kurz und nicht allzu intensiv. Die oben genannte maximale Temperatur und die relativ oxidierenden Brandbedingungen lassen möglicherweise auf einen einfachen Feststoffbrand, wie er bei einem Gebäudebrand entsteht, schließen.

Abstract

The scope of this investigation is the mineralogical and petrological investigation of pyrometamorphic slags. These slags were found in a site called Vogeltenne located in Elvas close to Brixen in South Tyrol (Italy). The archaeological context of these slags is still uncertain. Nevertheless, they can be described as pyrometamorphically overprinted Brixen Quartzphyllites. The investigation revealed the breakdown of garnet and the formation of spinel (hercynite) and olivine + anorthite amphibole. Decomposition of chlorite leads to the formation of new minerals such as olivine, titanite, magnetite and ilmenite. Thermodynamic phase analysis indicates that the observed phase assemblage results from temperatures up to 900°C. These temperatures and high oxygen fugacities indicate that these slags most likely formed due to a fire, which destroyed a building.

Einleitung

Brixen, die Bischofsstadt am Eisack, gehört zu den ältesten Städten Tirols und wird 901 n. Chr. erstmals urkundlich erwähnt. Auf Grund der klimatischen Bedingungen und der strategisch günstigen Lage (Abb. 1) war der breite Talkessel von Brixen, wo Rienz und Eisack zusammenfließen, schon in vor- und frühgeschichtlicher Zeit von großer Bedeutung. Laut Lunz (2005) gibt es in ganz Tirol kein derartig dicht und kontinuierlich besiedeltes Gebiet wie im Brixner Raum. Bereits ab 1909 begann eine planmäßige Feldforschung unter der Leitung von Adrian Egger. Er hat bis zu seinem Tode, im Jahre 1953, mehr als 32 archäologische Fundstellen entdeckt, darunter auch jene vom Elvaser Köpfel mit Guggenhaus und Vogeltenne. Nur einige wenige Fundstellen wurden jedoch als interessant erachtet und so in der Folgezeit noch genauer untersucht.

Im Zuge der regen Bautätigkeiten in und um Brixen kamen ab den 70er Jahren zahlreiche weitere archäologische Funde zu Tage, die fachgerecht erfasst und gesichert wurden. Trotzdem liegt die eigentliche Siedlungsgeschichte aus der Urzeit noch bis heute im Dunkeln.

Die von der Vogeltenne stammenden Proben dieser Arbeit stammen aus einem Untersuchungsgebiet, welches bereits seit 1909 bekannt, aber nie einer genaueren archäologischen und schon gar nie einer mineralogisch-petrologischen Untersuchung unterzogen worden ist. Gesammelt wurden die Proben von Felix Aufderklamm (Aufderklamm, 2007), während der Kartierung für seine Diplomarbeit und dann wurden sie im Zuge der Diplomarbeit von Philipp Schneider (Schneider, 2009) untersucht. In der Diplomarbeit von Schneider (2009) wurden die verschlackten Proben einer ersten mineralogischen Untersuchung unterzogen. Die Proben stammen allesamt von der Lokalität Guggenhaus, einem 910 m hohen Hügel, der sich hinter der Ortschaft Elvas bei Brixen erhebt. Bereits 1909 fand der Schriftsteller W. Moroder Scherben sowie Knochen- und Kohlereste, die bis heute auf eine genauere Untersuchung

warten. Der Fund stellt möglicherweise einen prähistorischen Brandopferplatz dar. Die Proben dieser Arbeit stammen von der lediglich 100 Meter nordöstlich von Guggenhaus befindlichen Erhebung mit der Bezeichnung Vogeltenne. Bereits Egger (1909) notierte auf dieser Erhebung ein bedeutendes Steinschlackenlager. Er ließ einige Exemplare aus dieser Fundstelle von Dr. Meusburger einer ersten chemischen Untersuchung unterziehen, wobei sich herausstellte, dass diese kein Kupfer und nur einen geringen Eisengehalt aufweisen. Genau von diesem Steinschlackenlager wurden die Proben dieser Untersuchung gesammelt. Die genaue archäologische Bedeutung der Schlacken aus diesen Fundstellen ist bis heute nicht geklärt. Tatsächlich gibt es vier unterschiedliche Interpretationen dieser Funde:

- Egger (1917) postulierte, dass es sich um einen sogenannten „Schlackenwall“ handelt. Zur Verdichtung und Verfestigung eines Verteidigungswalles wurde dieser in Brand gesetzt. Er zieht dabei Parallelen zu einem ähnlichen Wall bei Ochsenbühel, einer Anhöhe zwischen Schabs und Aicha, die inzwischen aber nicht mehr vorhanden ist.
- Klebelsberg (1925) war der Auffassung, dass es sich um eine Eruptivbrekzie handeln könnte. Er fand am Elvaser Köpfel zahlreiche lose im Gelände herumliegende Gesteinsstücke. Es soll sich um zwei Partien einer harten, jungvulkanischen Brekzie handeln, die eine Längserstreckung von 5 m und eine Breite von 1.25 m besitzt und zwischen 0.5 und 0.25 m aus dem Boden ragt.
- Lunz (2005) geht aus fortifikatorischer Sicht davon aus, dass im Hinblick auf die Entstehung der Schlacken ein kultischer Charakter angenommen werden darf. Das heißt, dass es sich wahrscheinlich um einen Brandopferplatz handelt.
- Schneider (2009) konnte in seiner Diplomarbeit die Herkunft der Schlacken von Guggenhaus nicht eindeutig festlegen und fügte auf Grund des Auftretens vieler Eisensulfide eine weitere Theorie hinzu, nämlich die der Entstehung der Schlacke während einer prähistorischen Metallverhüttung.

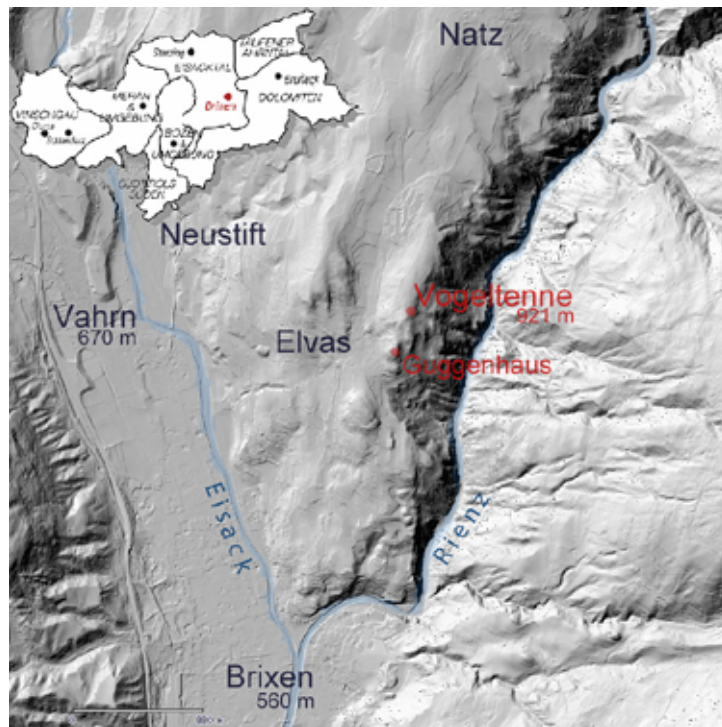


Abb. 1: Laser-Scan des Brixner Talkessels und der Fraktion Elvas (Brixen). Rot eingetragen: Lokalitäten Vogeltenne und Guggenhaus (Geobrowser der Autonomen Provinz Bozen Südtirol - Abteilung 9: Informationstechnik).

Beschreibung der Fundstelle

Die Fundstelle befindet sich auf der Vogeltenne, einer Erhebung unmittelbar hinter Elvas (siehe Abb. 2). Von Süden her erreicht man die Lokalität über einen sehr steilen Anstieg, der an dem vorgelagerten Hügel Guggenhaus vorbeiführt. Am höchsten Punkt erreicht man das bereits erwähnte Lager von verschlackten Steinen.

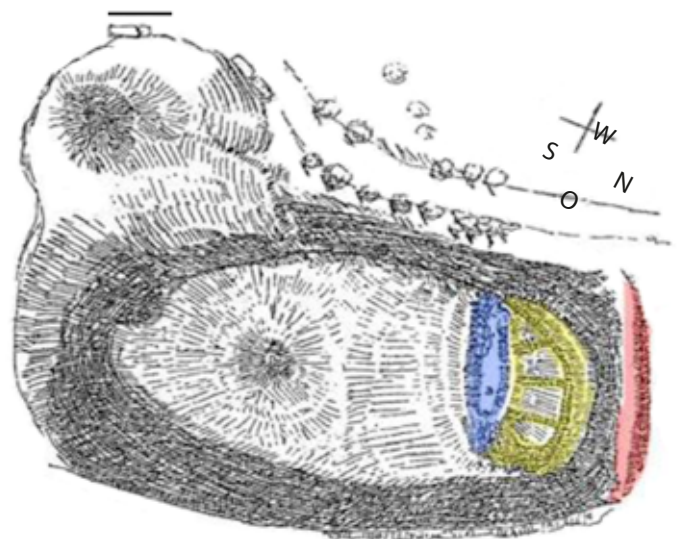


Abb. 2: Diese Skizze zeigt die Elvaser Köpfe mit Vogeltenne und Guggenhaus (Oberfläche und Profil) von Egger (1917).



Abb. 3: Das obere Bild zeigt das Wallsystem (Gelb und Rot) samt Schlackelager (Blau) mit Blickrichtung nach Süden. Das untere Foto zeigt die Radialdämme, die den Grundmauern von Gebäuden ähneln (Blickrichtung Osten).

Abb. 4:

Das Foto zeigt den Hügel mit den verschlackten Gesteinen. Auffallend sind die zahlreichen Quarzphyllitbruchstücke mit der charakteristischen rötlichen Färbung.



Die Steine liegen auf einem, durch Gletscherschliff dominierten Untergrund auf und bilden einen Hügel mit einer Höhe von ca. 3 Metern. Er bedeckt eine Fläche von ca. 3 x 6 Metern und wurde von Egger (1917) auf Grund seiner Form als Wall beschrieben. In südlicher Richtung, ausgehend vom Schlackerlager erstreckt sich ein Graben mit einem Querschnitt von 40 x 40 cm. Weiters beschreibt Egger (1917) eine Grube, die sich im östlichen Teil befinden soll.

Hinter dem Steinhaufen fällt der Waldrücken sanft ab und verbreitert sich zusehends. Weiter gegen Norden trifft man auf ein Wallsystem. Es besteht aus drei konzentrisch angelegten Steinwällen, von denen der südöstlichste durch 4 Radialdämme mit dem Schlackenlager verbunden erscheint. Diese vier Radialdämme ähneln Grundmauern von Gebäuden. Tatsächlich konnte Egger (1917 & 1925) dort gleich an mehreren Stellen bereit durch kleine Sondergrabungen Scherben und Knochensplitter finden. Er stellte die Annahme an, dass dieser Teil besiedelt war. An den Hauptwällen konnte er aber keine Funde notieren. Gegen Osten und Westen enden die

Wallanlagen an den steilen Abhängen. Lunz (2005) konnte diese Spuren, nach einer kurzen Begehung bestätigen und zudem der Eisenzeit (vermutlich der Laugen-Hallstattzeit) zuordnen. Trotzdem postulierte er ohne weitere Ausführungen einen kultischen Charakter der Anlage. Die Tonscherben und Schlackensteine, die von Egger (1909) geborgen wurden, sind im Diözesanmuseum von Brixen aufbewahrt. Es wird angenommen, dass die Tonscherben aus der späten Bronze- oder frühen Eisenzeit stammen und können mit der im Eisacktal weit verbreiteten Laugenkultur (7. bis 5. Jahrhundert v. Chr.) in Verbindung gebracht werden.

Die Gesteine im Untersuchungsgebiet

Im Untersuchungsgebiet kommt neben den quartären Ablagerungen hauptsächlich Brixner Quarzphyllit vor. Es handelt sich dabei um ein polymetamorphes Sedimentgestein, das im frühen Paläozoikum abgelagert wurde und mindestens zweimal (variszisch regionalmetamorph und permisch kontaktmetamorph) metamorph überprägt wurde. Einzelne Lagen im Quarzphyllit weisen einen erhöhten Kohlenstoffgehalt auf und bilden einen Graphitphyllit. Aus dem Gestein treten auch vereinzelt stark schwefel- und eisenhaltige Quellwässer aus, in dessen Folge eine rege Badehauskultur um Brixen entstanden ist. Im Gesteinsverband des Brixner Quarzphyllits stecken auch immer wieder permische Diorite. Diese sind in der Regel mittel- bis feinkörnig und von einer dunkelgrauen Farbe. Es handelt sich dabei um einen Diorit aus Plagioklas, Hornblende, Augit, Biotit und/oder Quarz, dessen Volumenanteile schwanken, so dass man einzelne Vorkommen auch als Quarzdiorit bezeichnen kann. Bei Klausen und Villanders findet man das so genannte Bergbaurevier Pfunderer Berg, eine polymetallische Pb-Zn-Cu-Ag Lagerstätte die an die Dioritintrusionen gebunden ist (die Lokalbezeichnung für den dortigen Diorit lautet Klausenit). Dieses Bergbaurevier ist das älteste, urkundlich erwähnte in ganz Tirol. Über einen Zeitraum von über 800 Jahren wurden dort vor allem silberhaltiger Bleiglanz und später auch Kupfer und Zinkblende abgebaut. Das Abbauggebiet reicht bis auf die Villanderer Alm bei Seeberg. Abgebaut wurden am Seeberg silberhaltiger Bleiglanz und wahrscheinlich auch Zinkblende. Über den Betrieb in diesem Gebiet sind kaum Informationen vorhanden, man geht aber davon aus, dass von ca. 1650 bis 1800 die Gewinnungsphase am größten war. Gegen Norden wird der Quarzphyllit von der mächtigen Intrusion des ebenfalls permischen Brixner Granits begrenzt.

Der Brixner Granit beginnt bereits südwestlich von Meran und zieht sich in östliche Richtung über Vahrn, Franzensfeste und weiter über das untere Pustertal bis nach Kiens, wo er dann am Eingang des Ahrntales auskeilt. Besonders im Süden hat sich eine deutlich erkennbare Kontaktaureole im Quarzphyllit (bei den Bauernhöfen Riold und Obersalcher in der Gemeinde Franzensfeste) ausgebildet. Die Breite des Granitzuges variiert von 0,5 km, in der Nähe von Pens (ST), bis zu 13 km bei Mauls. Die mineralogische Zusammensetzung des grobkörnigen Hauptzuges besteht aus weißem Plagioklas, wenig K-Feldspat, aus glasigem, hellgrauem, grobkörnigem Quarz, dunkelbraunem, glänzendem Biotit und aus vereinzelt Einsprenglingen von dunkler bis fast schwarzer Hornblende. In bestimmten Bereichen variiert der Mineralbestand über Tonalit bis Gabbro-Diorit bzw. Diorit. Erratische Blöcke oder sogenannte Findlinge aus Brixner Granit überziehen große Teile des Natzner Hochplateaus und des Brixner Talkessels.

Im Brixner Talkessel sind zusätzlich enorme Mengen an quartären Ablagerungen anzutreffen. Von lakustrinen Sedimenten aus bereits verlandeten Seen, über fluviatile Ablagerungen von Rienz und Eisack bis hin zu glazialen Sedimenten und äolischen Ablagerungen aus dem Gletschervorfeld ist alles im Großraum Brixen anzutreffen. Einige Sedimente werden auch wirtschaftlich als Zuschlagstoffe in der Betonindustrie oder bei der Herstellung von diversen Grobkeramiken (Ziegel und/oder Baukeramik) genutzt.

Arbeitsmethoden

Zur ersten Betrachtung der Dünnschliffe wurde ein Durchlicht-Polarisationsmikroskop verwendet. Mit Hilfe der Elektronenstrahl-Mikrosonde war es einerseits möglich die Zusammensetzung der Minerale der einzelnen Proben semiquantitativ (energiedispersiv) zu analysieren und mittels Elektronenmikroskopie das Mikrogefüge abzubilden (BSE, back-scattered electron images). Zur Verfügung stand eine JEOL 8100 SUPERPROBE am Institut für Mineralogie und Petrographie der Universität Innsbruck.

Abb. 5: Das Foto zeigt ein typisches Gesteinsbruchstück, das Egger (1909) sehr treffend als verschlackten Stein bzw. Schlackenstein bezeichnet hat. Die hohe Porosität ist bereits im Handstück deutlich erkennbar.

Beschreibung der Proben

Die gesammelten Proben sind durch ein extrem geringes Gewicht im Verhältnis zu ihrer Größe gekennzeichnet. Sie besitzen ein hohes Porenvolumen und sind teilweise regelrecht aufgeschäumt (Abb. 5). Dies ist ein eindeutiger Hinweis, dass die Gesteine sehr hohen Temperaturen ausgesetzt waren wie sie bei einer sogenannten Pyrometamorphose auftreten.

Das ursprüngliche Gefüge der Gesteine ist noch erkennbar. Bereits im Handstück kam die erste Vermutung auf, dass es sich bei den einzelnen Proben um unterschiedliche Gesteinstypen handeln muss. Tatsächlich konnte mittels Polarisationsmikroskopie bestätigt werden, dass hier die Gesteine des Brixner Quarzphyllits und des Diorits (sog. Klausenit) pyrometamorph überprägt worden sind. Beide sind feinkörnig, unterscheiden sich aber durch die Größe der einzelnen Quarzkörner, die im Diorit wesentlich größer sind als im Quarzphyllit. Hinzu kommt, dass im Quarzphyllit Granat noch mit freiem Auge erkennbar ist. Granat bildete sich im Zuge der variszische Regionalmetamorphose.





Abb. 6: Das Foto zeigt eine der untersuchten Proben. Auffallend ist, dass einzelne Gesteinsstücke bereits miteinander verschmolzen sind. Die rötliche Oberflächenfarbe ist ebenfalls charakteristisch für die einzelnen Proben. Erst im Anschlag oder im Anschnitt ist die ursprüngliche gräuliche Farbe des Gesteins (= Brixner Quarzphyllit) erkennbar. An der Oberfläche haften Schlackentröpfchen, bei denen es sich um ehemalige Granate handelt, die jetzt aber nur mehr als Pseudomorphosen vorliegen.

Manchmal sind mehrere Gesteinsbruchstücke miteinander verschmolzen (Abb. 6). Die zu untersuchenden Proben wurden sowohl von der Oberfläche der Schlacke als auch vom Kern entnommen. Bereits im Anschnitt der Gesteine kann man aufgrund der Verfärbung einen deutlichen Temperaturgradienten mit rasch abfallenden Temperaturen in Richtung Zentrum der Handstücke erkennen. Dieser ist gekennzeichnet durch einen Farbwechsel des Gesteins. In den Randbereichen ist eine rötliche Färbung charakteristisch, welche oxidierende Bedingungen

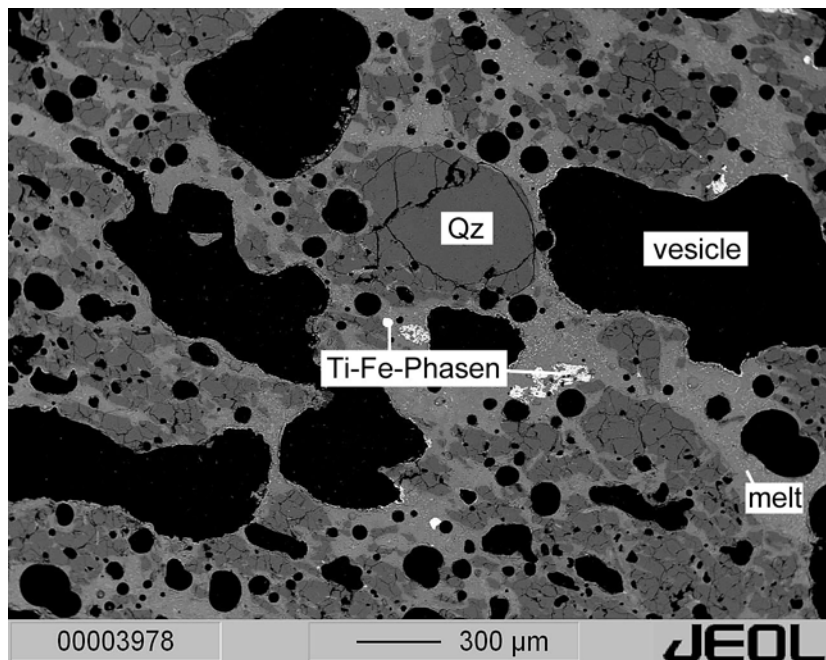
(hohe Sauerstoff fugazität, fO_2) vermuten lässt. Im Zentrum ist die ursprüngliche Gesteinsfarbe des Brixner Quarzphyllits erhalten geblieben was auf eher reduzierende (geringe fO_2) Bedingungen im Kern der Proben schließen lässt. An der Oberfläche sieht man deutlich rundliche Schmelztröpfchen. Diese können auf den Zusammenbruch, der im Gestein anzutreffenden Granate in neue Mineralphasen zurückgeführt werden, und wird auch als das sogenannte Platzen der Granate bei der Pyrometamorphose bezeichnet.

Petrographie der untersuchten Proben

Die Proben weisen ein sehr schaumiges Gefüge, mit zahlreichen Hohlräumen auf, die unter der Elektronenstrahl-Mikrosonde und dem Polarisationsmikroskop als schwarze Löcher erkennbar sind. Das ursprüngliche Mikrogefüge blieb aber über die Pyrometamorphose hinaus noch bestehen. Insbesondere die vielen Schichtsilikate (Chlorit und Biotit), die teilweise reliktsch in den Proben erhalten geblieben sind, reagierten beim Aufheizen des Gesteins und begannen sich aufzublähnen, dehydrierten und trugen so zur Bildung

von Mikrorissen und Poren im Gesteinsverband bei. Der Grad der Umwandlung und damit einhergehend die Porosität ist von Probe zu Probe sehr unterschiedlich. Es wurden fünf Proben näher mit der Mikrosonde untersucht. Dabei handelte es sich um die Proben VT1, VT2, VT3, VT4 und VT8. Die unterschiedlichen Korngrößen von Quarz weisen auf unterschiedliches Ausgangsgestein hin. Große reliktsche Quarzaggregate in Probe VT8 zeigen, dass es hier um einen Diorit als Ausgangsgestein handelt (Abb. 7).

Abb. 7: Probe VT8. Das BSE Bild zeigt das typische Gefüge eines pyrometamorph überprägten Diorits (Klausenit) mit einer auffallend großen Porosität des Gesteins. Zudem sind im Quarz (Qz), eine große Menge an Schmelze (melt) und die Ti-Fe-Phasen, bestehend aus Ilmenit, Magnetit, Rutil und Herzynit, erkennbar. Grosse Löcher (vesicle) sind ebenfalls erkennbar.



Probe VT8: Das ursprüngliche körnige Gefüge des Diorits ist noch erhalten. Die Korngröße variiert zwischen fein- bis mittelkörnig. Die Kristallform der primären Minerale ist sowohl xeno- als auch idiomorph. Die neugebildeten Minerale sind relativ feinkörnig (siehe Abb. 7). Neben einem großen Schmelzanteil und großen Quarzkörnern kommen reliktsch erhaltene Chlorite vor. Im weiteren Untersuchungsverlauf konnten Anorthit und Sillimanitnadeln als einzelne Mineralphasen identifiziert werden. Sillimanit bildete sich wahrscheinlich durch den Zusammenbruch von Muskovit. Durch die Temperatureinwirkung kam es zur Umwandlung von Rutil zu Ilmenit und

gleichzeitig zur Bildung von Herzynit, Magnetit und Rutil aus Biotit. Dass die Sauerstoff fugazität (fO_2) eine wichtige Rolle gespielt hat, erkennt man an den unterschiedlichen Domänen des Gesteins und damit einhergehend an der Neubildung bzw. Mineralumwandlung der obgenannten Ti-Fe-Phasen (siehe Abb. 8).

Im Diorit findet sich kein Granat bzw. findet man auch keine Granatumwandlung. Außerdem ist der Schichtsilikatanteil deutlich geringer im Vergleich zum Brixner Quarzphyllit. Dies spiegelt sich in Anzahl, Form und Größe der Poren bzw. Luftblasen wieder. Die Probe VT8 weist wenige, vorwiegend runde Poren auf. Als akzessorisches

Mineral wurde zudem noch Zirkon gefunden. Da dieses Mineral ein großes thermisches Stabilitätsfeld besitzt, wurde es nicht weiter in die Untersuchungen der Proben miteinbezogen. Die Proben VT1 bis VT4 ähneln sich alle sehr stark, sowohl im Gefüge als auch im Mineralbestand. Bei allen vier Stücken handelt es sich um Brixner Quarzphyllit, der einen auffallend hohen Schmelzanteil und Eisensulfide zwischen den einzelnen Mineralen aufweist. In einzelnen Proben ist das ursprüngliche Gefüge des Quarzphyllits, trotz starker

Pyrometamorphose, noch deutlich erkennbar. Je nach Schnittlage ist die Krenulation (Abb. 9) erkennbar. Diese entsteht durch den Verschnitt mehrerer Foliationen im Gestein.

Innerhalb der Proben lassen sich unterschiedliche Bereiche, sog. Mikrodomänen in denen unterschiedliche Mineralneubildungen auftreten, ausmachen. Der Mineralbestand der einzelnen Domänen variiert primär in Abhängigkeit der lokal herrschenden Temperaturen in den Gesteinen.

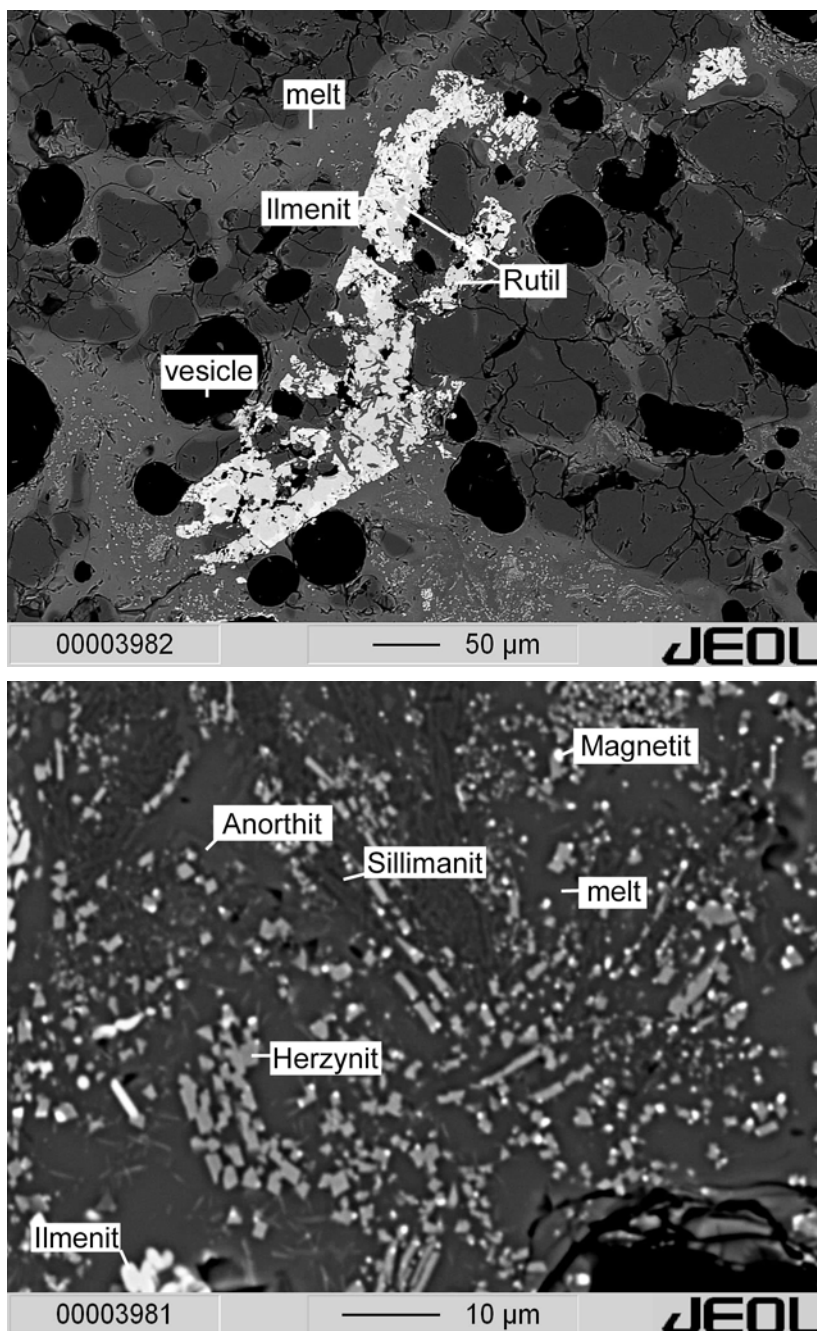
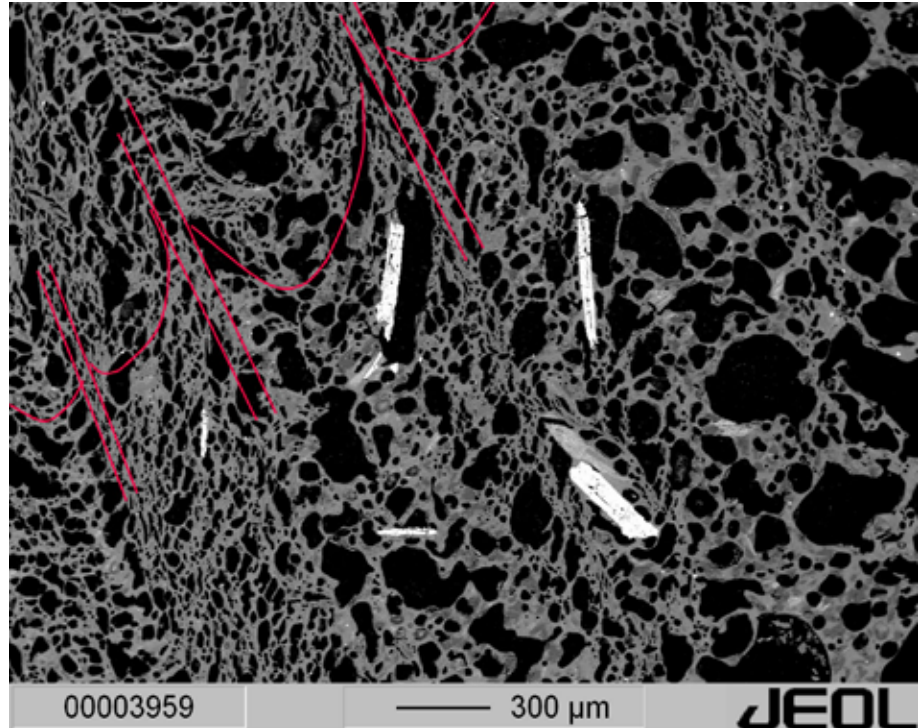


Abb. 8:
 Probe VT8. Das obere BSE Bild zeigt die Mineralreaktion von Rutil zu Ilmenit. Im BSE Bild darunter (vergrößerter Ausschnitt) kann man die typischen Mineralparagenese erkennen (Herzynit + Magnetit + Sillimanit + Schmelze, melt), die entstehen, wenn es zum pyrometamorphen Zusammenbruch von Biotit und Muskovit kommt.

Abb. 9:
 Probe VT1. Das BSE Bild zeigt das typische Primärgefüge des Brixner Quarzphyllits. Erkennbar ist die diskrete Krenulationsschieferung (rot angedeutet), bei der die Körner in den Mikrolithons von den Schieferungsdomänen gekappt werden. Zudem sind in den Schieferungsdomänen alle Körner bzw. in diesem Fall alle Luftblasen und/oder Poren parallel orientiert.



Die Ilmenit-Domäne

Neben Quarz ist Ilmenit ($\text{Fe}^{2+}\text{TiO}_3$) ein typisches Durchläufermineral, welches in allen Proben vorkommt. Das Mineral ist meist stengelig, idiomorph ausgeprägt. Um das Mineral herum sind deutlich Reaktionssäume erkennbar. Bei der Untersuchung mittels Elektronenstrahl Mikrosonde konnte festgestellt werden, dass es sich um Umwandlungssäume aus Titanomagnetit handelt (siehe Abb. 10).

Bei Titanomagnetit ($\text{Fe}^{2+}(\text{Fe}^{3+},\text{Ti})_2\text{O}_4$) handelt es sich um einen magnetit-ähnlichen Spinell, der einen erhöhten TiO_2 -Gehalt von bis zu einigen Gewichtsprozenten aufweist und der bei hohen Temperaturen mit Magnetit Mischkristalle bildet. Er entsteht bei der Pyrometamorphose (Abb. 11). Voraussetzung ist eine hohe Sauerstoffugazität mit einhergehenden starken oxidierenden Bedingungen. Gleichzeitig gibt es feinste Entmischungen von Spinell im Mineral Ilmenit. (siehe Abb. 11).

Die Chlorit-Domäne

Im Brixner Quarzphyllit ist die Domäne des Chlorits deutlich erkennbar. Sie ist klar als Relikt ersichtlich und besitzt den typischen Kristallhabitus mit idiomorph ausgeprägten Mineralkörnern. Bei der Pyrometamorphose beginnt Chlorit, nach Schneider (2009), ab einer Temperatur von 497°C zu dehydrieren. Die Struktur des Chlorits bleibt aber bei der Pyrometamorphose bis zu einer Temperatur von 740°C stabil. In weiterer Folge kommt es zu einer Umwandlung des Chlorits (Clinochlor,

$\text{Mg}_5\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_4$) in die OH-freien Minerale Forsterit (Mg_2SiO_4), Spinell (MgAl_2O_4) und Enstatit (MgSiO_3). Ab einer Temperatur von rund 820°C tritt nur noch Olivin und eine SiO_2 -Modifikation auf. Bei 950° bildet sich dann zusehends Spinell. Bei einer Temperatur von 1010°C endet die Mineralumwandlung des Chlorits. In den untersuchten Gesteinen kam es hauptsächlich zur Bildung von Magnetit. Mg-Olivin bildet sich nur untergeordnet (Abb. 12).

Freier Quarz oder Pyroxen konnten im Zusammenhang mit dem Chloritzusammenbruch nicht beobachtet werden es bildete sich aber ein bemerkenswert hoher Schmelzanteil (siehe

Abb. 13). Bei der Abkühlung des Gesteins kam es zum retrograden Wachstum von Muskovit. Dies ist in den Proben des Brixner Quarzphyllits immer wieder zu beobachten.

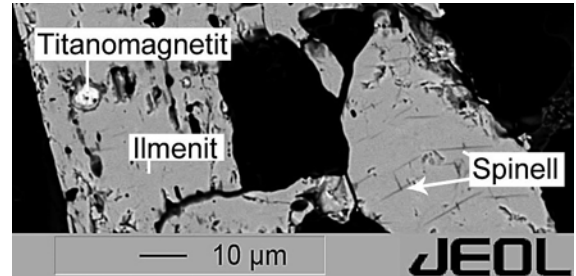
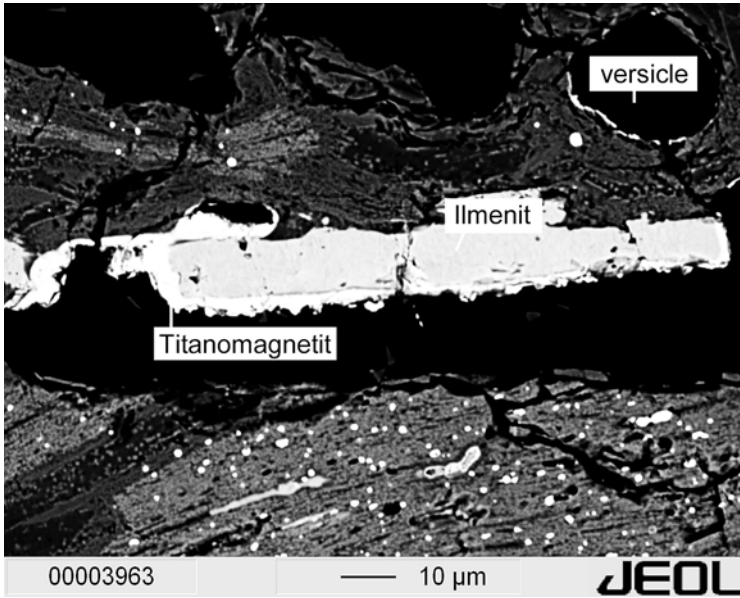


Abb. 11: Probe VT1. Das BSE Bild zeigt neben den häufig vorkommenden Titanomagnetiten auch Spinellentmischungen (unten rechts), welche vermutlich auf die Abkühlung zurückzuführen sind.

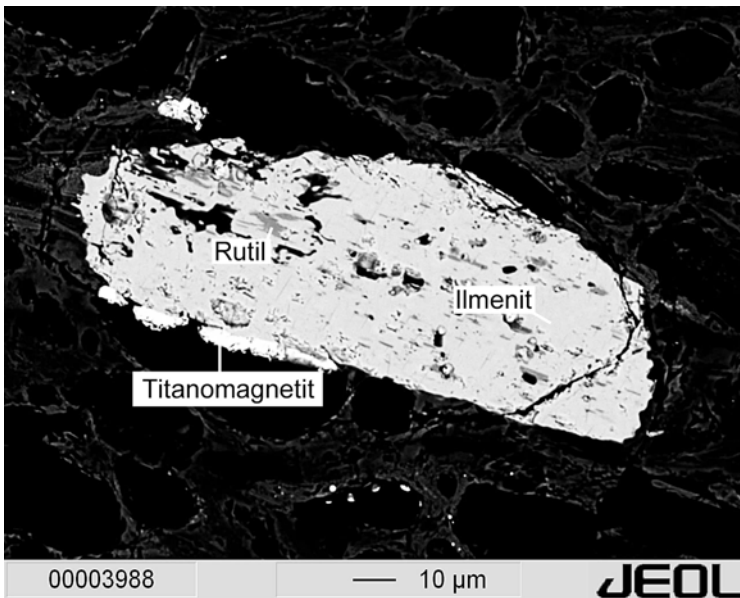


Abb. 10: Probe VT1. Das obere BSE Bild zeigt idomorphen, stängeligen Ilmenit mit Titanomagnetit als Reaktionssaum um das Mineral. Bild unten: Probe VT2. Das BSE Bild zeigt ebenfalls Ilmenit mit Reaktionssäumen aus Titanomagnetit. Weiters kann man noch Rutil-Einschlüsse im Ilmenit beobachten.

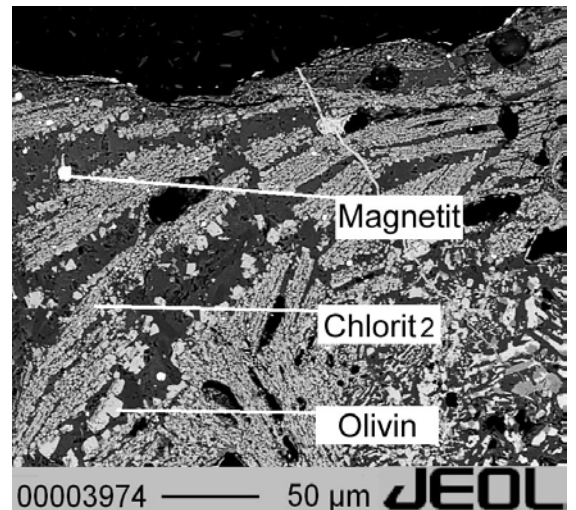


Abb.12: Probe VT4. Das BSE Bild zeigt zahlreiche reliktsch erhaltene Chlorite, an dessen Rändern sich Forsterit gebildet hat. Vereinzelt tritt auch bereits Magnetit auf. Die Zwischenräume der einzelnen Minerale sind vorwiegend mit Schmelze verfüllt.

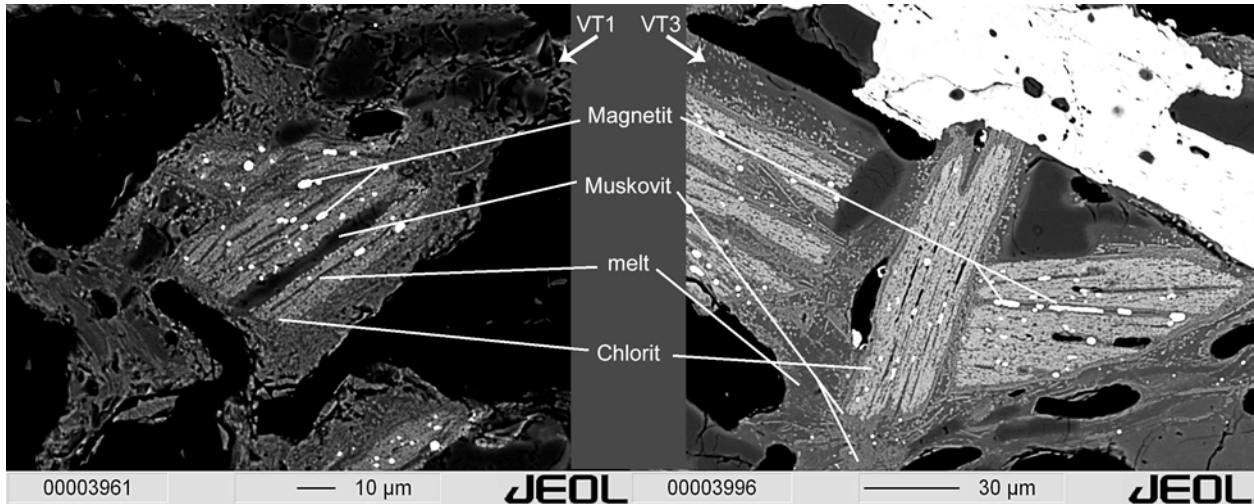


Abb. 13: Probe VT1 links und Probe VT3 rechts. Das linke BSE Bild zeigt reliktsch erhaltenen Chlorit mit zahlreichen Neubildungen aus Spinell (Magnetit). Neben Magnetit bildete sich auch Schmelze (melt). Erst bei der Abkühlung des Gesteins kam es zur retrograden Ausbildung von Muskovit im als auch um den Chlorit wie im rechten BSE Bild erkennbar.

Die Granat-Domäne

Vor allem im Norden des Brixner Quarzphyllits treten granatführende Bereiche auf. Diese Granate sind sowohl mikroskopisch als auch makroskopisch erkennbar. Es stellte sich allerdings erst unter der Mikrosonde heraus, dass Granat nur noch reliktsch erhalten geblieben ist und bereits eine

starke Umwandlung mit Mineralneubildungen erfahren hat. Zum Teil kam es sogar zur völligen Aufschmelzung des Minerals (siehe Abb. 14). Laut Schneider (2009) kommt es bei den Fe-Endgliedern theoretisch bereits bei Temperaturen von 570°C zum Zusammenbruch der Phase im reinen Fe-System.

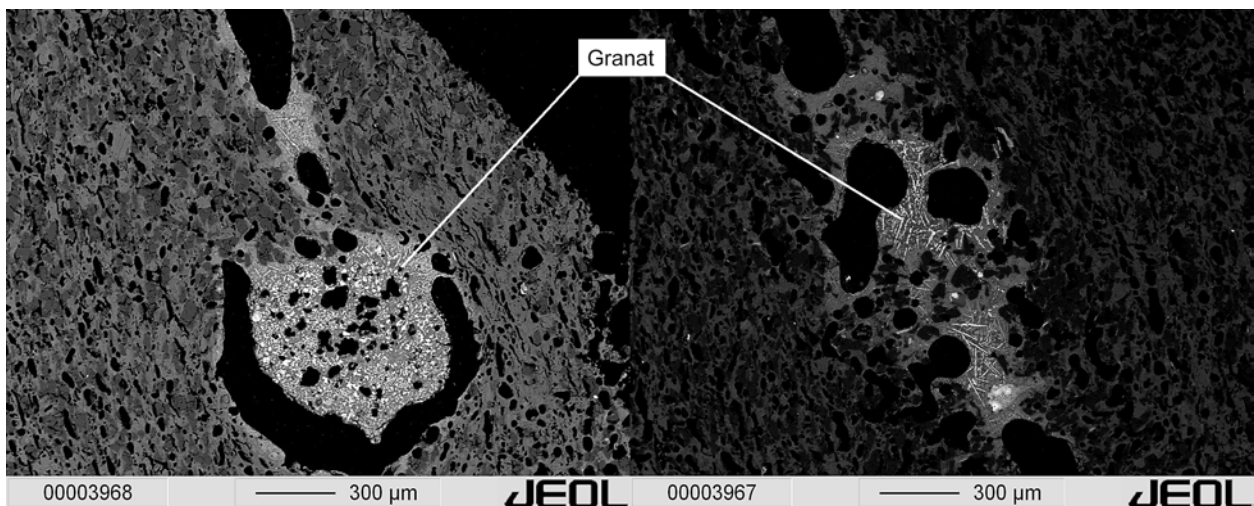


Abb. 14: Beide BSE Bilder stammen aus derselben Probe (VT1). Links ein reliktsch erhaltener Granat, der von einer Luftblase umschlossen wird. Seine ursprüngliche Form ist noch gut erkennbar. Bereits mit freiem Auge konnten zahlreiche solche Relikte identifiziert werden. Erst unter der Mikrosonde wurde dann festgestellt, dass es im Granat zu Umwandlungsreaktionen sowie Mineralneubildung und Schmelzbildung gekommen war. Rechts ein Granat, der bereits vollständig aufgeschmolzen wurde. In der Schmelze kam es zur Kristallisation von neuen Phasen.

Bei einer genaueren Untersuchung mittels Mikrosonde konnte festgestellt werden, dass es bei der pyrometamorphen Überprägung des Gesteins zum Zerfall des Granats gekommen ist und es sich unter anderem Olivin gebildet hatte. Es handelt sich dabei um Forsterit-Fayalit Mischkristalle mit hohem MnO Gehalt zwischen 4.60 und 22.25 Gew.%. Die hohen MnO Konzentrationen stammen aus dem Kern des Granats, der vermutlich eine hohe Spessartin-Komponente besaß. Eine weitere Phase, die sich aus Granat während der Pyrometamorphose bildete, ist Hercynit, ein Fe²⁺-haltiger Spinell. Es tritt typischerweise beim Zerfall von Almandin bei hohen Temperaturen und niedrigen Drucken auf. Neben Schmelze ist es in einer Probe auch zur Bildung von nahezu reinem Fayalit mit gleichzeitigem Auftreten von Magnetit gekommen (siehe Abb. 15). Die Magnetitbildung wird

durch die lokal herrschende, hohe Sauerstoff-fugazität, welche auch für die rötliche Färbung des Gesteins verantwortlich ist, begünstigt.

Bei den Proben, in denen es zur teilweisen bis völligen Aufschmelzung des Granats kam, konnte zusätzlich zu den beschriebenen Phasen Anorthit nachgewiesen werden (siehe Abb. 15). Es wird vermutet, dass sich Feldspat durch den Zusammenbruch von Olivin unter Bildung von Magnetit und Quarz und dem frei werdenden Ca aus dem Granat bildet. Ebenfalls ist ein bis jetzt nicht identifiziertes Mineral kristallisiert, das einen stengeligen bis nadeligen Habitus aufweist. Energiedispersive Mikrosondenanalysen weisen darauf hin, dass es sich dabei vermutlich um einen Fe-Mg-Amphibol (Cumingtonit bzw. Anthophyllit) handelt.

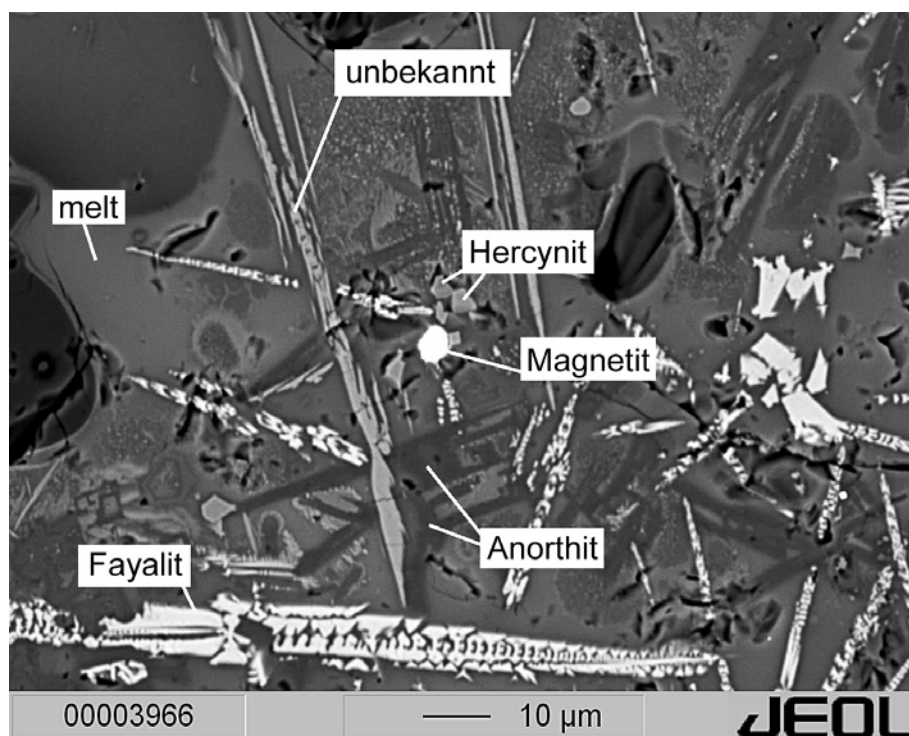


Abb. 15: Probe VT1. Das BSE Bild zeigt einen vergrößerten Ausschnitt aus Abb. 14 (rechts), eines vollständig zersetzten Granats. Bei der Rekristallisation bildeten sich nadelförmiger Fayalit, sowie Hercynit und vereinzelt auch Magnetit. Neben einem hohen Schmelzanteil kam es zudem zur Kristallisation von Anorthit und einem weiteren Mineral, welches noch unbekannt ist (wahrscheinlich ein Fe-Mg Amphibol), aber einen deutlichen stengeligen bis nadeligen Habitus aufweist.

Die Schmelz-Domäne

In den einzelnen Proben konnte ein recht hoher Anteil an Schmelze festgestellt werden. Zum größten Teil enthält sie sehr feinkörnige Kristallite oder ist völlig glasartig erstarrt. Die primär Minerale als auch die neu kristallisierten Phasen treten als Einsprenglinge in der Glasmatrix auf. Charakteristisch für die Schmelze ist der hohe K Gehalt, wobei dieser bis zu einem Faktor von Zehn streuen kann (von 2 bis 14 Gew.%). Die

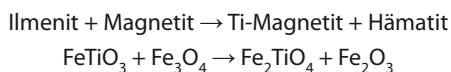
meisten Punktanalysen liegen jedoch bei zirka 3 Gew.% K₂O. Dies spricht für eine geringe Durchmischung und eine hohe Viskosität der Schmelze. In den meisten Messungen mittels Mikrosonde, konnte ein relativ konstanter Anteil an FeO und Al₂O₃ gemessen werden. Er liegt meist um 10 Gew.% kann aber um den Faktor Zwei schwanken. Relativ gleichmäßig ist die SiO₂ Konzentration in der Schmelze. Sie liegt bei ca. 70 Gew.%.

Diskussion

Petrologische Interpretation

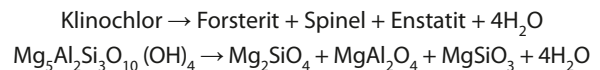
Ein größeres Problem bei der Untersuchung der Proben bestand darin, dass es nur zu einer kurzzeitigen Temperatureinwirkung auf die Gesteine gekommen war. Daraus resultiert, dass sich kein mineralogisches Gleichgewicht einstellen konnte und nur Ungleichgewichtstexturen erkennbar sind. Durch die Rekonstruktion der Reaktionsgeschichte der Gesteine, im Speziellen der thermischen Entwicklung war es aber trotzdem möglich eine qualitative Interpretation vorzunehmen

Ilmenit-Domäne: Die Umwandlung von Ilmenit zu Ti-Magnetit (Ulvöspinell) kann man anhand folgender Mineralreaktion erklären:

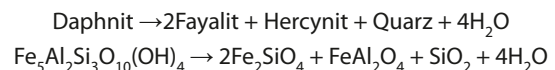


Chlorit-Domäne: Laut den Untersuchungen von Schneider (2009) beginnt Chlorit (Klinochlor) bereits ab 497°C sein strukturell gebundenes Wasser abzugeben. Bei 726°C hat Chlorit ohne Änderung der Kristallstruktur bereits 78.5 % des strukturell gebundenen Wassers abgegeben. Bei einer Temperatur von 820°C ist der gesamte Chlorit in Olivin umgewandelt. Je nach Ausgangschemismus bzw. Eisengehalt (X_{Fe}) des Chlorits liegt die Temperatur dieser Mineralreaktion zwischen 720°C und 900°C..

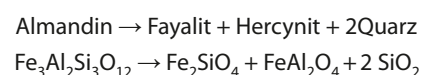
Zusammenbruchsreaktion des Klinochlors (Schneider 2009):



Bei der Zusammenbruchsreaktion von Daphnit (Fe-Chlorit) entsteht die in den Proben oft beobachtete Mineralparagenese Olivin + Spinell:

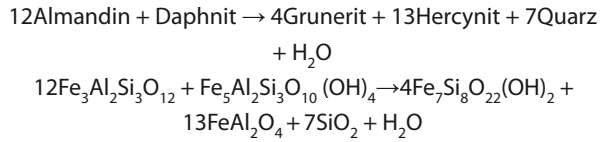


Die erste Mineralumwandlung, die im Gestein abläuft, ist der Zusammenbruch des Granats. Schneider et al. (2011) untersuchten in verschlackten Bausteinen der eisenzeitlichen Häuser vom Glasbergl in der Gemeinde Stams (Nordtirol - A), bereits diese Mineralreaktion. Es konnte festgestellt werden, dass der strukturelle Zusammenbruch von der Almandinkomponente des Granats abhängig ist. Reiner Almandin beginnt bereits bei 570°C sich in Fayalit, Hercynit und Quarz nach folgender Reaktion umzuwandeln (Abb. 16):

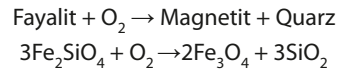


Die Mineralumwandlung ist unabhängig von der Verfügbarkeit des Sauerstoffes. Da Granat nur als Mischkristall vorliegt muss davon ausgegangen werden, dass die Reaktion bei etwas höheren

Temperaturen abgelaufen ist und 570°C nur als Minimumtemperatur angegeben werden kann. Die Bildung eines Fe-Mg Amphibols aus Granat könnte durch folgende Fe-Endgliedreaktion zwischen Granat und Chlorit erklärt werden:



Zusätzlich muss festgehalten werden, dass Fayalit nur bedingt stabil ist und abhängig von der Sauerstoff fugazität unmittelbar zu Magnetit und Quarz zerfällt.



Dieselbe Reaktion läuft auch bei der Umwandlung von Chlorit ab. Da auch hier kein reiner Mg-Chlorit (Klinochlor) im Gestein vorhanden ist, wird neben Forsterit auch Fayalit gebildet. Die Mineralreaktion Fayalit zu Magnetit und Quarz ist stark abhängig von der Sauerstoff fugazität. Das verbreitete Auftreten von Magnetit nach Fayalit lässt auf relativ oxidierende Bedingungen schließen, da die Reaktion dadurch auf die Produktseite verschoben wird. Magnetit tritt in den Chlorit-Domänen wesentlich häufiger auf als in den Granat-Domänen (siehe Abb. 13 und Abb. 14).

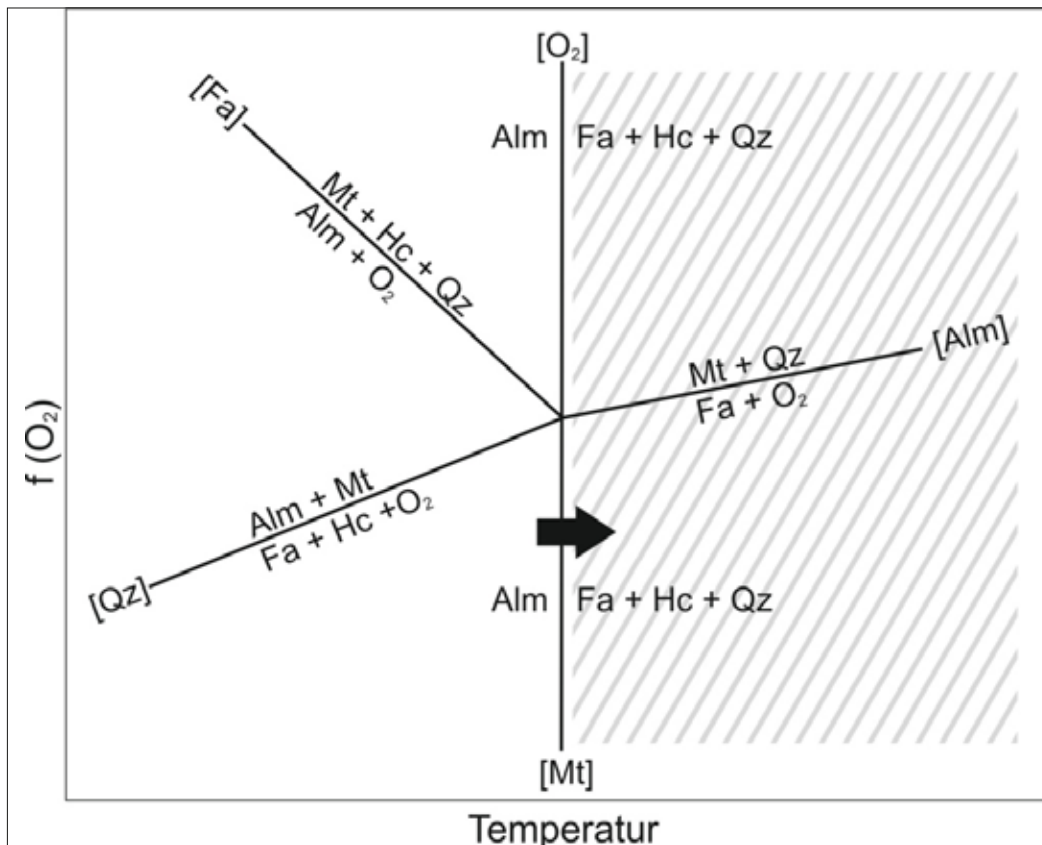


Abb. 16: Schematische Darstellung der Reaktionsbeziehungen im System Fe-Al-Si-O als Funktion von f_{O_2} und T. Der Zerfall von Almandin führt bereits bei einer Temperatur von 570°C zur Neubildung von Fayalit (Fa), Hercynit (Hc) und Quarz (Qz). Der beobachtete Zerfall von Almandin erfolgte entlang des Pfeiles. Das rechte grau-schraffierte Feld grenzt die T- f_{O_2} Bedingungen der Paragenese Fayalit + Hercynit + Quarz ab. Alm: Almandin, Fa: Fayalit, Hc: Hercynit, Qz: Quarz (aus Schneider et al. 2011).

Da Chlorit aber noch reliktsch erhalten geblieben ist, kann davon ausgegangen werden, dass das Stabilitätsfeld des Minerals, nicht wesentlich überschritten worden ist und Temperaturen von 820°C bis 900°C nicht oder nur kurzzeitig erreicht worden sind. Wie man aus den BSE Aufnahmen (Abb. 15) erkennen kann, ist nur ein geringer Magnetitgehalt in den Proben der Granat-Domäne vorhanden. Dies spricht dafür, dass nur eine geringe Sauerstoffugazität bei der Pyrometamorphose geherrscht haben musste.

Die unterschiedlichen Sauerstoffugazitäten stehen aber nicht in Widerspruch zueinander. Nach Anschnitt der Handstücke, konnte man erkennen, dass aufgrund inhomogen-verteilter Fugazität, die Proben äußerlich rötlich sind und dies weist somit auf ein oxidierendes Milieu hin. Der Probenkern besitzt eine gräuliche Farbe, was für reduzierende Bedingungen spricht. Weitere Unterschiede in der Verteilung der Sauerstoffugazität kann auf unterschiedliche Positionen des Probenmaterials im Feuer zurückgeführt werden.

Das Vorhandensein von Sauerstoff ist essenziell für die Brandentwicklung und besonders bei einfachen Feststoffbränden ist er ein wesentliches Kriterium für die Temperaturentwicklung. Vereinfacht kann man sagen, dass eine geringe

Sauerstoffugazität ein Hinweis auf einerseits eine schlechtere Verbrennung und folglich geringere Temperaturen ist, kann andererseits aber auch ein Hinweis auf extrem hohe Temperaturen, wie sie in gut belüfteten Brandopferplätzen auftreten, sein (Schneider, 2009).

Dieselbe Reaktion läuft auch bei der Umwandlung von Chlorit ab. Da auch hier kein reiner Mg-Chlorit (Klinochlor) im Gestein vorhanden ist, wird ein Forsterit-Fayalit Mischkristall gebildet. Die Mineralreaktion Fayalit zu Magnetit und Quarz ist stark abhängig von der Sauerstoffugazität. Das verbreitete Auftreten von Magnetit nach Fayalit lässt auf relativ oxidierende Bedingungen schließen, da die Reaktion dadurch auf die Produktseite verschoben wird. Magnetit tritt in den Chlorit-Domänen wesentlich häufiger auf als in den Granat-Domänen (siehe Abb. 13 und Abb. 14). Da Chlorit aber noch reliktsch erhalten geblieben ist, kann davon ausgegangen werden, dass das Stabilitätsfeld des Minerals, nicht wesentlich überschritten worden ist und Temperaturen von 820°C bis 900°C nicht oder nur kurzzeitig erreicht worden sind. Wie man aus den BSE Aufnahmen (Abb. 15) erkennen kann, ist nur ein geringer Magnetitgehalt in den Proben der Granat-Domäne vorhanden. Dies spricht dafür, dass nur eine geringe Sauerstoffugazität bei der Pyrometamorphose geherrscht haben musste.

Historisch/archäologische Interpretation

Die historisch/archäologische Interpretation der Fundstätte auf der Vogeltenne bei Elvas im Eisacktal, gestaltet sich auf Grund der noch ausstehenden archäologischen Auswertung schwierig. Als Grundlage für den Ausschluss bestimmter Entstehungstheorien des Schlackenlagers dienen zusätzlich die Untersuchungen von Schneider (2009) und Schneider et al. (2011) sowie Artioli et al. (2006) und Cremante und Storti (2005). Auf der Grundlage dieser Arbeiten konnte recht schnell festgestellt werden, dass die in dieser Arbeit untersuchten Gesteine mit großer Wahrscheinlichkeit nicht in Verbindung mit metallurgischen Aktivitäten zu bringen sind. Die Schlacken von der Vogeltenne sind keinesfalls vergleichbar mit den Gesteins- und Schlackeresten des kupfer- bis frühbronzezeitlichen Schmelzplatzes bei Milland nahe Brixen (Cremante und Storti, 2005; Artioli et al., 2006). Dort wurden ebenfalls Gesteinsbruchstücke aus Brixner Quarzphyllit untersucht und eindeutig festgestellt, dass die Gesteine Temperaturen zwischen 1200°C und 1250°C im Ofeninneren ausgesetzt waren. Diese Ofensteine waren in direktem Kontakt mit der zu schmelzenden Charge bestehend aus Kupfererzen und Zuschlägen. Folglich konnten unter anderem auch metallische Kupfertröpfchen und neugebildeten Kupfersulfiden wie Digenit und Chalkosin nachgewiesen werden. Die Schlackenreste besteht fast ausschließlich aus fayalitreichem Olivin und Magnetit mit Metall- und Sulfideinschlüssen.

Die postulierte Theorie einer Eruptivbrekzie von Klebelsberg (1925) wurde auf Grund der getätigten Feldbefunde und der mangelnden Spuren eines möglichen jungvulkanischen Ausbruchszyklusses in diesem Gebiet verworfen, obwohl diese Theorie bei der dort lebenden Bevölkerung relativ verbreitet ist.

Danksagung

Mag. Dr. Matthias Krismer wird für die kritische Durchsicht des Manuskriptes gedankt.

Zum Schluss bleiben noch die Theorien von Egger (1917), der die Schlacken als Reste eines Schlackenwalls einer Wallburg sieht und jene von Lunz (2005), der sich für die Annahme eines Brandopferplatzes stark gemacht hat. Nach erneuter Sichtung der von Schneider (2009) untersuchten Schlacken von Guggenhaus kann man davon ausgehen, dass Lunz (2005) mit seiner These, die Reste eines Brandopferplatzes in Guggenhaus gefunden zu haben, wahrscheinlich richtig liegt.

Das Bestehen eines Brandopferplatz auf der Vogeltenne ist unsicher, da die bei anderen feuerkultischen Lokalitäten erreichten Brandtemperaturen von über 1100°C (Schneider 2009) nicht nachweisbar sind. Weiters fehlen die üblichen Knochenfunde. Folglich scheinen die Schlacken eher abgebrannte Reste einer Wallburg darzustellen (Egger, 1917). Die beschriebenen Geländestrukturen sind auch heute noch erkennbar und vergleichbare mineralogische Beobachtungen beschreibt auch Schneider et al. (2011) in Schlacken vom Glasbergl bei Stams (Nordtirol, Österreich). Auch diese Schlacken werden als Reste einer abgebrannten Siedlung interpretiert. Typisch für diese Schlacken ist der thermische Zerfall von eisenreichem Granat während der Pyrometamorphose unter Bildung von Fayalit und Herzynit (Schneider et al., 2011). Auch die abgeleitete Temperaturentwicklung von 570°C bis 900°C lässt auf ähnliche Entstehungsbedingungen schließen. Am Glasbergl wird als mögliches Szenario ein Hausbrand angenommen. Eine Zerstörung der Wallburganlage auf der Vogeltenne durch einen Brand ist daher aus mineralogisch-petrologischer Sicht die naheliegendste Vermutung. Zur weiteren Bestätigung dieser Interpretation wäre eine archäologische Grabung und Auswertung auf der Vogeltenne wünschenswert.

Literaturverzeichnis

- EGGER, A. (1917): Vorgeschichtliche Ortsbeschreibung des Natzerberges bei Brixen – Sonderdruck aus den „Forschungen und Mitteilungen zur Geschichte Tirols und Vorarlbergs“ XIV. Druck der Wagner'schen Universitäts-Buchdruckerei Innsbruck, S. 1-11, S. 15-18
- EGGER, A. (September 1925): Die Besiedlung von Brixen und Umgebung in vorgeschichtlicher Zeit - Der Schlern (Monatszeitschrift – Heft Nr. 9) Verlagsanstalt Athesia Bozen, S 292-300
- STAINER, A. (1964): Kurze Geologie von Südtirol – Druckerei Weger Brixen, S. 6-24
- SANDER, B.: Erläuterungen zur Geologischen Karte Meran-Brixen - Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck S. 9-33
- DAL RI, L., TECCHIATI, U. (2005): Il sito fusorio della tarda età del Rame di Millan presso Bressanone nel quadro della prima metallurgia dell'area alpine - Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria & provincia autonoma die Bolzano – Alto Aadige RIP. 13 – ufficio beni archeologici S. 12-20
- CREMANTE, M., STORTI, C. (2005): Attività metallurgiche a Millan: Indagini su campioni di scoria e di rame attraverso analisi chimiche, analisi microstrutturali e analisi metallografiche - Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Scienze della Terra, Milano S. 19-21
- SCHNEIDER, P. (2009): Mineralogisch-petrologische Untersuchungen der Pyrometamorphose in Brandopferplätzen. Institut für Mineralogie und Petrographie. Innsbruck Diplomarbeit, Leopold Franzens Universität, S. 11–29, S. 49–65, S. 67–69, S. 70-120
- SCHNEIDER, P., TROPPEL, P., TOMEDI, G. (2011): Mineralogisch-petrographische Untersuchungen an verschlackten Bausteinen der eisenzeitlichen Häuser vom Glasbergl (Stams, Tirol). Archaeoplus, 2, 83-86.
- LUNZ, R. (2005): Archäologische Streifzüge durch Tirol, Band 1: Pustertal und Eisacktal - Verlagsanstalt Athesia Bozen, S.232-233, S. 264-269
- AUFDERKLAMM, F. S. C. (2007): Sedimentologie und quartäre Landschafts- Geschichte des Brixner Beckens . Institut für Geologie und Paläontologie. Innsbruck Diplomarbeit, Leopold Franzens Universität, 178 S.

