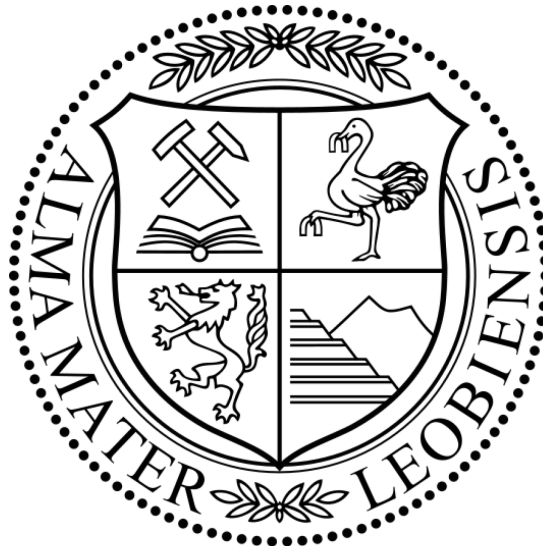


Mineralogie, Petrographie und Flüssigkeitseinschlüsse
Forschung des Au-Cu-Mo Skarns von Carlés,
NW- Spanien



Masterarbeit

angefertigt von
Gerald Anton Kribitz
zur Erlangung des
akademischen Grades eines Diplomingenieurs
an der Montanuniversität Leoben

Eingereicht am Institut für Geowissenschaften,
Lehrstuhl für Mineralogie und Petrologie

Betreuer
Ao. Univ.- Prof. Dr. Ronald J. Bakker
Leoben, Februar 2010

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst,
andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt
und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

Gerald A. Kribitz

Februar 2010

Danksagung

Ich möchte mich hiermit bei allen bedanken, die mir im Laufe dieser Arbeit zur Seite standen.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Ao. Univ.- Prof. Dr. Ronald J. Bakker für die Betreuung und Korrektur dieser Arbeit und für das Viele, was ich im Zuge dieser Arbeit von ihm lernen durfte.

Ich möchte mich für die Anleitungen bei der Durchführung von Analysen mittels Elektronenstrahlmikrosonde bei Frau Dr. Zaccarini und Herrn Mühlhans, welcher auch die Präparation der Dünnschliffe vornahm, herzlich bedanken.

Mein größter Dank gilt meiner Familie, besonders meinen Eltern, für die Unterstützung und den Zuspruch während dieses Studiums, sowie meiner Berni.

Zusammenfassung

Die Au-Cu-Mo Skarnmineralisation von Carlés (Asturien, NW- Spanien) befindet sich in der Cantabrischen Zone des Variszisch Iberischen Massives. Der im Karbon intrudierte Carlés Pluton besteht aus Monzogranit und ist in einer Synklinalstruktur im Übergang zwischen Devonischen Karbonatgesteinen und Silurischen Quarziten situiert. Der resultierende Skarn tritt am Kontakt zwischen Monzogranit und den kalzitischen, untergeordnet auch dolomitischen Karbonatgesteinen, als unregelmäßig ausgebildete Umhüllung auf. Proben von Skarn und Monzogranit wurden untersucht, wobei optische Mikroskopie, Raman Spektroskopie, Elektronenstrahl Mikrosonde, Mikrothermometrie und Computer Modellierung von Flüssigkeiten zur Anwendung kamen. Im Skarn wurde eine große Anzahl von Kalksilikat Mineralen und zusätzlich eine Vielzahl von gediegenen Elementen, Oxiden, Sulfiden und Sulfosalzen bestimmt. Flüssigkeitseinschlüsse in Quarz, Kalzit, Granat und Diopsid liefern Informationen über Erz generierende Prozesse und die dabei vorhandenen Bedingungen. Die untersuchten Flüssigkeitseinschlüsse zeigen eine große Variabilität bezüglich Gaszusammensetzung (Mischung von CO₂, CH₄, N₂ und H₂S) und Salinität. In Quarzadern wurden niedrig salinare Einschlüsse bestehend entweder nur aus H₂O mit Salz, oder aus Gasen (hauptsächlich CO₂, dazu CH₄, N₂ und teilweise Spuren von H₂S) mit niedrigsalinarer Lösung beobachtet. Mittelsalinare wässrige Fluide sind teilweise in Granat eingeschlossen. Flüssigkeitseinschlüsse mit hochsalinarer wässriger Lösung sind in einer in Skarn eingelagerten Kalzitader vorhanden. Hochsalinare Flüssigkeitseinschlüsse mit Anwesenheit von CH₄ wurden in Diopsid und Granat beobachtet, welche frühe Bildungsbedingungen des Skarns, bei minimalen Drücken von ungefähr 230 MPa repräsentieren. Zusätzlich enthalten diese Flüssigkeitseinschlüsse verschiedene feste Phasen, welche den Übergang von einem magmatischen zu einem hydrothermalen System veranschaulichen.

Abstract

The Carlés Au-Cu-Mo skarn mineralization (Asturias, NW Spain) is located in the Cantabrian zone of the Hercynian Iberian massif. The Carboniferous aged Carlés intrusion consists of monzogranite and is placed in a syncline formed by Devonian carbonate rocks at their contact with Silurian quartzites. The resulting skarn occurs at the contact between the monzogranite and the mostly calcitic and minor dolomitic carbonate rocks as an irregular envelope. Samples from the skarn and monzogranite are studied by using optical microscopy, Raman spectroscopy, Electron-Microprobe methods, microthermometry and computer modelling of fluids. A large number of calc-silicate minerals and in addition, a variety of native elements, oxides, sulfides, and sulfosalts was explored in the skarn. Fluid inclusions in quartz, calcite, garnet and clinopyroxene give information about ore generating processes and conditions. The fluids are highly variable in gas-component composition (mixture of CO₂, CH₄, N₂ and H₂S) and salinity. In quartz veins low saline inclusions are observed, consisting either of only H₂O plus salt or of gases (mainly CO₂, some CH₄, N₂ and partly traces of H₂S) with low saline aqueous solution. In Garnet partly medium saline aqueous fluids are trapped. In a calcite vein in skarn fluid inclusions consisting of highly saline solution are included. High salinity fluid inclusions are observed in diopside and garnet in the presence of CH₄, which represent the fluid conditions of the early skarn formation, at minimum pressures of about 230 MPa. In addition these fluid inclusions contain a variety of entrapped solids, which illustrate the transition of a magmatic to a hydrothermal system.

Inhaltsverzeichnis

1 Geologischer Überblick	1
1.1 Variszisch Iberisches Massiv	1
1.1.1 Cantabrische Zone	2
1.1.1.1 Rio Narcea Gold Gürtel	2
1.2 Lokalität, lokale Geologie und Tektonik der Region Carlés	4
1.2.1 Probennahme	6
2 Methodik	7
2.1 Probenherstellung und Mikroskopie	7
2.2 Raman	7
2.3 Elektronenstrahl Mikrosonde	8
2.4 Mikrothermometrie, und kombinierte Mikrothermometrie/ Raman Untersuchung an Flüssigkeitseinschlüssen	10
3 Petrologische und mineralogische Probenbeschreibungen	11
4 Elektronenstrahl Mikrosonde	54
5 Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen	68
5.1 Petrologische Flüssigkeitseinschluss- Beschreibungen	68
5.2 Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen mittels Ramanspektroskopie	77
5.3 Mikrothermometrie	87
5.4 Berechnungen	105
5.5 Literaturvergleich	122

6 Ergebnisse und Schlussfolgerungen	125
7 Literaturverzeichnis	128
8 Anhang	130
Elektronenstrahl Mikrosonde	130
Flüssigkeitseinschlüsse	143

1 Geologischer Überblick

1.1 Variszisch Iberisches Massiv

Der westliche Teil der Iberischen Halbinsel, in welchem sich die Lokalität Carlés befindet, wird vom Variszischen Iberischen Massiv aufgebaut (Lotze 1945). Dieses Iberische Massiv wird in fünf Zonen unterteilt, welche sich mehr oder weniger von NNO beginnend in Richtung SSW aneinanderreihen. Es handelt sich dabei um (Abb. 1.1):

1. Die Cantabrische Zone (CZ), welche einen typischen Überschiebungsgürtel darstellt und durch nichtmetamorphe Sedimentgesteinsabfolgen aufgebaut wird (Spiering et al., 2000 und darin enthaltene Referenzen);
2. Die West Asturische – Leonesische Zone (WALZ), welche sich aus seichtwasserfaciellen Sedimentgesteinen zusammensetzt (Spiering et al., 2000 und darin enthaltene Referenzen);
3. Die Zentral Iberische Zone (ZIZ), welche aus sehr heterogen zusammengesetzten, verschieden metamorphen Gesteinen besteht (Gibbons u. Moreno, 2002);
4. Die Ossa Morena Zone (OMZ), welche an einem aktiven Kontinentalrand entstandene und von Intraplattenbereichen herrührende Gesteine beinhaltet (Ábalos, Gil - Ibaruchi et al., 2002);
5. Die Süd Portugiesische Zone (SPZ), welche als exotisches Terrane einen Teil Avalonias repräsentiert (Gibbons u. Moreno, 2002).

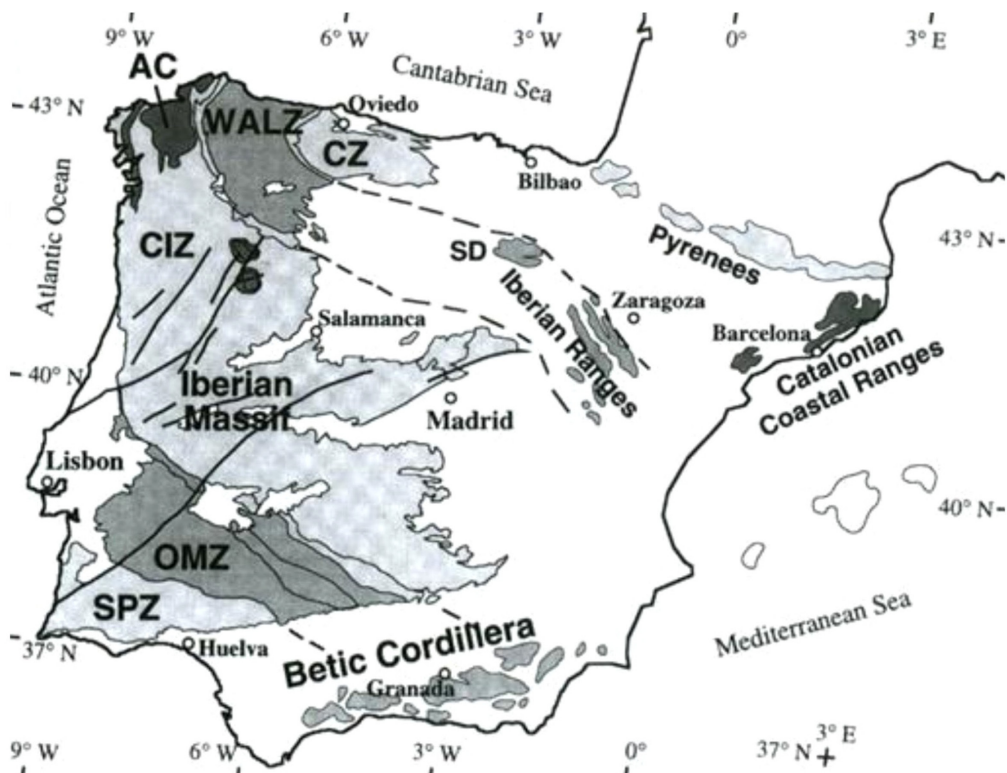


Abb. 1.1, Geologische Übersichtskarte der Iberischen Halbinsel (nach Ábalos et al., 2002)

Alle diese Zonen, außer der Süd Portugiesischen Zone (Teil des Avalonia Terranes) befanden sich vom Kambrium bis in das Devon am nördlichen Rand des afrikanischen Teiles von Gondwana und

stellen mächtige Abfolgen mariner und vulkanischer Gesteine dar. Im Großen und Ganzen handelt es sich hierbei um Paläozoische Abfolgen, welche sich aus Sedimenten und mit Extensionstektonik in Zusammenhang stehenden Vulkaniten zusammensetzen. Diese lagern einem Proterozoischen (Panafrikanischen / Cadomischen) Basement des Gondwanaschelfes auf. Außerdem befindet sich im äußersten Nordwesten des Iberischen Massivs ein auf der Zentral Iberischen Zone auflagernder, allochthoner Komplex, die so genannte Galicia - Tras - os - Montes Zone (e. g. Gibbons u. Moreno, 2002).

1.1.1 Cantabrische Zone

Die Cantabrische Zone ist ein typischer Vorland Überschiebungsgürtel, welcher durch nichtmetamorphe Sedimentgesteinsabfolgen aufgebaut wird. Diese beinhalten eine präorogene, prä-Karbone, Paläozoische Abfolge mit klastischen und karbonatischen Sedimenten einer Seichtwasser Plattform Facies, welche diskordant auf einer Oberproterozoischen turbiditischen Facies auflagert, und eine synorogene Karbone Abfolge, bestehend aus hauptsächlich klastischen, paralischen Sedimenten. Während der Variszischen Orogenese kam es, unter seichten Krustenbedingungen, praktisch ohne größere interne Deformation, zu oberflächlichen Überschiebungen und einer generellen Rampen und Flachbahnen Geometrie, zusammen mit Faltenbildungen und nur mit lokalen Störungen. Diese tektonischen Ereignisse waren von keiner Regionalmetamorphose begleitet (Spiering et al., 2000 und darin enthaltene Referenzen).

1.1.1.1 Rio Narcea Gold Gürtel

Die Lagerstätte Carlés ist Teil des Rio Narcea Gold Gürtels, welcher entlang des westlichen Randes der Cantaprischen Zone gelegen ist, und befindet sich in der Region Asturien, ca. dreisig Kilometer östlich der Asturischen Hauptstadt Oviedo. Es handelt sich hauptsächlich um Sedimentgesteine die entlang des Kontinentalrandes des proto- Atlantischen Rifts abgelagert wurden und vom Cambrium beginnend, fast ununterbrochen (mit Ausnahme von stratigraphischen Unterbrechungen im mittleren Ordovizium bis zum oberen Silur und oberen Devon) bis ins Karbon reichen. Die Sedimentation in der Cantaprischen Zone gipfelt mit den kompressiven Bewegungen der variszischen Gebirgsbildung, welche auf die Bildung des Superkontinentes Pangea im Devon und Karbon zurückzuführen sind. Entlang des Rio Narcea Bruch Systems ist das allochtone Paläozoische Grundgebirge durch Erosion abgetragen und wird diskordant von tertiären Sedimenten überlagert (Spiering et al., 2000 und darin enthaltene Referenzen).

A. Kambro- Ordovizische Gesteine

Im Liegenden befindet sich die Kambrische Herrería Formation, bestehend aus feldspatreichen Sandsteinen mit 500 m bis 1500 m Mächtigkeit.

Dieser lagert die Láncara Formation, bestehend aus Dolomiten und Kalken mit ungefähr 250 m Mächtigkeit, auf.

Die Oville Formation ist Mittel bis Oberkambrischen Alters und besteht aus fein geschichtetem Ton, Siltstein, Sandstein und zwischen gelagerten Vulkaniten mit einer Gesamtmächtigkeit in der Region von annähernd 800 m. Diese Gesteine wurden im seichten Meerwasser bzw. in einem Deltabereich

abgelagert. Die Oville Formation beinhaltet mehrere basaltische und trachytische Gänge mit geringer räumlicher Ausdehnung.

Die Barrios Formation reicht vom späten Kambrium bis zum Ordovizium und besteht aus einem weißen Orthoquarzit welcher zwischengelagerte Schiefer aufweist, mit einer Gesamtmächtigkeit von 700 m bis 1000 m. Der obere Kontakt der Barrios Formation stellt bis zum Silur eine stratigraphische Diskontinuität dar (Spiering et al., 2000 und darin enthaltene Referenzen).

B. Silurische und Devonische Gesteine

Entlang der nördlichen und östlichen Flanken der Rio Narcea Antiklinale werden die Ordovizischen Schichten konkordant von Silurischen (dazwischen stratigraphische Lücke), Devonischen und Unterkarbonen Gesteinen überlagert.

Die Silurischen Gesteine unterteilen sich in die untersilurische Formigoso Formation, welche aus 100 m bis 300 m mächtigem schwarzem Schiefer besteht und die überlagernde Obersilurische Furada Formation. Diese Obersilurische Furada Formation befindet sich in direkter Nachbarschaft zum Carlés Skarn und wird von intertidalen bis randlich marin abgelagerten (Spiering et al., 2000 und darin enthaltene Referenzen), 80 m bis 200 m mächtigen eisenreichen Sandsteinen und ooidischen eisenreichen Gesteinen mit zwischengelagerten Schiefen und Linsen von sandigem Kalkgestein aufgebaut, wobei die Karbonatgesteine besonders im Hangenden verbreitet sind (Martin - Izard, Paniagua et al., 2000).

Die darüber folgenden, stratigraphisch gesehen Devonischen Schichten des Rio Narcea Gürtels werden als Raneces Serie bezeichnet und bestehen aus Karbonatgesteinen mit zwischengelagerten Sandsteinen und Schieferlagen, mit ungefähr 1250 m Gesamtmächtigkeit (Spiering et al., 2000 und darin enthaltene Referenzen). Die Unterdevonische Calizas de Nieva Formation bildet die Basis der Raneces Serie, besteht hauptsächlich aus Kalkstein mit einigen Dolomitlagen im Hangenden und sehr selten schieferigen Gesteinen (Martin - Izard, Paniagua et al., 2000). Die Unterdevonische Calizas de Nieva Formation stellt mit einer Mächtigkeit von 250 m das karbonatische Muttergestein für die Skarnmineralisation der Lagerstätte Carlés dar. Darauf folgen die Naranco Formation mit 400 m mächtigen Sandsteinen und Schiefer, die Candás Formation mit 200 m mächtigen Kalken und Schiefer und die annähernd 400 m mächtige Pineres Formation mit stark eisenhaltigen Sandsteinen und Quarziten (Spiering et al., 2000 und darin enthaltene Referenzen).

C. Tertiäre Sedimente

In topographischen Niederungen entlang des erodierten Rio Narcea Bruchsystems sind verbreitet alluviale Sedimente abgelagert, welche vom oberen Eocän bis ins Oligocän reichen (Spiering et al., 2000).

1.2 Lokalität, lokale Geologie und Tektonik der Region Carlés

Die Region um Carlés liegt östlich der Narcea Antiklinale, welche bereits das westliche Ende der Kantabrischen Zone bildet, im westlichen Teil der Somiedo - Correcilla Einheit, innerhalb der Somiedo Decke (Abb. 1.2). Bereits unter römischer Herrschaft wurde an der Lokalität, welche sich direkt südöstlich der heutigen Ortschaft Carlés befindet, Gold abgebaut (Rua – Figueroa et al., 1987).

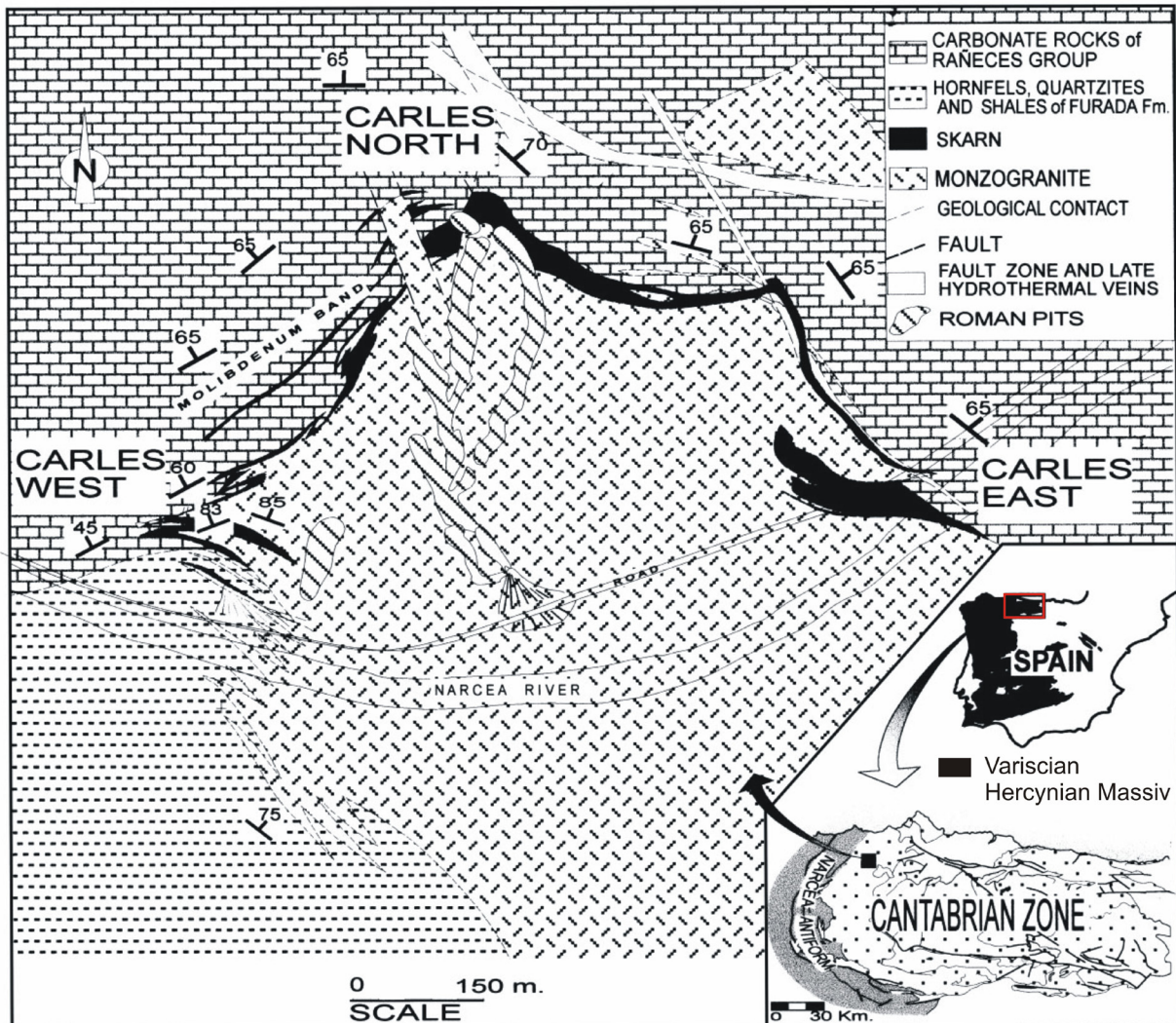


Abb. 1.2, Geologische Karte der Region Carlés (verändert nach Martin - Izard, Paniagua et al., 2000)

Zusätzlich zum intrudierten Monzogranit spielen bei der Bildung des Carlés Skarn die sedimentären Gesteine der hauptsächlich siliziklastischen, Silurischen Furada Formation und besonders die Kalkgesteine und Dolomite der Unterdevonischen Calizas de Nieva Formation, welche die Basis der überwiegend karbonatischen, früh Devonischen Raneces Serie bildet, eine maßgebliche Rolle. Aus struktureller Sicht stehen die in dieser Region intrudierten Granitoide mit Variszischen Störungen und Antiklinal- bzw. Synklinalstrukturen im Zusammenhang. In der Somiedo Decke kontrollieren frontale und laterale Rampen die Lage von größeren Falten, was sich in der Gegend Carlés mit NW-SW gerichteten Falten mit einer Wellenlänge von ungefähr 3 km bemerkbar macht. Zusätzlich zu Störungen welche die inneren Strukturen jeder einzelnen Einheit bilden, gibt es verschiedene Spätvariszische und spätere Störungssysteme. Von spezieller Bedeutung sind O-W und NO-SW mit

deren konjugierten NW-SO laufenden Störungssystemen. Bei der Carlés Intrusion handelt es sich um einen gemischten I- und S- Type Granitoid, welcher sich aus kalkalkalinen und subalkalinen Gesteinen zusammensetzt und laut der Klassifizierung nach Streckeisen und LeMaitre (1979) einen plagioklasreichen Monzogranit darstellt (Martin - Izard, Fuertes-Fuente et al. 2000). Dieser Monzogranit tritt als multipler Laccolith mit bis zu 800 m Durchmesser auf (Martin Izard, Fuertes-Fuente et al. 2000), und ist durch das Vorhandensein von basischem bis intermediärem Plagioklas, Magnesiohornblende, Biotit und feinst mit Kalifeldspat verwachsenem Quarz charakterisiert (Martin-Izard, Paniagua et al., 2000). Das mittels der K-Ar Methode bestimmte Alter dieses Intrusionskörpers beträgt 305 ± 6 Ma (Arcos u. Soler, 1997), ist also Oberkarbon. Im Monzogranit ist vom Dom ausgehend zu randlichen Zungen eine mineralogische und textuelle Zonierung ausgebildet, welche mit zunehmender Entfernung vom Hauptkörper durch vermehrte Silifikation und die Ausbildung von sekundärem Mikroklin charakterisiert ist (Martin - Izard, Paniagua et al., 2000).

Die Platznahme des Monzogranitplutons ist von strukturellen und stratigraphischen Faktoren bestimmt. Die strukturellen Faktoren beinhalten ein bevorzugtes Intrudieren entlang von NO-SW Klüften und deren NW-SO Konjugierten, speziell an deren Schnittpunkten mit O-W Klüften. Zu den stratigraphischen Faktoren gehört, dass Intrusionen vorzugsweise entlang des Kontaktes zwischen den klastischen Sedimenten der Furada Formation und den Karbonatgesteinen der zur Raneces Gruppe gehörenden Nieva Formation auftreten. Die Art der Platznahme der Intrusion hängt stark von der Art des umgebenden Gesteins ab. Innerhalb der klastischen Sedimentgesteine der Furadaformation sind vor allem Lagergänge vorhanden. Im Gegensatz dazu hob der magmatische Intrusionskörper, bei sich im Liegenden der Nieva Formation befindlichen Karbonatgesteinen und an der Grenze zwischen siliziklastischen und karbonatischen Einheiten, die obersten Schichten und formte einen Dom mit bis zu 200 m Länge und 40 m Breite. Dieser taucht mit durchschnittlich zwischen 50° und 60° unter das umgebende Gestein (Abb. 1.3).

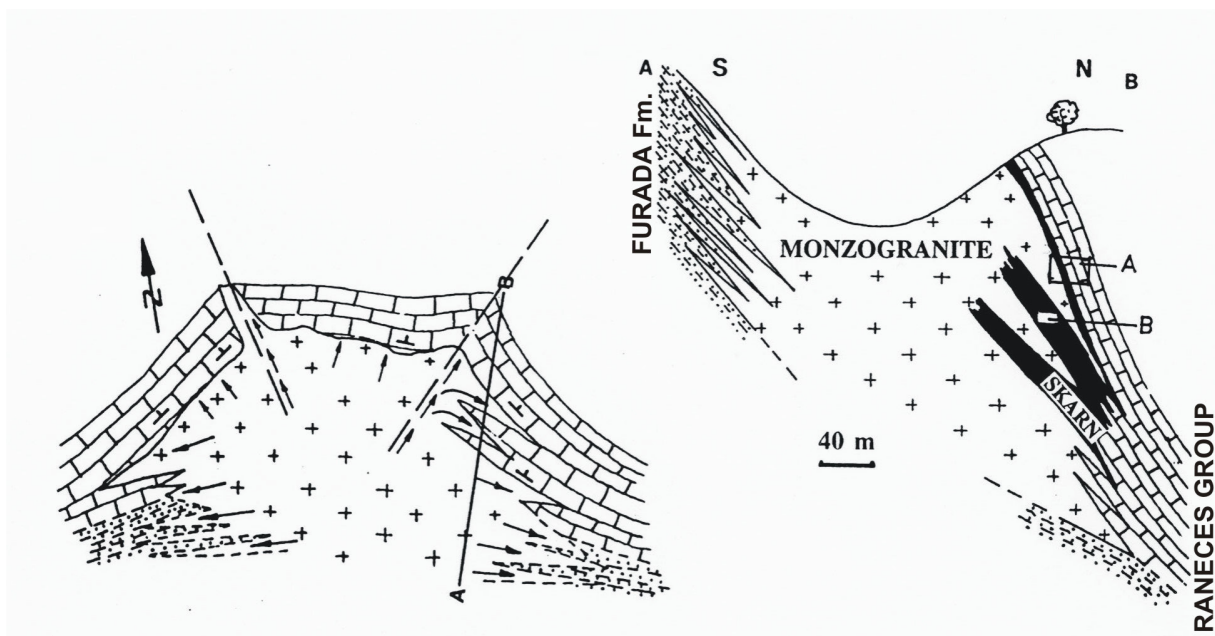


Abb. 1.3, Strukturelle Faktoren und N - S - Profil der Region Carlés (verändert nach Martin - Izard, Paniagua et al., 2000)

Der Carlés Skarn, welcher größtenteils ein Exoskarn ist (Martin – Izard, Boixet et al. 1993), Endoskarn ist auf maximal wenige Dezimeter begrenzt, taucht bevorzugt am Kontakt zwischen

Monzogranit und den Karbonatgesteinen der Nieva Formation auf. Es handelt sich um einen proximalen Skarn, welcher im Allgemeinen eine unregelmäßige Umhüllung um den Intrusionskörper bildet. Örtlich bilden auch die im Hangenden der Furada Formation zwischengelagerten Karbonatlagen Granat- Pyroxen Skarn aus. Aufgrund der Morphologie des Intrusionskörpers treten starke Schwankungen in der Mächtigkeit des gebildeten Skarns auf, welcher am besten in Bereichen innerhalb von Zungen des Monzogranites und zwischen diesen und dem eigentlichen Monzogranitstock selbst, entwickelt ist. Die grösste beobachtete Mächtigkeit beträgt 50 m, jedoch kann diese abrupt zurückgehen oder der Skarn insgesamt auskeilen und Platz für unmineralisierten, kontaktmetamorph gebildeten Marmor freigeben. Generell nimmt die Entwicklung von Skarn mit zunehmender Entfernung vom Intrusionskörper ab, lokal treten jedoch einige wenige, weiter entfernte Skarnkörper auf, welche mit permeablen Strukturen wie Schichtung oder Klüften im Zusammenhang stehen.

Zusätzlich durchschlagen in der Gegend Carlés mehrere später gebildete, bis zu einem halben Meter starke Gänge von Diabas die Kalkgesteine der Nieva Formation, Skarn und den Monzogranit. Im Zusammenhang mit diesen Gängen kann jedoch keine Kontaktmetamorphose oder Alteration beobachtet werden (Martin - Izard, Paniagua et al., 2000).

1.2.1 Probennahme

Die Probenahme erfolgte im August 2006 durch Ao. Univ.- Prof. Dr. R. J. Bakker, welcher vor Ort entsprechendes Material sammelte und geeignete Proben für die nachfolgenden Untersuchungen auswählte.

2 Methodik

2.1 Probenherstellung und Mikroskopie

Von ausgewählten Proben wurden doppelt polierte Dick- und Dünnschliffe angefertigt und diese mittels Durch- und Auflichtmikroskopie bearbeitet. Aufgrund der besseren Möglichkeit zur ersten Voruntersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen wurden teilweise auch bei Schliffen für die Mineralbeschreibungen die Schliffdicken variabel zwischen 30 µm und 150 µm gewählt. Doppelt polierte Dickschliffe zum Zwecke der Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen wurden generell mit ca. 150 µm Schliffdicke hergestellt. Dies ist bei der Betrachtung von Durchlicht-Mikroskopaufnahmen zu berücksichtigen. Von jedem Dünnschliff wurde ein Scan hergestellt, auf welchem verschiedene, mikroskopisch ermittelte, und fotografierte Bereiche vermarktet werden konnten. Dies ermöglicht ein zuverlässiges Wiederauffinden von speziell interessierenden Bereichen, auch für weitere Analysen. Alle mikroskopisch erkannten Mineralphasen wurden zusätzlich mittels Ramanspektroskopie untersucht, wobei sich die intensive Kombination dieser beiden Methoden, zum Beispiel bei größeren Schliffdicken oder etwa zur raschen Unterscheidung von Kalzit und Dolomit als sehr effizient herausstellte. Weiters wurden an einigen Proben in Bereichen, die mittels Auflichtmikroskopie ausgewählt wurden, weiterführende Elektronenstrahlmikrosondenanalysen durchgeführt.

Die hauptsächlich verwendete Apparatur ist ein Olympus BX 40 Mikroskop welches zusätzlich mit einer uEye- Kamera und einem Computer samt entsprechender uEye-UI146x Software ausgestattet ist. Die verwendeten Olympus- Objektive sind: MSPlan 2,5 0,07; MPlan 4X; MPlan 5X / 0.10; MPlan 10X / 0.25; MPlan 20X / 0.40; MPlan 50X / 0.75; MPlan 100X / 0.90

Für Auflicht wurde teilweise zusätzlich an einem Olympus BX 60 Mikroskop mit Kamera und angeschlossener ProCaB 1.4.0.0 Software gearbeitet. Die hierbei verwendeten Olympus- Objektive sind: LMPlanFl 50X / 0.50; LMPlanFl 100X / 0.80

2.2 Raman

Raman Spektroskopie wurde zur Identifikation von Mineralen und zur Untersuchung der Zusammensetzung von Flüssigkeitseinschlüssen verwendet. Die für die Raman Spektroskopie maßgeblichen physikalischen Grundlagen werden folgenderweise erklärt: Wenn Licht auf eine Probe trifft treten unterschiedliche Effekte auf.

Maßgeblicher Effekt

Der Haupteffekt ist die Rayleigh Streuung, der übliche Farbeffekt, wobei Photonen, die nicht von der Probe absorbiert werden, elastisch und mit unveränderter Wellenlänge gestreut werden.

Zusätzlich tritt der Raman Effekt auf, welcher ca. 10^3 bis 10^4 mal schwächer als die Rayleigh Streuung ist. Dabei werden Photonen aufgrund der Interaktion mit schwingenden Molekülen inelastisch gestreut. Gibt ein Lichtquant Energie an ein Molekül der Probe ab und verringert so seine Frequenz um einen charakteristischen, nur von der Art des jeweiligen Moleküls abhängigen Betrag, entsteht Licht längerer Wellenlänge (Stokes Streuung). Trifft ein Lichtquant vibrierende Moleküle der Probe so, dass das Molekül der Probe gebremst wird und dafür das Lichtquant selbst Energie aufnimmt und dadurch eine Frequenzerhöhung um einen charakteristischen, nur von der Art des jeweiligen Moleküls abhängigen Betrag erfährt, entsteht Licht kürzerer Wellenlänge (Anti- Stokes Streuung). Dieses Anti- Stokes

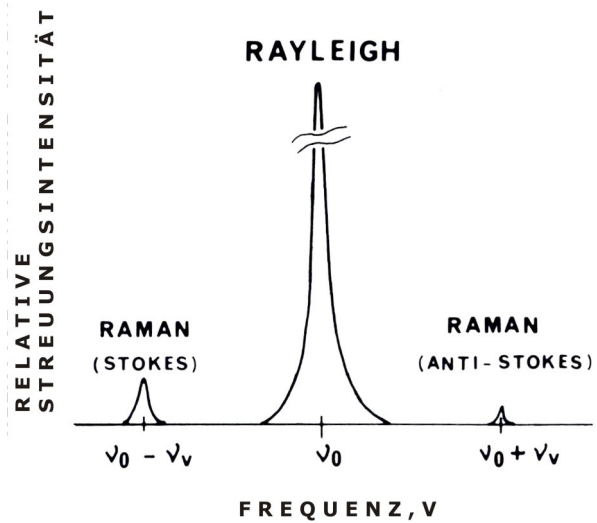


Abb. 2.1, Raman Effekt (verändert nach Burke, 2001)

Spektrum ist relativ zur Bezugslinie des ursprünglichen Lichtes aus gesehen, genau spiegelbildlich zum Stokes Spektrum angeordnet (Abb. 2.1). Nur ist der Stokes Effekt, und somit Energieerniedrigung, wahrscheinlicher und daher deutlich stärker als der Anti – Stokes Effekt ausgeprägt, sodass für praktische Messungen nur der Stokes- Effekt verwendet wird. Um monochromatisches Licht, das stark genug ist zu erhalten, wird Laserlicht benützt. Bei einem Stokes Ramanspektrum wird die Frequenzänderung zum einfallenden Licht in Form relativer Wellenzahlen [cm^{-1}] gegen die gemessene Intensität [a.u.] aufgetragen (Burke, 2001).

Für die vorliegenden Raman Messungen wurde ein Jobin Yvon LabRAM Gerät kombiniert mit einem Olympus BX 40 Mikroskop verwendet, welches an einen Computer angeschlossen ist, auf dem NGS LabSpec- Software installiert ist. Der verwendete Nd-YAG Laser hat ca. 100 mW Leistung und eine Wellenlänge von 532,2 nm (grün), mit einer Auflösung von minimal ca. 1 μm Durchmesser. Die zur täglichen Kalibration der Apparatur verwendeten Standards sind Silizium, Kalzit und Polyethylen.

2.3 Elektronenstrahl Mikrosonde

Die Elektronenstrahl Mikrosondenanalyse (ESMA) wurde zur Identifikation und quantitativen Analyse von Mineralen verwendet, wobei sich diese Methode besonders bei Erzmineralen und zur quantitativen Analyse von Zonierungen in Silikatmineralen als äußerst effektiv erwies.

Dabei wird ein stark fokussierter Elektronenstrahl mit ca. 1 μm Durchmesser auf die Probe gerichtet, wodurch es zu Wechselwirkungen mit Atomen der Probe kommt (Abb. 2.2).

Ein Teil der einfallenden Elektronen wird elastisch gestreut und ermöglicht so die bildliche Darstellung mittels zurückgestrahlter Elektronen (BSE Bild), wobei Atome mit einer relativ höheren Ordnungszahl heller erscheinen.

Ein weiterer Effekt ist die Entstehung von primärer Röntgenstrahlung durch Streuung der einfallenden Elektronen an Atomkernen. Dabei werden Elektronen des Atoms zum Hin- und Herspringen zwischen atomkernnahen und -fernen Bahnen angeregt. Beim Zurückspringen in den Ausgangszustand wird die vom anregenden Elektronenstrahl aufgenommene Energie in Form von charakteristischer Röntgenstrahlung, welche nur von der Differenz der Energieniveaus des angeregten Elektrons und somit von Art des jeweiligen Elements abhängt, abgegeben. Diese Röntgenstrahlung kann auf zwei Arten analysiert werden.

Zur quantitativen Analyse wird das wellenlängendispersive Spektrometer (WDS) verwendet. Der Röntgenstrahl wird, abhängig von seiner Wellenlänge, an Analysatorkristallen gebeugt und das Röntgenspektrum mittels eines Gasproportionszählrohres gemessen. Diese Messungen werden mittels Standards geeicht, was quantitative Analysen und niedrige Nachweisgrenzen von rund 1 ppm ermöglicht. Zur qualitativen Analyse wird das energiedispersive Spektrometer (EDS) verwendet. Der Röntgenstrahl wird mittels eines Halbleiterdetektors analysiert, wodurch semiquantitative Messungen binnen weniger Sekunden möglich sind.

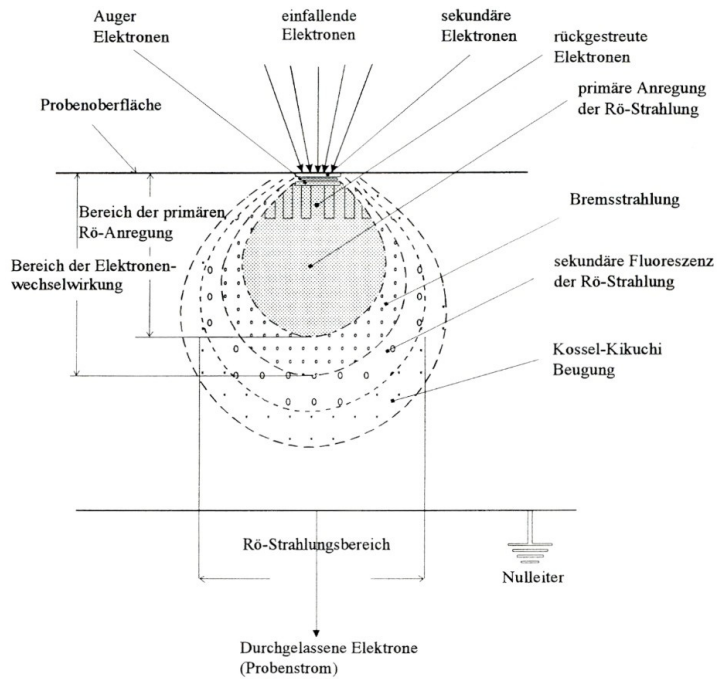


Abb. 2.2, schematische Darstellung der durch einen Elektronenstrahl hervorgerufenen Wechselwirkungen an der Probe (nach Pavicevic, 2000)

Die Elektronenstrahl Mikrosondenanalysen wurden am Lehrstuhl für Mineralogie und Petrologie, an der Montanuniversität Leoben mittels einer Jeol JXA 8200 Apparatur durchgeführt.

Bei den jeweiligen Messungen (WDS) für die zu messenden Elemente verwendete Standards:

Elemente	Standard	Elemente	Standard	Elementoxide	Standard
Au, Ag	Au ₇₀ Ag ₃₀ synt.	As	Arsenkies nat.	Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , Na ₂ O	Kaersutit nat.
Sb	PdSb ₁₂ synt.	Fe, S	Pyrit nat.	CaO, FeO, MgO, K ₂ O	Kaersutit nat.
Bi	BiTe ₁₈ synt.	Ni	Nickelin nat.	MnO	Rhodonit nat.
Sn	PtSn synt.	Zn	Zinkblende nat.	TiO ₂	Ilmenit nat.
Cu	Kupferkies nat.	Mo	Molybdänit nat.	Pr ₂ O ₃ , Ce ₂ O ₃ ,	Glas synt.
Co	Co- Pentlandit nat.	Pb	Bleiglanz nat.	Y ₂ O ₃ , La ₂ O ₃	Glas synt.

Die Einstellungen bei den Messungen betragen: 10 nA Stromstärke des Messtrahls, 15 s Messzeit am Peak, 5 s Messzeit auf den linken und den rechten Hintergrund, 15 kV Spannung bei Silikatmineralen, 20 kV Spannung bei Erzmineralen.

Zur Vorbereitung für die Elektronenstrahl Mikrosondenanalyse wurden die untersuchten Proben poliert und mit einer leitenden Schicht aus Graphit bedampft.

2.4 Mikrothermometrie, und kombinierte Mikrothermometrie/ Raman Untersuchung an Flüssigkeitseinschlüssen

Die Mikrothermometrie dient zur näheren Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen (Fi's), wobei bei unterschiedlichen Temperaturen Phasenübergänge beobachtet werden. Bei diesen Phasenübergängen handelt es sich um das Schmelzen oder das Auflösen von festen Phasen, und die Homogenisierung von Flüssigkeiten in die flüssige oder gasförmige Phase oder in ein superkritisches Fluid. Dazu wird die Probe konduktiv am Heiz - Kühltisch erwärmt (z. B. Shepherd et al., 1985). Um etwaige Metastabilitäten auszuschließen sind nur Temperaturen aussagekräftig, die während eines Aufwärmzykluses gewonnen werden.

Zur Durchführung der Messungen wurde eine LINKHAM MDS 600 Heiz- und Gefrierapparatur in Kombination mit einem Olympus BX 60 Mikroskop und einem Computer mit darauf installierter LINKSYS32 Software verwendet. Zur Kühlung wird flüssiger Stickstoff verwendet, das Aufheizen geschieht elektrisch, wobei Temperaturmessungen in einem Temperaturbereich von ca. -190 °C bis 600 °C möglich sind. Bei den zur Kalibrierung des Heiz - Kühltisches verwendeten Standards handelt es sich um synthetisch hergestellte Flüssigkeitseinschlüsse von CO₂ ($T_m \text{ CO}_2 = -56,6 \text{ °C}$) und reinem Wasser ($T_m \text{ H}_2\text{O} = 0,0 \text{ °C}$, kritische Homogenisierung $T_h \text{ H}_2\text{O} = 374,0 \text{ °C}$).

Für die Untersuchungsarbeiten wurden doppelt polierte Fluidschliffe mit ca. 150 µm Stärke angefertigt. Diese Fluidschliffe wurden mithilfe von Aceton vom Objekträger abgelöst und in Stücke mit wenigen Millimetern Durchmesser zerteilt. Von ausgewählten Stücken wurden mittels Durchlichtmikroskop Übersichtsfotos angefertigt, und in diesen die zu untersuchenden Flüssigkeitseinschlüsse eingezeichnet und nummeriert. Anhand der so vorhandenen Fotos konnten, aufgrund von mittels der Software ImageJ ermittelten Flächenverhältnissen, die Anteile der Blasenvolumina innerhalb der einzelnen Flüssigkeitseinschlüsse abgeschätzt werden. Anschließend wurde an jedem dieser Flüssigkeitseinschlüsse Ramanspektrometrie durchgeführt, um etwaige wässrige Lösung und verschiedene feste Phasen nachzuweisen und um die Zusammensetzung der vorhandenen Gasblasen qualitativ und quantitativ zu bestimmen. Die Messwerte für Stickstoff wurden korrigiert um den Einfluss von Luftstickstoff auszugleichen. Dazu wurde für die Probe CG2 anhand von Referenzmessungen bei verschiedenen Messzeiten die Gleichung einer Ausgleichsgeraden ermittelt. Dadurch konnte für diese Probe bei allen Messungen entweder der direkt gemessene Referenzwert oder ein entsprechender, mittels der Ausgleichsgerade bestimmter Wert abgezogen werden. Bei allen übrigen Proben wurde direkt nach der Messung im Flüssigkeitseinschluss ein Referenzwert für Stickstoff jeweils bei unverändertem Fokus seitlich versetzt im umgebenden Mineralkorn gemessen. Von den so für jeden Flüssigkeitseinschluss ermittelten Messpeaks der vorkommenden Gase (gleiche Messzeit je Einschluss) wurden die Flächen ermittelt und anhand dieser Werte die entsprechenden Molfraktionen berechnet (Burke, 2001). Erst danach erfolgten die Untersuchungen am Heiz - Kühltisch, wobei in einigen Fällen auch kombinierte Ramanspektrometrie/ Mikrothermometrie Messungen durchgeführt wurden. Anhand der daraus gewonnenen Daten erfolgte die anschließende Auswertung zur Berechnung von Fluideigenschaften, wie Zusammensetzung und Dichte. Die dazu verwendeten Computerprogramme sind: ProbeCG2: Loner W; BULK; Peakfit; ICE; Nosalt

Probe CG9-C: AqSo2e

Probe CG9-D: AqSoVir; Loner AP

Probe CG16: AqSoVir, Loner 19; BULK

Probe CG19: BULK; Q2

(Bakker, 2003)

3 Petrologische und mineralogische Probenbeschreibungen

Um die Proben genau zu untersuchen wurden von ausgewählten Stücken polierte Dünnschliffe angefertigt. Dabei ist die Schliffdicke, bereits im Hinblick auf die Forschung an Flüssigkeitseinschlüssen, variabel gewählt. Zum Zwecke einer detaillierten Beschreibung dieser Dünnschliffe wurde optische Mikroskopie im Durch- und Auflicht durchgeführt. Daneben wurden zur Mineralidentifikation Ramanmessungen durchgeführt und diese Ramanmessungen mittels einer internen Datenbank des Lehrstuhls für Mineralogie und Petrologie und, vergleichend auch mit der RRUFF Internetdatenbank (www.ruff.info), ausgewertet. Von allen mittels Ramanmessung bestimmten Mineralen ist, stellvertretend, ein Spektrum angeführt. Zusätzlich wurden, an einigen Kalksilikatmineralen und besonders an seltenen Erzmineralen Messungen mittels Elektronenstrahl-Mikrosonde durchgeführt, um die chemische Zusammensetzung dieser Minerale zu bestimmen, was zum Teil erst eine Identifikation möglich machte. Die in den Abbildungen verwendeten Abkürzungen für Mineralbezeichnungen entsprechen den Empfehlungen der IUGS Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks (Jaako et Schmid, 2007).

CG1:

Gestein: Die Probe CG1 ist bereits äußerlich als grauer Granitoid mit einem ca. 1,5 cm mächtigen, leukraten Gang anzusprechen.

Dünnschliff: 30 µm Schliffdicke

Es handelt sich um dunkelgrauen Granit mit bimodaler Korngrößenverteilung mit je durchschnittlich ca. 500 µm und 1,5 mm Korngröße. Der Mineralbestand setzt sich zu ca. 60 % aus Feldspäten, welche großteils meist parallel verzwillingten Plagioklas, aber auch zonar aufgebauten Alkalifeldspat repräsentieren, zusammen. Ungefähr 20 % bestehen aus meist rotbraunem, teilweise auch grünlichem Biotit (Abb. 3.1).

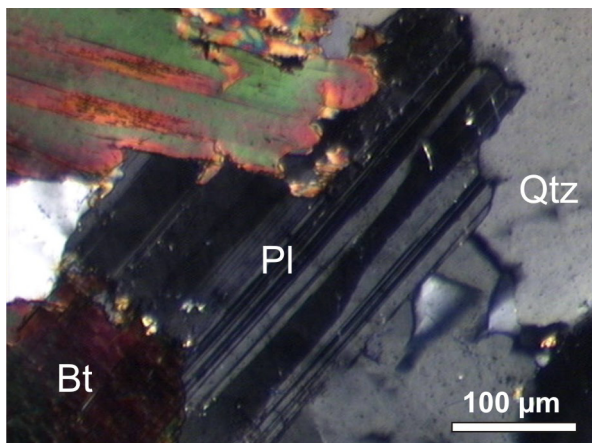


Abb. 3.1, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, Gefüge des Granitoids mit Plagioklas (Pl), Quarz (Qtz) und Biotit (Bt)

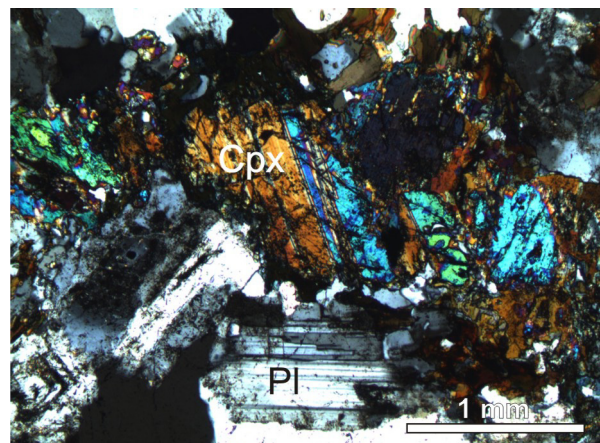


Abb. 3.2, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, Randlich alterierter Klinopyroxen (Cpx) in Granitoid

Dieser Biotit enthält häufig kleine transluzente Einschlüsse von Zirkon mit hohem Relief. Rund um diese Zirkone sind im Biotit Strahlungsschäden vorhanden, welche deutlich an pleochroitischen Höfen erkennbar sind (Abb. 3.3, Abb. 3.4).

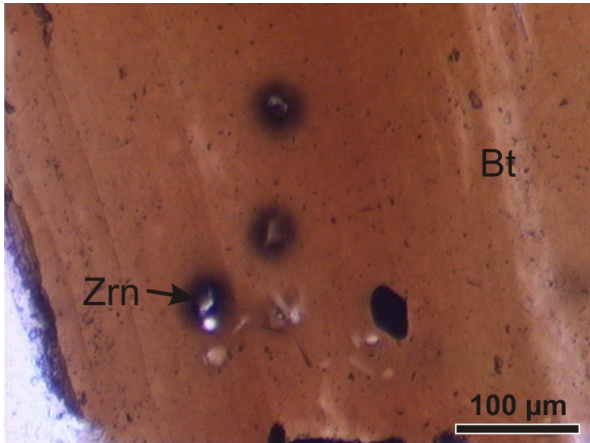


Abb. 3.3, Mikroskopaufnahme im Durchlicht mit Polarisator, Zirkoneinschlüsse (Zrn) mit Strahlungssaum in Biotit (Bt)

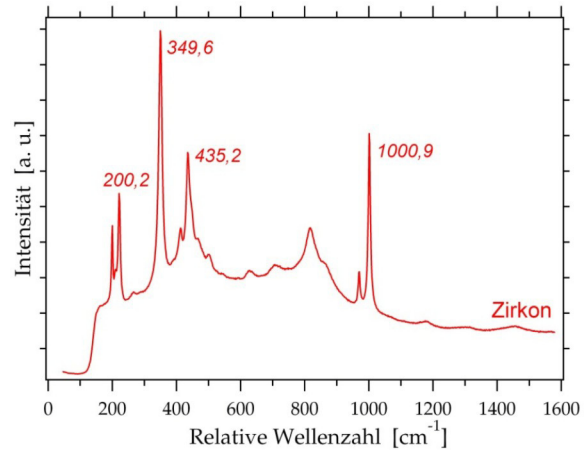


Abb. 3.4, Ramanspektrum von Zirkon

Daneben ist ca. 15 % Quarz und ca. 1 % von grünem, stängelförmigem Klin amphibol vorhanden, zudem etwas Chlorit, welcher aus alteriertem Biotit oder Klin amphibol entstanden ist und oft noch mit diesen verwachsen sein kann. Außerdem sind wenige kleine Apatite mit ca. 100 µm Durchmesser und einige einzelne, teils größere Körner von farblosem Klinopyroxen, welcher randlich stark zu Amphibol alteriert ist, vorhanden (Abb. 3.2). Als Erzminerale treten oft Ilmenit, welcher häufig mit Biotit assoziiert ist oder als Einschluss in diesem vorkommt und selten sehr kleine Pyrite auf.

In diesem Granit ist ein leokrater, hellgrauer, ca. 1,5 cm mächtiger Gang eingelagert, welcher etwas feinkörniger als der Granit ausgebildet ist, wobei die Korndurchmesser generell bei ca. 500 µm bis 1 mm liegen. Dieser besteht zu ca. 30 % aus grob undulös auslöschend ausgebildetem Quarz, zu ca. 30 % aus feinst, in Form von myrmekitischem Gefüge, mit Quarz verwachsenem Alkalifeldspat (Abb. 3.5, Abb. 3.6), zu ca. 20 % aus Feldspat, hauptsächlich Alkalifeldspat (Abb. 3.8).

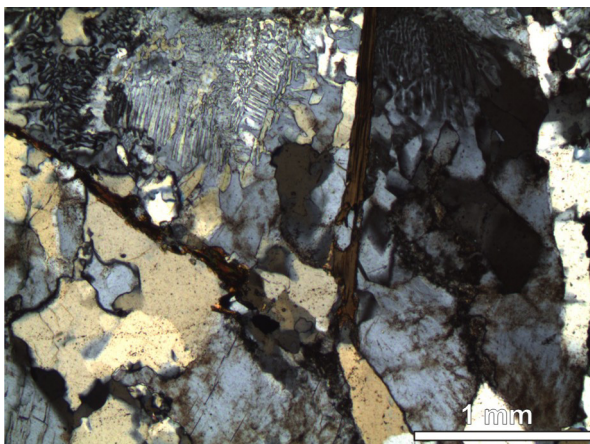


Abb. 3.5, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, myrmekitisches Gefüge in Granitoid

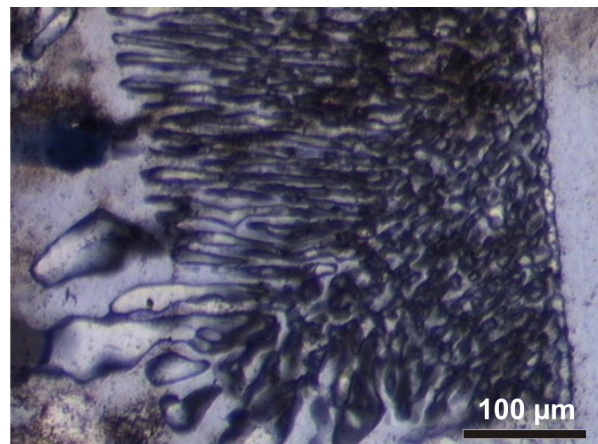


Abb. 3.6, Mikroskopaufnahme im Durchlicht mit Polarisator, Detailansicht des myrmekitischen Reaktionsgefüges zwischen Quarz und Alkalifeldspat

In diesem Alkalifeldspat sind stellenweise winzige, nur bei großen Vergrößerungen gut zu erkennende Nadeln, möglicherweise Silimanit, eingelagert (Abb. 3.7).

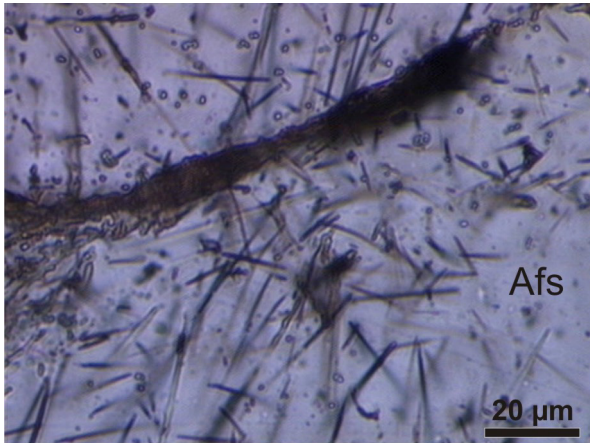


Abb. 3.7, Mikroskopaufnahme im Durchlicht mit Polarisator, feinste nadelartige Einschlüsse in Alkaliefeldspat (Afs)

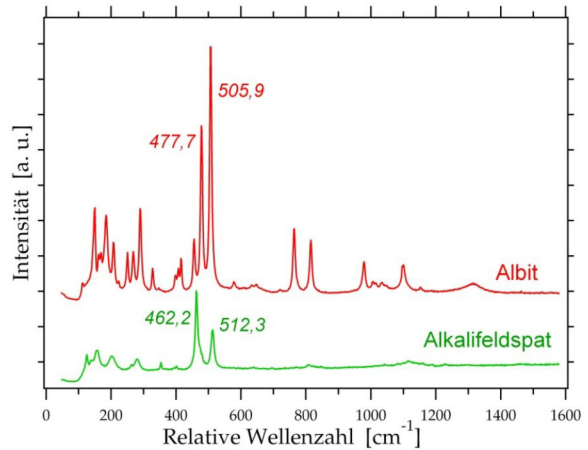


Abb. Raman 3.8, Die Ramenspektren von Albit und Alkaliefeldspat spiegeln die strukturelle Ähnlichkeit der beiden Minerale wider

In diesem leukraten Gang ist vergleichsweise merklich weniger, ca. 5%, dunkelbrauner Biotit vorhanden, wobei im Nahbereich von Biotit selten etwas Magnetit anzutreffen ist. Daneben sind sehr wenige, sehr kleine Körner von Pyrit und Markasit mit Biotit vergesellschaftet.

CG2:

Gestein: Es handelt sich im Handstück um einen grauen, zum Teil deutlich bräunlich und grünlich altertiert erscheinenden Granitoid mit einer ca. 8 mm mächtigen Quarzader.

Dünnschliff: 30 µm Schliffdicke

Im Dünnschliff erkennbar ist ein recht grobkörniges, magmatisches, granitoides Ausgangsgestein, welches lokal verschieden stark altertiert ist. Die Komponenten bestehen zu ca. 40 % aus undulösem, oft randlich stark angegriffenem Quarz, mit bimodaler Korngrößenverteilung und Korngrößenmaxima bei ca. 100 µm und 1 mm und zu ca. 20% aus braunen Biotitplättchen mit ca. 1 mm Durchmesser, welche manchmal kleine Einschlüsse von radioaktivem Zirkon mit deutlichen Haloen enthalten, wobei dieser Biotit meist randlich stark angegriffen oder oft gänzlich zu hellgrünem Chlorit altertiert ist (Abb. 3.9). Ungefähr 30 % stellen Feldspat, meist Plagioklas dar, mit Korndurchmessern von ca. 1 mm bis 5 mm, welcher häufig altertiert und zu sekundären Silikaten und feinem Kalzit umgewandelt ist (Abb. 3.10). Kalzit ist auch entlang schmaler Fugen und als Füllung zwischen Korngrenzen vorhanden.

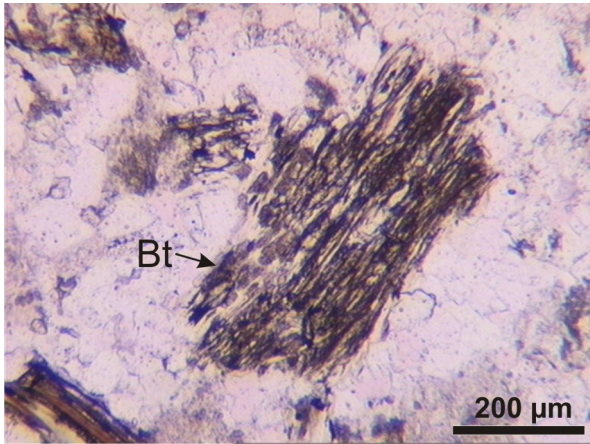


Abb. 3.9, Mikroskopaufnahme im Durchlicht mit Polarisator, stark alterierter Biotit (Bt)

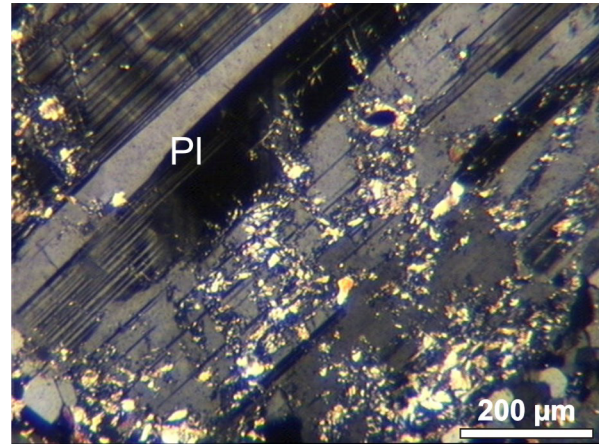


Abb. 3.10, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, stark alterierter Plagioklas (Pl)

Als akzessorische Minerale kommen Apatit (Abb. 3.11) in Form kleiner farbloser, meist idiomorphe Kristalle, bräunlicher Titanit (Abb. 3.13) und kleine Zirkone vor (Abb. 3.12).

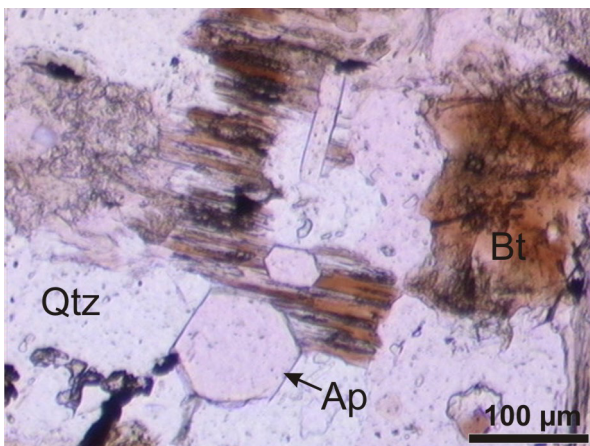


Abb. 3.11, Mikroskopaufnahme im mit Polarisator, akzesorischer, idiomorpher Apatit (Ap)

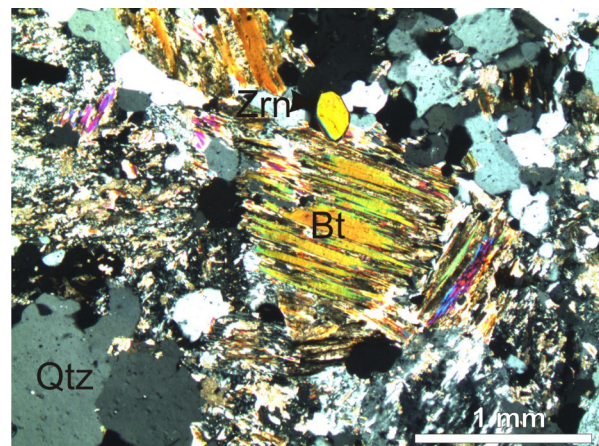


Abb. 3.12, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren Akzesorischer Zirkon (Zrn)

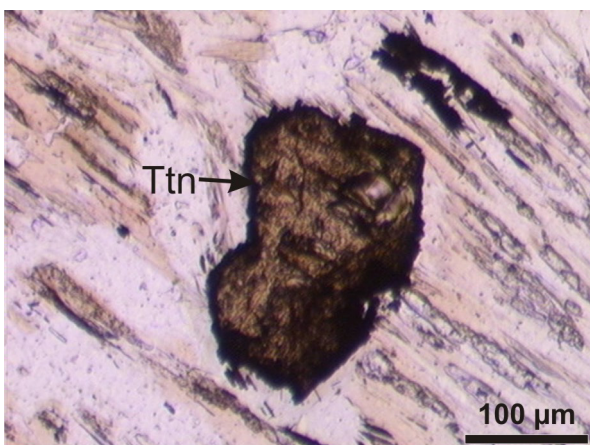


Abb. 3.13, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei parallelgestellten Polarisatoren, Titanit (Ttn)

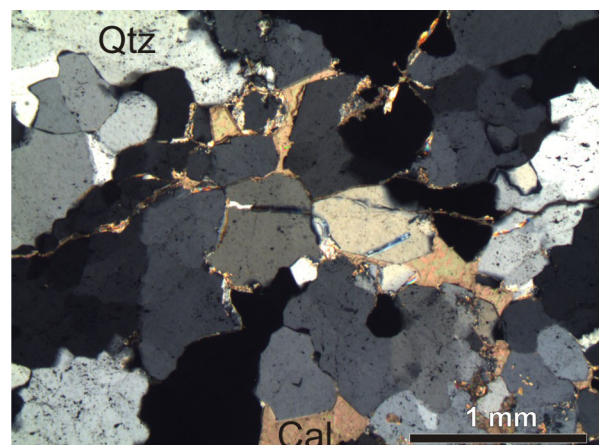


Abb. 3.14, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, Quarzader (Qtz), welche wiederum von feinsten Kalzitäderchen, seltener Dolomit, durchzogen ist

Lagenweise ist das magmatische Ausgangsgestein fast vollständig zu sekundären Silikatmineralen und Kalzit alteriert, wobei die Alterationsprodukte meist sehr feinkörnig sind. Ca. 5 % stellen opake Erzminerale mit wenige μm bis 1 mm Korndurchmesser dar. Dabei handelt es sich meist um Titanoxid Varietäten, wobei Rutil, Anatas und Brookit nachgewiesen werden können, welche oft feinfilzig miteinander verwachsen sind. Daneben sind oft auch Eisenoxyde/ hydroxide, selten Pyrit in Form von kleinen Körnern und sehr selten kleine Kupferkieskörner vorhanden.

Der Quarzgang besitzt ca. 8 mm Mächtigkeit und besteht zu ca. 95 % aus Quarz mit Korndurchmessern von ca. 200 μm bis 1 mm. In diese Quarzader sind sehr feine Karbonatadern, welche sich aus Kalzit zusammensetzen und manchmal, als Umrandung von Quarzkörnern oder selten in Kavernen Aggregate von Dolomit mit bis zu 1 mm Durchmesser, eingelagert (Abb. 3.14). Außerdem sind in der Quarzader als Erzminerale wenige, sehr feinkörnige Körner von Pyrit und Arsenkies vorhanden.

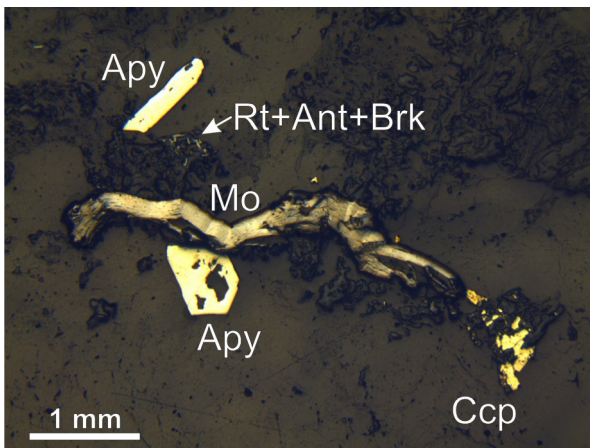


Abb. 3.15, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, verschiedene Erzminerale im Randbereich der Quarzader

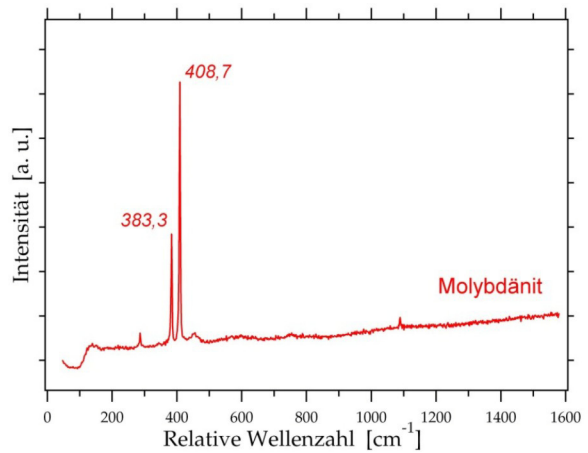


Abb. 3.16, Ramanspektrum von Molybdänit

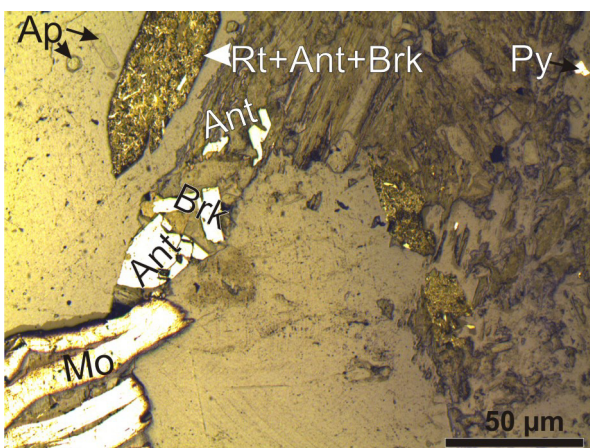


Abb. 3.17, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, Detailansicht verschiedener Erzminerale

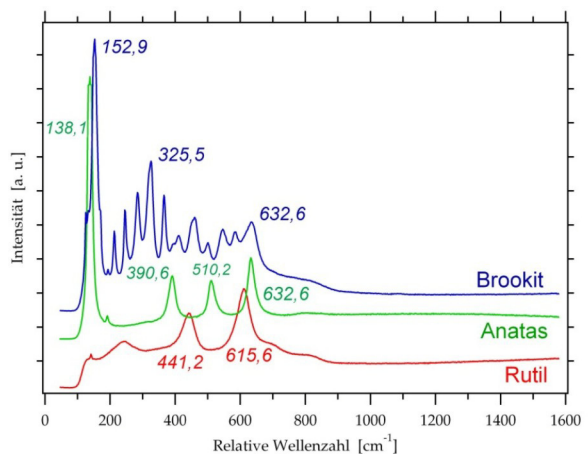


Abb. 3.18, Ramanspektren von Rutil, Anatas und Brookit

An einem seitlichen Randstreifen der Quarzader befinden sich größere, länglich bandförmige Aggregate von stark anisotropem Molybdänit, welcher mit teilweise idiomorph ausgebildetem

Arsenkies, Aggregaten von zum Teil miteinander verwachsenen Rutil, Anatas und Brookit und sehr wenig Kupferkies und Pyrit vergesellschaftet ist (Abb.3.15, Abb. 3.16). Die verschiedenen Titanoxide treten häufig direkt nebeneinander auf und stellen zum Teil Alterationsprodukte dar, wobei häufig noch der Umriss des ursprünglichen Mineralen erkennbar ist (Abb. 3.17, Abb. 3.18).

CG3:

Gestein: Es handelt sich im Handstück um äußerlich grünen Skarn, welcher stark mit Kupferkies durchzogen ist und eine Quarzader enthält, die reich an Arsenkies ist.

Dünnschliff: 30 µm Schliffdicke

Der Skarn ist aus deutlich heterogenen Bereichen aufgebaut welche aus teilweise stark alterierten Mineralen zusammengesetzt sind. Sehr häufig ist bläulich bis grünlicher Chlorit mit graugrüner Interferenz, daneben bräunlicher bis fast farbloser Chlorit mit hellgrauer Interferenz, mit Durchmesser von bis zu 200 µm vorhanden (Abb. 3.19). Immer wieder ist Kalzit mit sehr variablen Korngrößen von annähernd 0 µm bis ca. 6 mm eingelagert, daneben sind häufig, oft als Alterationsprodukt feinstkörnige Glimmerminerale mit zum Teil gelblicher Eigenfarbe, und in stark alterierten Bereichen immer wieder ein wenig Quarz eingelagert.

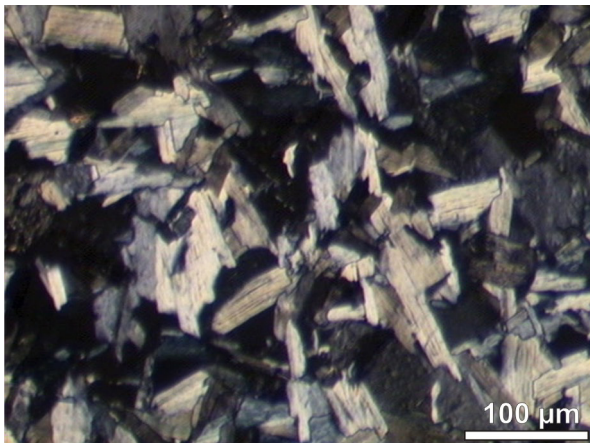


Abb. 3.19, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, Gefüge von Chlorit (Chl)

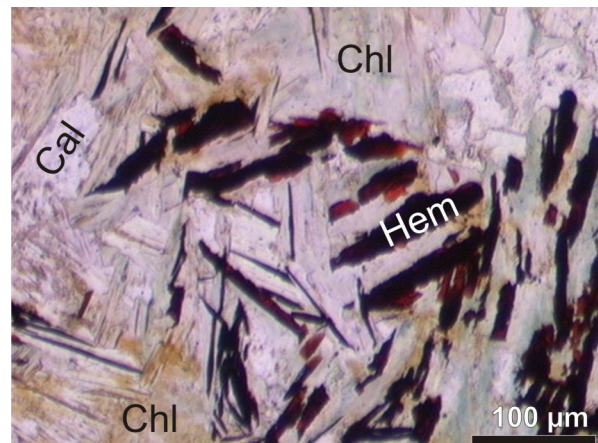


Abb. 3.20, Mikroskopaufnahme im Durchlicht mit Polarisator, schuppenförmiger Hämatit (Hem)

Als Erzminerale ist häufig Kupferkies, welcher intern oft löchrig erscheint und randlich stark zerfressen ist, und sich oft in der Nähe von kalzitreichen Partien befindet, vorhanden. Daneben, eher an Schichtsilikate gebunden, kommen feine, intern gesprenkelt- alterierte, schuppchenförmige Aggregate von grauem, aber auch feine Plättchen von rot durchscheinendem Hämatit, vor (Abb. 3.20). Zwischen Mineralkörnern sind feine Massen von Limonit vorhanden. Auch treten in Bereichen von Chlorit häufig Körner von teils idiomorph ausgebildetem Arsenkies, welcher meist von einem schmalen Saum von Kalzit umgeben ist auf, wobei diese Kalzitumrandungen untereinander mittels feiner Äderchen verbunden sind (Abb. 3.21).

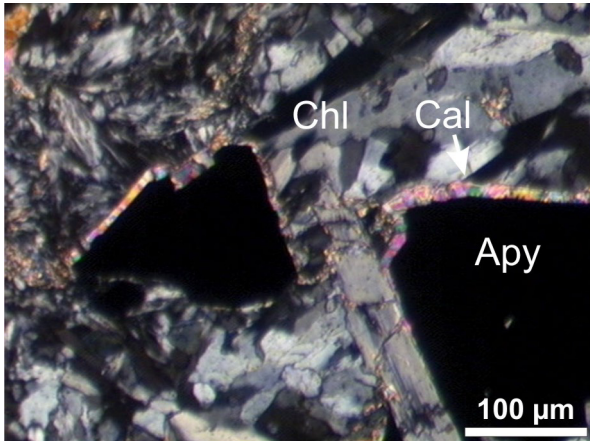


Abb. 3.21, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, Arsenkies (Apy) mit Kalzitsaum (Cal) in Chlorit (Chl)

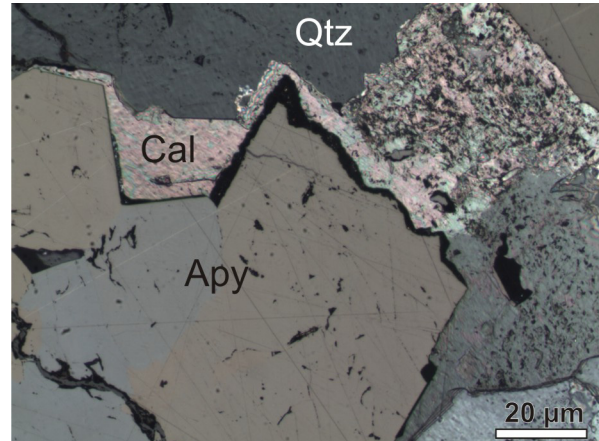


Abb. 3.22, Mikroskopaufnahme im Durch- und Auflicht bei parallelgestellten Polarisatoren, Arsenkies (Apy) mit Kalzitsaum (Cal) in Quarzader (Qtz)

Im Skarn eingelagert ist eine mehrere Zentimeter starke Quarzader, welche fast ausschließlich, zu ca. 95 %, aus Quarzkörnern mit bis zu 5 mm Korndurchmesser, besteht. Es ist eine lagenweise Anordnung der Quarzkomponenten erkennbar, wobei die Kornränder teilweise etwas angegriffen und manchmal verwaschen erscheinen. In dieser Quarzader sind auch feinste Kalzitgängen vorhanden, wobei entlang dieser Kalzitgänge immer wieder Bereiche mit größeren, Kalzitkörnern mit bis zu 5 mm Durchmesser anzutreffen sind. Am Rand der Quarzader, am Übergang zum Skarn treten gehäuft Sulfide auf. Es handelt sich hauptsächlich um deutlich anisotropen Arsenkies, mit Korndurchmessern bis zu 3 mm, der kleine, etwas hellere Einschlüsse von Löllingit aufweisen kann. Die Arsenkieskomponenten in der Quarzader sind, mit denen im Chlorit vergleichbar, oft von einem schmalen Saum von Kalzit umgeben und auch in Klüften innerhalb von Arsenkieskörnern befindet sich häufig Kalzit (Abb. 3.22, Abb. 3.23). Manche Arsenkieskörner enthalten kleine, isotrope, graue Einschlüsse, teilweise sind, besonders entlang von Korngrenzen zwischen Arsenkies und Löllingit, sehr kleine, bunt angelaufene Einschlüsse vorhanden, wobei es sich um gediegen Bismuth handeln dürfte (Abb. 3.24).

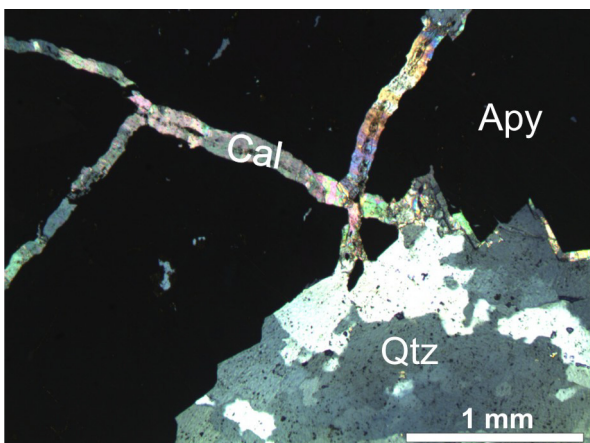


Abb. 3.23, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, mit Kalzit (Cal) gefüllte Klüfte von Arsenkies (Apy) in Quarzader (Qtz)

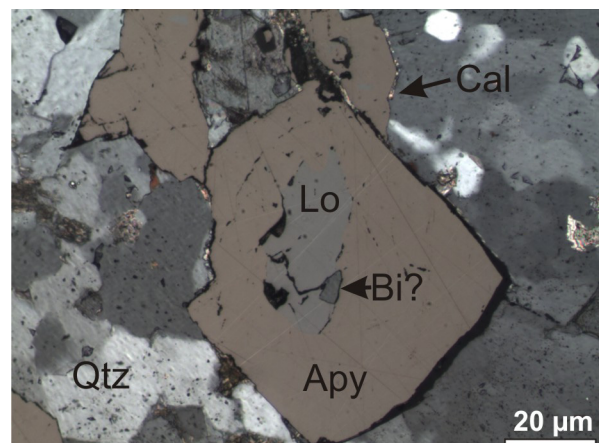


Abb. 3.24, Mikroskopaufnahme im Durch- und Auflicht bei parallelgestellten Polarisatoren, Arsenkies (Apy) in Quarzader (Qtz) mit Einschluss von Löllingit (Lo) und wahrscheinlich Bismuth (Bi) an Kornkontakt

Auch kommen in der Quarzader selten kleine Aggregate von Kupferkies vor, welcher häufig mit grauer isotroper Zinkblende, seltener mit sehr kleinen hellgelben und mattgelben, leicht anlaufenden Erzmineralen verwachsen sind.

CG4:

Gestein: Es handelt sich im Handstück um grauen bis graugrünen Skarn, Exoskarn, welcher mit deutlich kristallinem Karbonat stark gebändert gelagert ist.

Dünnschliff: 30 µm Schliffdicke

Die Skarnbänder scheinen lagenförmig aufgebaut zu sein, wobei sich die Korngrößen und der Mineralbestand je nach Lage stark unterscheiden. Im Skarn ist reichlich kubischer, isotroper, sehr feinkörniger Granat aus der Grossular - Andradit Mischungsreihe, mit Korngrößen von annähernd 0 µm bis 100 µm, vorhanden (Abb. 3.25). Es scheint so als ob recht große Granatpartien entlang Zonierungen oder gitterartiger Strukturen zu Klinopyroxen alteriert sind. So treten Lagen mit sehr viel, fast farblosem bis leicht grauem Klinopyroxen mit bunter Interferenz und Korndurchmessern von wenigen µm bis 100 µm auf. In einem Randbereich zu Marmor findet sich ein einzelner großer Klinopyroxenkristall mit ca. 4 mm Durchmesser. Immer wieder finden sich größere Kristalle von grauem, zoniertem Vesuvianit, mit ca. 100 µm bis 5 mm Durchmesser. Als Einschluss in einem Vesuvianitkristall ist neben Kalzit ein größerer dreiecksförmiger Bereich erkennbar, welcher aus feinkörnigem Chlorit aufgebaut ist (Abb. 3.26).

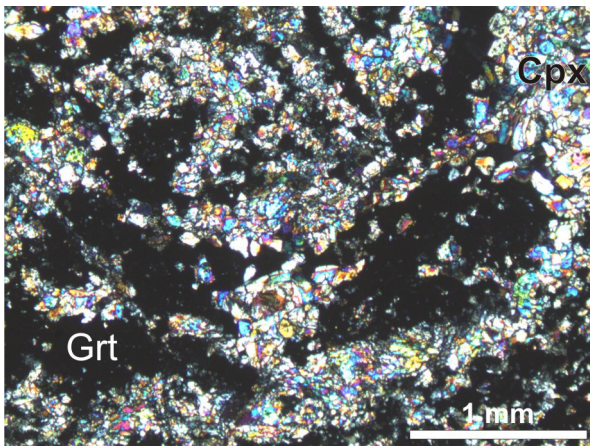


Abb.3.25, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, Granat (Grt) teilweise zu Klinopyroxen (Cpx) alteriert

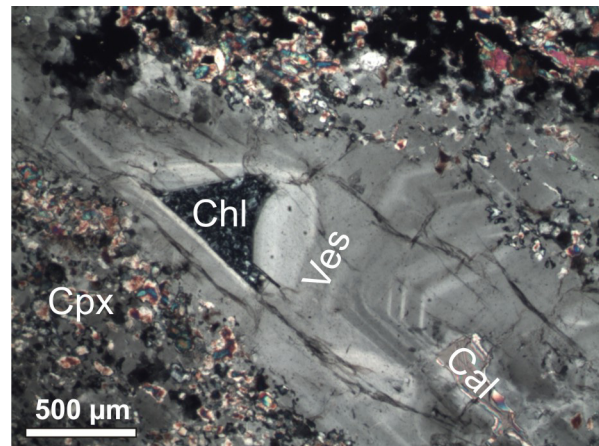


Abb. 3.26, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, Vesuvianit (Ves) mit Einschlüssen von Kalzit (Cal) und Chlorit (Chl)

Chlorit kommt auch an anderen Bereichen im Skarn als feine Einlagerung vor. Im Skarn verstreut, besonders im Übergang zu Marmor, können kleine, Körner von Arsenkies, Kupferkies und Pyrit eingelagert sein (Abb. 3.28).

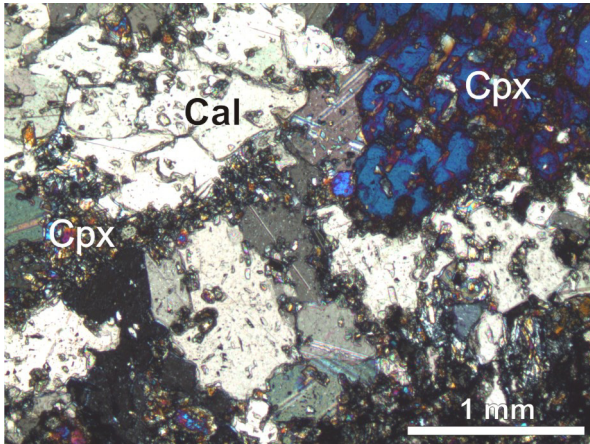


Abb. 3.27, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, wenig scharf ausgebildeter Kontakt zwischen Kalzit- Marmor (Cal) und Klinopyroxen- Skarn (Cpx), mit feinkörnigem Klinopyroxen entlang Kalzitkornkontakten

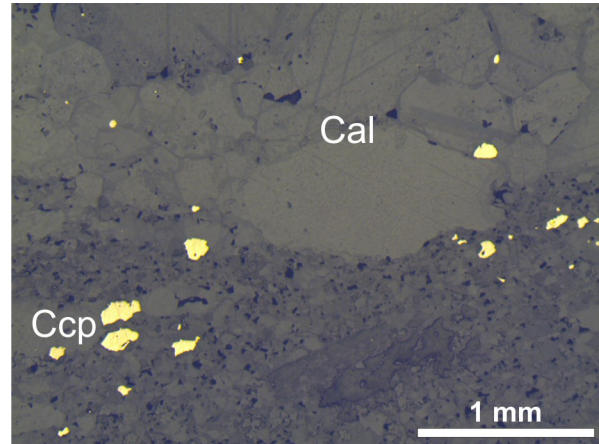


Abb. 3.28, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, Körner von Kupferkies (Ccp) am Kontakt von feinkörnigem Klinopyroxen und Kalzit (Cal) eingelagert

Bei den karbonatischen Bereichen handelt es sich um kontaktmetamorph rekristallisierten Marmor, bestehend aus, häufig polysynthetisch verzwilligtem Kalzit mit ca. 1 mm Korndurchmesser. Der Kontakt zwischen Karbonat und Skarn ist meist wenig scharf ausgebildet, in solchen Randbereichen ragt teilweise sehr feinkörnige ausgebildeter Klinopyroxen aderförmig entlang von Kalzit-Kornkontakten ausgehend von Skarn in den Marmor (Abb. 3.27). In einzelnen Kalzitkörnern, besonders am Kontakt zu Skarn sind, zum Teil recht häufig, winzige Einschlüsse von, meist Klinopyroxen vorhanden (Abb. 3.29, Abb. 3.30). Verstreut im Marmor sind kleine helle, teilweise idiomorphe Pyrite und, am Kontakt von Marmor und Diopsid- Skarn selten kleine, unregelmäßig geformte Körner von Kupferkies eingelagert.

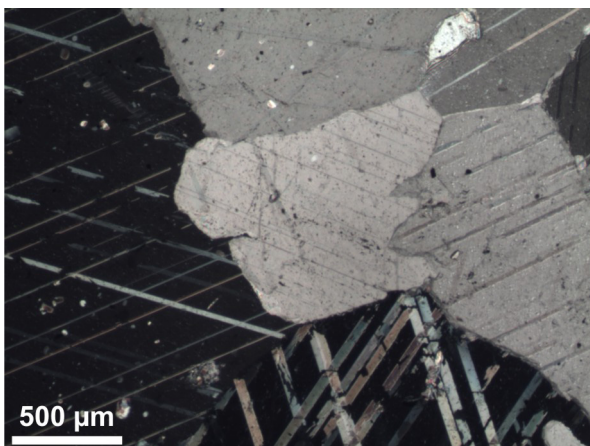


Abb. 3.29, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, Detailansicht von kontaktmetamorph rekristallisiertem Marmor

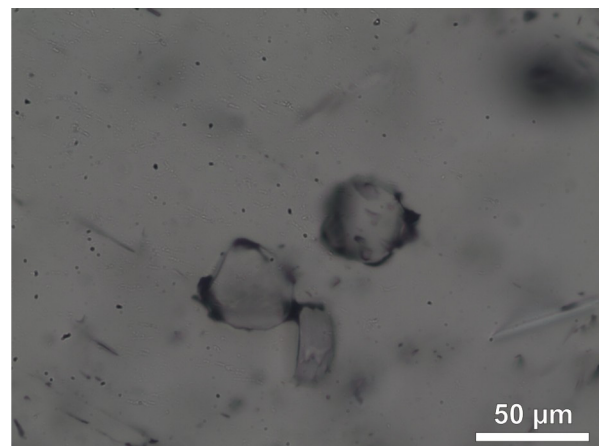


Abb. 3.30, Mikroskopaufnahme im Durchlicht mit Polarisator, kleine Einschlüsse von Klinopyroxen in Kalzit

CG5:

Gestein: Im Handstück oberflächlich verwitterter dunkelgrauer bis grünlicher Skarn mit heller Quarzader.

Dünnschliff: 30 µm Schlifffdicke

Der Skarn besitzt einen lagenförmigen, bezüglich hauptsächlich Mineralbestand und Korngröße recht heterogenen Aufbau. Das dominierende Mineral im Skarn ist Klinopyroxen aus der Diopsid-Hedenbergit Mischungsreihe mit, je von der Lage im Skarn abhängigen Körngrößen von annähernd 0 µm bis 500 µm, hell, grünlicher Eigenfarbe, guter Spaltbarkeit und zu dieser schiefer Auslöschung (Abb. 3.33). Daneben tritt heller, zum Teil stark alterierter Plagioklas mit leicht bräunlicher Eigenfarbe und ca. 2 mm Korngröße auf, welcher randlich deutlich zu sekundären Silikatmineralen umgewandelt sein kann. Im Skarn ist in manchen Bereichen lagenförmig angereichert Quarz, mit Korngrößen von 500 µm bis 1 mm erkennbar. Immer wieder sind auch kleine, oft typisch idiomorphe Kristalle von Titanit mit leicht gelblicher bis rosarötlicher Eigenfarbe und deutlichem Pleochroismus eingelagert, welche stark gesprenkelte, bunte Interferenzfarben aufweisen (Abb. 3.31, Abb. 3.32).

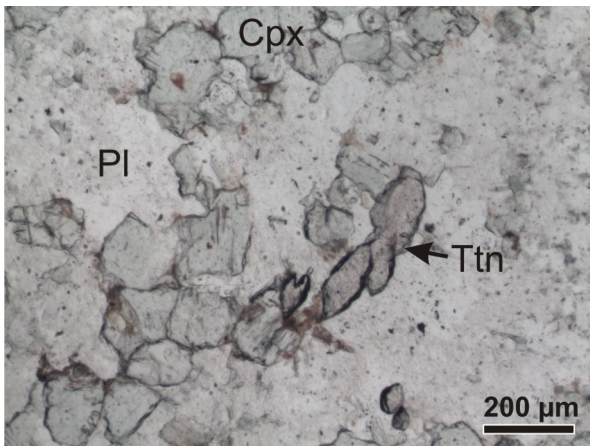


Abb. 3.31, Mikroskopaufnahme im Durchlicht mit Polarisator, Plagioklas, (Pl) Klinopyroxen (Cpx) und Titanit (Ttn)

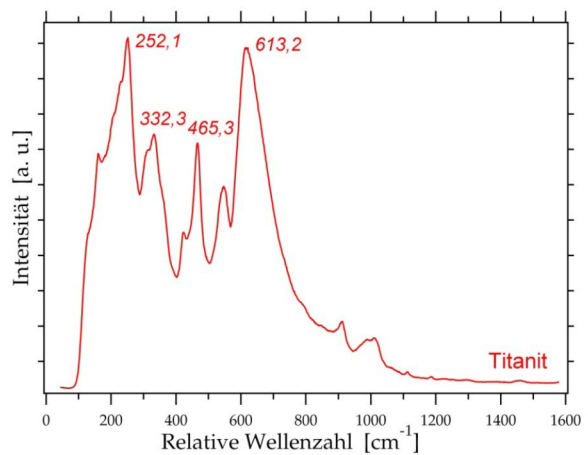


Abb. 3.32, Ramanspektrum von Titanit

Vesuvianit kommt als größere Masse mit bräunlicher Eigenfarbe und gut erkennbarem Zonarbau, umgeben von deutlich feinkörnigeren Skarnmineralen, besonders Klinopyroxen aber auch Quarz und Dolomit vor (Abb. 3.34). In kleinen isolierten Bereichen im Skarn ist als Zwickelfüllung Kalzit erkennbar. Außerdem ist in manchen Bereichen Chlorit vorhanden.

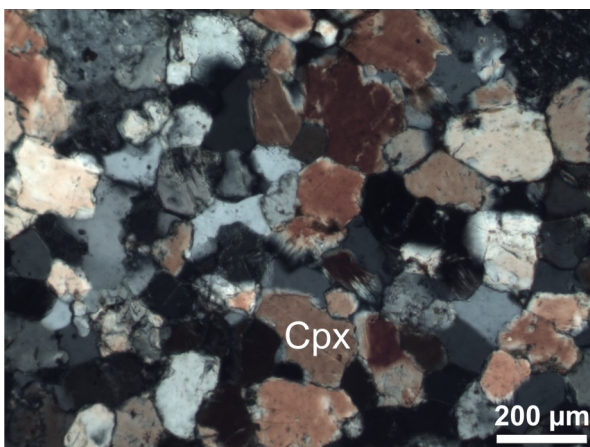


Abb. 3.33, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, Gefüge mit Klinopyroxen (Cpx)

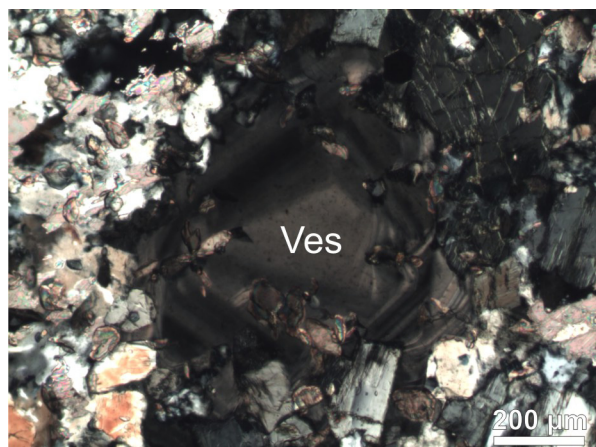


Abb. 3.34, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, zonierter Vesuvianit (Ves)

Es treten im Skarn nur wenige, fein verteilte Erzminerale auf, es handelt sich um kleine Körner von Kupferkies, seltener Pyrit und sehr selten, dafür etwas größere Einzelkörner von Arsenkies, welcher eine stark zerfressene Erscheinung aufweist (Abb. 3.35).

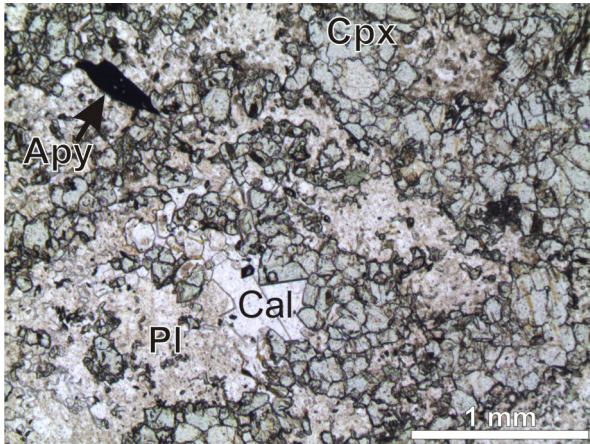


Abb. 3.35, Mikroskopaufnahme im Durchlicht mit Polarisator, Skarn mit Plagioklas (Pl), Klinopyroxen (Cpx), bereichsweise Kalzit (Cal) und Arsenkies (Apy)

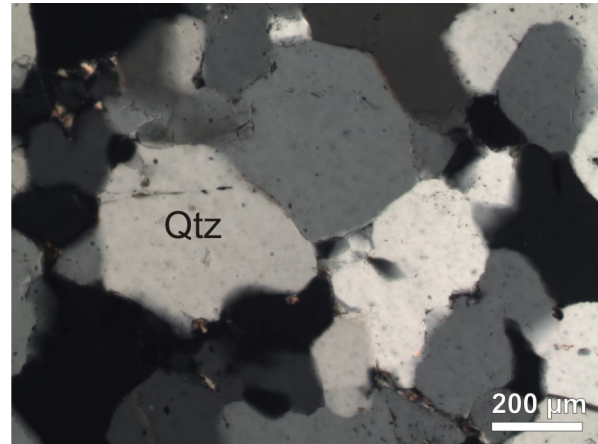


Abb. 3.36, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, rekristallisierter Quarz (Qtz) in Quarzader

Die Quarzader besteht fast ausschließlich aus stark rekristallisiertem Quarz und besitzt eine Mächtigkeit von ca. 3 mm. Die Quarzkörner bilden randlich eher feinkörnigere Streifen mit ca. 100 µm Korngröße und im Zentrum der Ader eine gröbere Lage mit ca. 500 µm Korndurchmesser. Im Kontaktbereich zwischen Quarzkörnern befinden sich manchmal sehr schmale Streifen von bräunlichem, alteriert erscheinendem Material (Abb. 3.36). Bis auf ein einziges, winziges Hämatitkörnchen, welches im Auflicht grau, im Durchlicht rot durchscheinend erscheint, und ein einzelnes Pyritkörnchen am Übergang zwischen Skarn und Quarz, sind in der Quarzader keine Erzminerale erkennbar.

CG6:

Gestein: Es handelt sich um eine fibrös erscheinende helle Ader mit mehreren cm Mächtigkeit, was darauf schließen lässt, dass sich eine Kluft während der Ablagerung der Kluftfüllung weiter geöffnet haben muss.

Dünnschliff: 30 µm Schliffdicke

Randlich ist diese Ader von Dolomit umgeben, wobei die Korngröße im mm- Bereich liegt. Nur an einer Stelle greift ein fibröser Quarzgang in diesen Dolomitbereich ein. Die fibröse Ader selbst besteht aus sich abwechselnden, im rechten Winkel auf die Gesamtader stehenden Lagen von Quarz und Dolomit, mit jeweils ca. 1 mm bis 5 mm Stärke. Diese Lagen sind recht regelmäßig, im Abstand von ca. 1 cm von zur Ader parallelen, maximal 1 mm mächtigen Klüften unterbrochen, welche wiederum mit grünlichem Material gefüllt sind (Abb. 3.37).

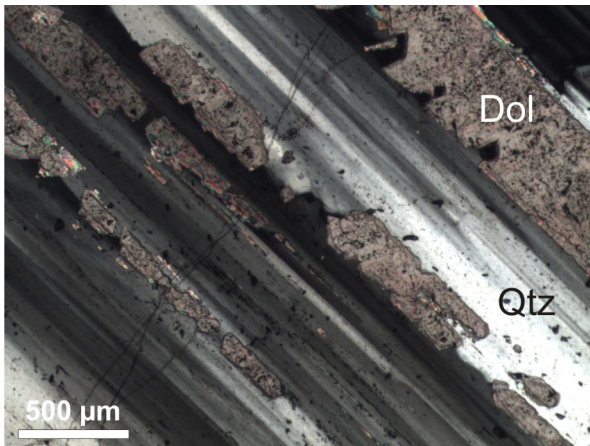


Abb. 3.37, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, fibröse Ader

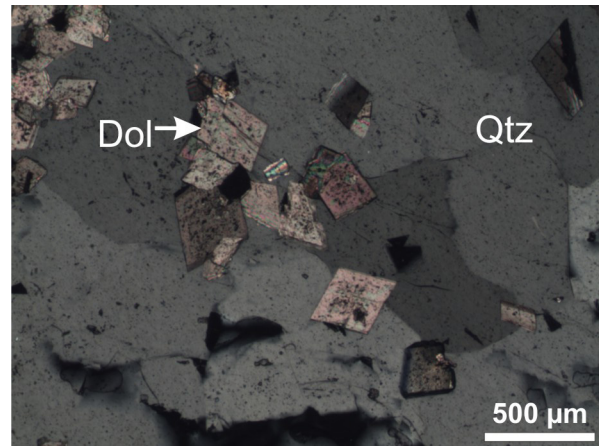


Abb. 3.38, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, idiomorpher Dolomit (Dol) in Quarz (Qtz)

Die fibrösen Streifen, welche aus Dolomit bestehen, erweisen sich unter dem Mikroskop als aneinander gereihte Einzelkristalle von Dolomit mit schwach bräunlicher Eigenfarbe und verwaschenem Erscheinungsbild, mit zum Teil mehreren Millimetern Korngröße. Manchmal ist zu erkennen, dass Quarz idiomorphen Dolomit umschließt, also sich später gebildet haben muss (Abb. 3.38). Der fibröse Quarz erscheint innerhalb der Quarzstreifen als durchgehende, fibröse und undulös auslöschende Masse. Als Erzmineral konnten nur sehr wenige, in Dolomit eingelagerte, sehr kleine Körner von grauem Rutil mit gelblichen bis rötlichen Innenreflexen erkannt werden.

CG7:

Gestein: Im Handstück als großteils helles, kristallines Karbonat mit grauen, ca. 1 cm mächtigen Sulfidadern anzusprechen.

Dünnschliff: 30 µm Schliffdicke

Das Karbonat ist kontaktmetamorph zu Marmor umgewandelt und besteht aus gesprenkelt bis spätig erscheinendem Kalzit und meist klarem Dolomit, mit häufig ca. 1 mm Korngröße. In Dolomitmörnern konnten winzige Einschlüsse von Titanit und Glimmermineralen nachgewiesen werden. In manchen Bereichen dieses Karbonates sind Olivinkristalle mit sehr reiner Forsteritzusammensetzung und bis zu 800 µm Korngröße vorhanden (Abb. 3.39, Abb. 3.40).

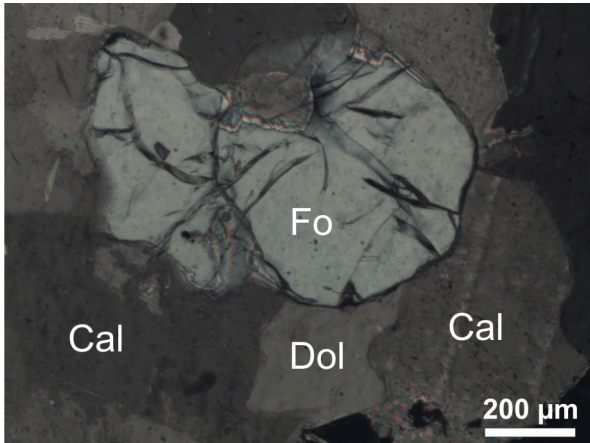


Abb. 3.39, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, Forsteritkristall (Fo) in Marmor

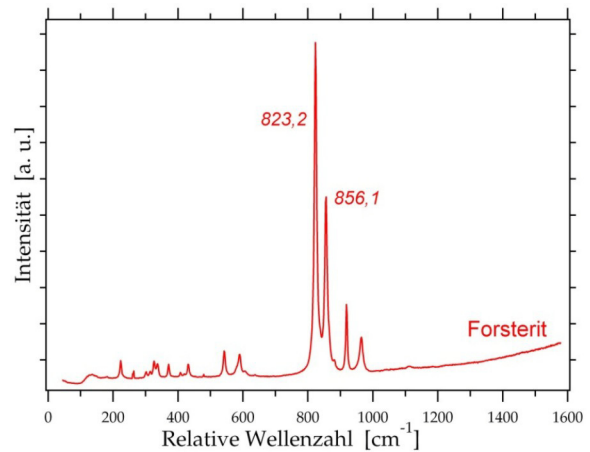


Abb. 3.40, Ramanspektrum von Forsterit

Es ist zu erkennen, dass die direkt an den Forsterit angrenzenden Karbonatkörner sowohl Kalzit als auch Dolomit darstellen können (Abb. 3.41).

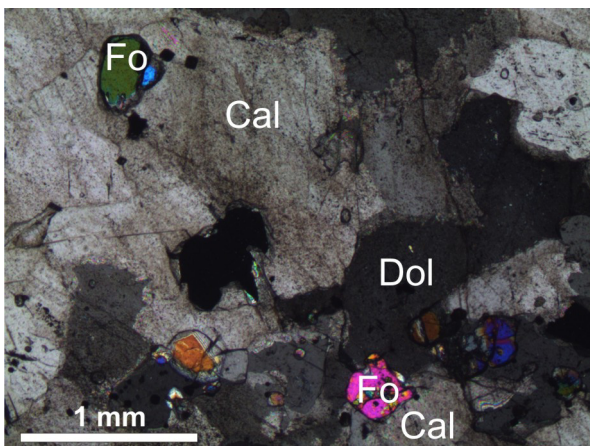


Abb. 3.41, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, Marmor mit Kalzit (Cal), Dolomit (Dol) und Forsterit (Fo)

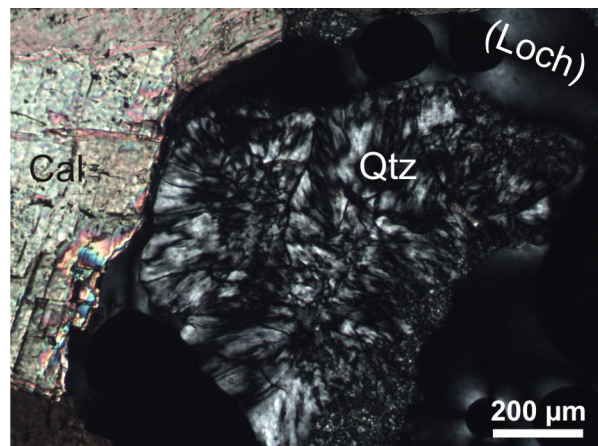


Abb. 3.42, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, sternförmige Textur bei Quarz (Qtz)

Feinverteilt im Karbonat kommen kleine Arsenkieskörner, Pyrit, und deutlich seltener sehr kleine Kupferkieskörner vor. Direkt in diesem Karbonat sind auch einige wenige, kleine Körner von stark anisotropem Markasit, mit äußerlich runder Form, und stark zerklüftet, zerfressen erscheinendem Aussehen, eingelagert. Außerdem weisen diese Körner starke Anlauffarben und randlich manchmal geringe Verwachsungen mit Zinkblende auf. Auch sind im Karbonat wenige kleine Einzelkörner von isotropem Magnetit mit oft deutlich idiomorphem Habitus eingelagert. Dieser Magnetit enthält etwas Titan und kann manchmal mit Pyrit verwachsen sein. Direkt von Kalzit und Dolomitkörnern umgeben, fällt ein komplex aufgebautes Sulfidkorn mit ca. 500 µm Korngröße auf. Es besteht hauptsächlich aus stark anisotropem Magnetkies, randlich sind jedoch noch gelber Kupferkies, graue Zinkblende und Füllöppit ($Pb_3Sb_8S_{15}$), mit anisotroper, bläulichgrauer Erscheinung, angelagert (Abb. 3.43, Abb. 3.44).

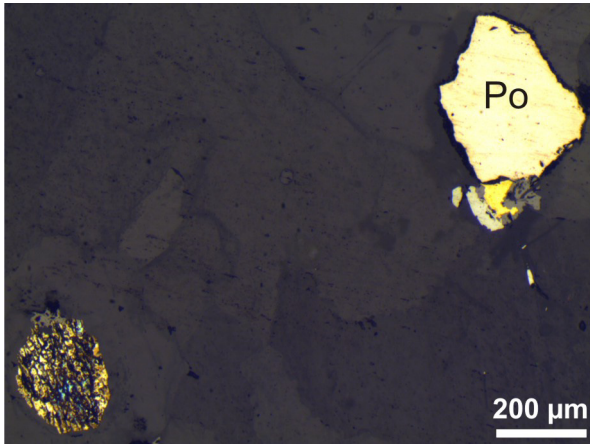


Abb. 3.43, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, komplex aufgebaute Erzminerale

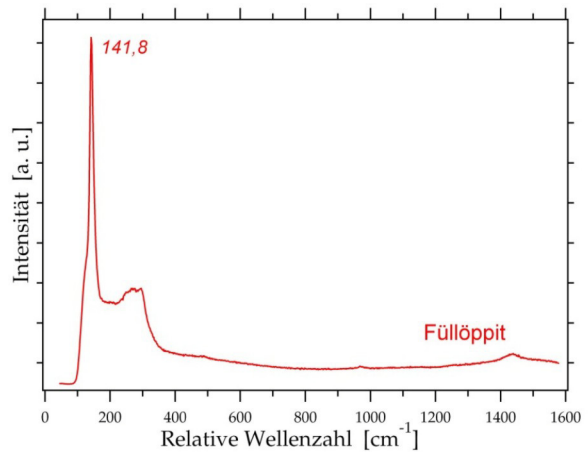


Abb. 3.44, Ramanspektrum von Füllöppit

Zusätzlich findet sich noch ein weiteres, aus mehreren Mineralen aufgebautes Sulfidkorn mit ca. 95 µm Korngröße. Dieses besteht aus einem Kern aus Magnetkies, welcher mit kleinen Sprenkeln von isotropem Pyrit durchzogen ist, wobei dieser Pyrit teilweise wiederum von einem sehr feinen, oxidierten, dunkler grauen Saum umgeben sein kann. Randlich ist der Magnetkieskern fast vollständig von einem dünnen Saum von Antimonit (Sb_2S_3) umgeben (Abb. 3.45, Abb. 3.46).

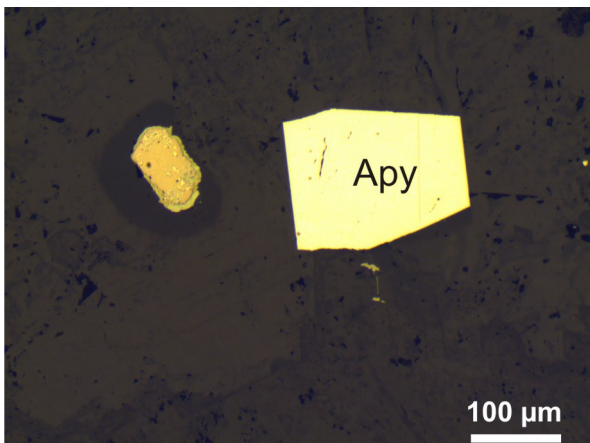


Abb. 3.45, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, komplex zusammengesetztes Mineralkorn neben Arsenkies (Apy)

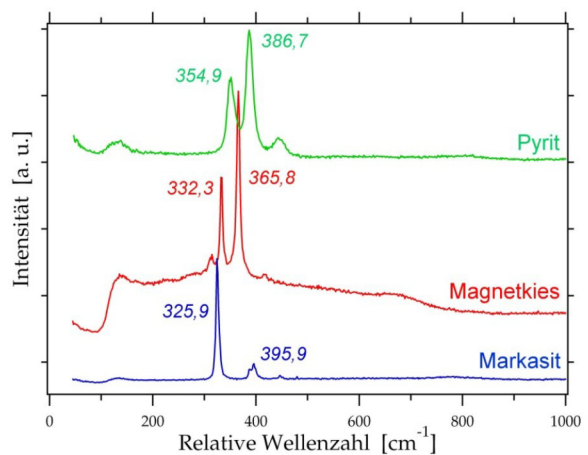


Abb. 3.46, Ramanspektren von Pyrit, Magnetkies und Markasit

In diesem kristallinen Karbonat sind neben den feinverteilten Erzmineraleinzelkörnern mehrere Sulfidadern mit ca. 1 cm Mächtigkeit eingelagert, welche fast ausschließlich aus Arsenkies bestehen. Dieser Arsenkies tritt meist als einheitliches Mineral in großen, blockigen Aggregaten auf, nur äußerst selten sind kleine Einschlüsse von mit Kristallflächen begrenztem Fahlerz vorhanden (Abb. 4.3). Der Arsenkies zeigt randlich manchmal Kristallflächenbegrenzung und ist häufig von schmalen Klüften durchzogen, welche mit Karbonat gefüllt sind. Am Rand dieser Arsenkiesadern sind in kleinen Zwickeln manchmal kleine Bereiche von Quarz vorhanden, welcher einen besonderen feinkörnigen, teilweise sternförmigen bis strahligen, Habitus aufweist (Abb. 3.42). An diese Quarzaggregate sind zudem immer wieder sehr kleine, zu Stapeln geformte Plättchen von Muskovit angelagert, wobei der übrige Randbereich der Arsenkiesadern großteils von recht grobspätigem Dolomit umgeben ist.

CG8:

Gestein: Es handelt sich im Handstück um einen dunkelgrauen Skarn mit einer komplex ausgebauten, zonierten Ader, in welcher graues Sulfid erkennbar ist (Abb. 3.47).



Abb. 3.47, gescannter Dünnschliff, schematische Darstellung der Verteilung der einzelnen Bereiche in der zoniert aufgebauten Ader in Skarn

Dünnschliff: Zu beiden Seiten der Ader befindet sich gebänderter, sehr feinkörniger Skarn. Dieser Skarn stellt 30 µm Schliffdicke

eine stark alterierte, zum Teil feinstkörnige Masse dar. Als größere Komponenten können in erster Linie Quarz und Kalkit erkannt werden, es sind aber auch reichlich feinkörniger, isotroper Granat, immer wieder Vesuvianit mit deutlich graubrauner Eigenfarbe und etwas Titanit vorhanden. Als Erzminerale kommen im Skarn kleine Körner von feingesprenkelten Titanoxiden, besonders Anatas und Rutil, daneben etwas Pyrit, und feinverteilt sehr kleine Aggregate von oft idiomorphem, oft verzwilligtem Löllingit mit typisch sternförmigem, zackigem Habitus, vor.

Danach lagert sich über weiten Bereichen braunes Karbonat an, wobei es sich um Ankerit, mit möglicherweise darin feinverteilter Silikatmineralen handelt. In dieser Zone mit braunen Karbonaten sind immer wieder größere Quarzkörner eingelagert, randlich kann dieser Bereich auch in eine Mischzone aus Skarn, Quarz und fein gesprenkeltem Kalkit, und noch weiter daneben in fein gesprenkelten, wolkig oder spätig erscheinenden Kalkit mit nur sehr wenigen Skarn- oder Quarzanteilen, übergehen. An diese Bereiche lagert sich ein schmaler Streifen von einem Quarzband, welches nach innen großteils hypidiomorphe Kristallformen ausgebildet hat, an. Den nach innen an das Quarzband anlagernden Kern dieser Ader bildet grobspätiger, mittels polysynthetischer Translationslamellen verzwilligter Kalkit mit ca. 0,5 cm bis 2 cm Korngröße (Abb. 3.48, Abb. 3.49).

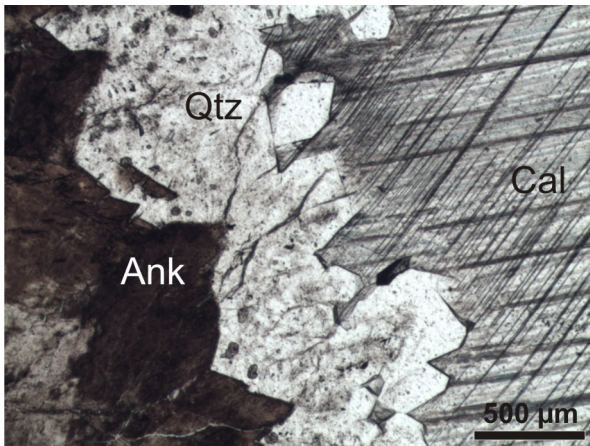


Abb. GG8foto1_5X, Mikroskopaufnahme im Durchlicht mit Polarisator, zonierte Ader mit Ankerit (Ank), Quarzlage (Qtz) und Kalzitkern (Cal)

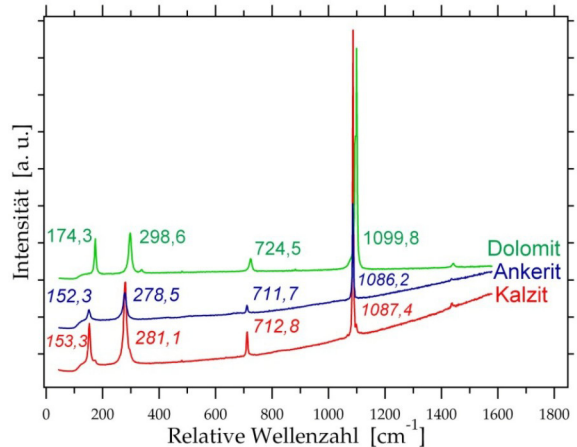


Abb. 3.49, Ramanspektren von Kalzit, Ankerit und Dolomit, wobei besonders Kalzit von Dolomit sehr gut unterscheidbar sind

In diesem Kalzitkern kommen feinverteilt Erzminerale vor, in manchen Bereichen, speziell in Randbereichen zum Quarzband sind diese merklich angereichert. Es handelt sich dabei besonders um Löllingit, mit deutlichem Gehalt von Antimon, welcher ähnlich wie in den Skarnbereichen oft als feinverteilte, kleine, idiomorphe Körner vorliegt. Diese können manchmal selbständig als sternförmige Gebilde erscheinen oder mit Stibarsen (SbAs) und gediegen Antimon komplex aufgebaute Körner bilden. Immer wieder ist auch gediegen Antimon als Einzelmineral. Sehr selten sind kleine, körnige bis stäbchenförmige, im Auflicht hell grüngelblich- graue Aggregate von anisotropem Pääkkönenit (Sb_2AsS_2) vorhanden (Abb. 3.50).

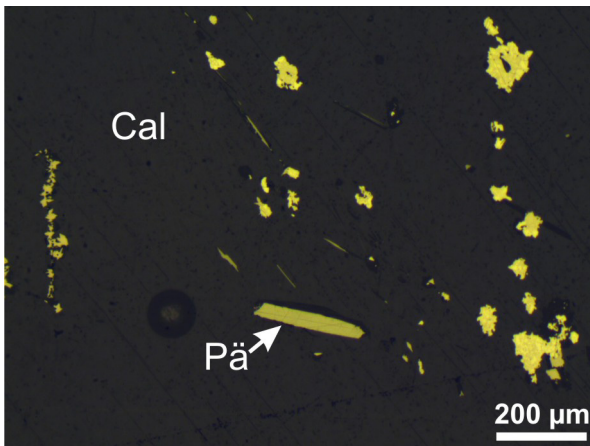


Abb. 3.50, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, Pääkkönenit (Pä), daneben komplex zusammengesetzte Körner bestehend aus Stibarsen, Löllingit und gediegen Antimon

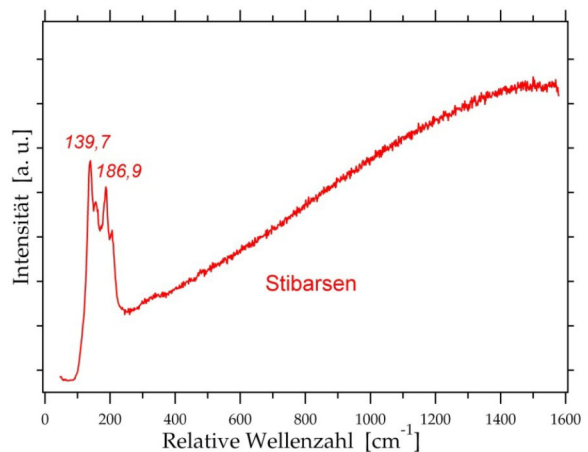


Abb. 3.51, Ramanspektrum von Stibarsen

Es können auch mehrere größere, komplex ausgebaute Mineralaggregate, mit einem im Auflicht als geschlossene schmale Bänder erscheinenden Habitus erkannt werden, welche im Raum wahrscheinlich schalenförmige Gebilde darstellen dürften. Diese bestehen großteils aus Stibarsen (Abb. 3.51), in knotenartigen Verdickungen dieser Bänder können auch gediegen Antimon, welches dennoch meist von einem dünnen Saum von Stibarsen umgeben ist oder Bleiglanz vorkommen. Im Zentrum eines solchen Aggregates kann auch Fahlerz, Tetrahedrit (Abb. 3.53), in einer Art Birdeye- Textur,

beobachtet werden, wohingegen in randlichen Bereichen manchmal Löllingit oder im Auflicht deutlich dunklere, oxidiert erscheinende Bereiche von Stibioclaudetit (AsSbO_3) auftreten (Abb. 3.52).

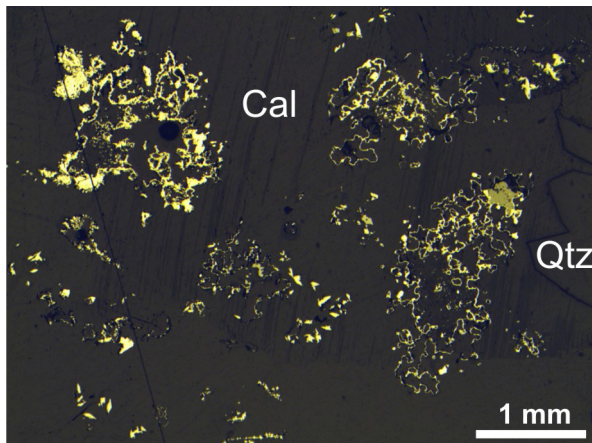


Abb. 3.52, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, Erzminerale mit bandartigem Habitus

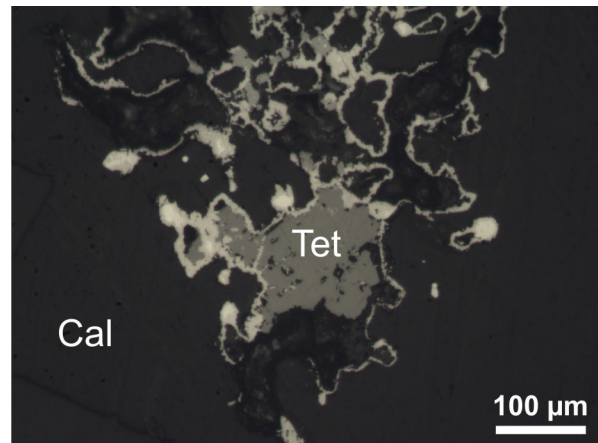


Abb. 3.53, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, Tetrahedrit (Tet)

Neben diesen Bandartigen Gebilden treten auch gesprenkelt erscheinende wolkige Massen auf, welche großteils aus Stibarsen bestehen, daneben eingelagert sind immer wieder Bereiche von Stibioclaudetit und Körner von Bleiglanz vorhanden. Am Rand dieser Gebilde ist manchmal idiomorpher, typisch zackig ausgebildeter Löllingit vorhanden.

CG9:

Gestein: Es handelt sich im Handstück um dunklen, grünlichgrauen feinkörnigen Skarn, welcher von einigen gröberkristallinen, mehrere Zentimeter mächtigen Granatbändern durchzogen ist. In diese Granatbänder ist auch Kalzit eingelagert, wobei idiomorph ausgebildete Granate in diesen Kalzit ragen können.

Dünnschliff: 150 µm Schliffdicke

Es handelt sich um einen Bereich mit meist recht grobkörnigen Mineralkörnern, im Dünnschliff fällt auf, dass viele Kalksilikatminerale ausgeprägten Zonarbau aufweisen. Das Hauptmineral ist Granat aus der Grossular - Andradit Reihe mit einer Zusammensetzung, welche überwiegend Grossular entspricht. Dieser Granat weist oft eine leicht gelblich bräunliche Eigenfarbe und bei gekreuzten Polarisatoren häufig etwas Anisotropie auf (Abb. 3.54). In vielen Bereichen, besonders stark entlang feinsten Kluftvorzeichnungen enthält dieser Granat feinörnigen Klinopyroxene aus der Diopsid - Hedenbergit Mischungsreihe, seltener können in solchen feinen Klüften helle Schichtsilikatminerale erkannt werden (Abb. 3.55).

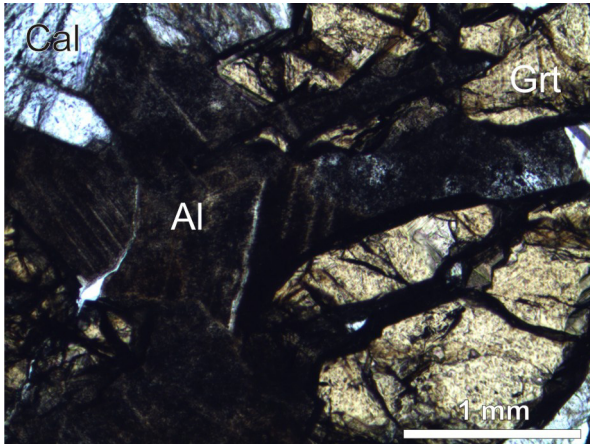


Abb. 3.54, Mikroskopaufnahme im Durchlicht mit Polarisator, Gefüge von Albit (Al), Granat (Grt) und Kalzit (Cal)

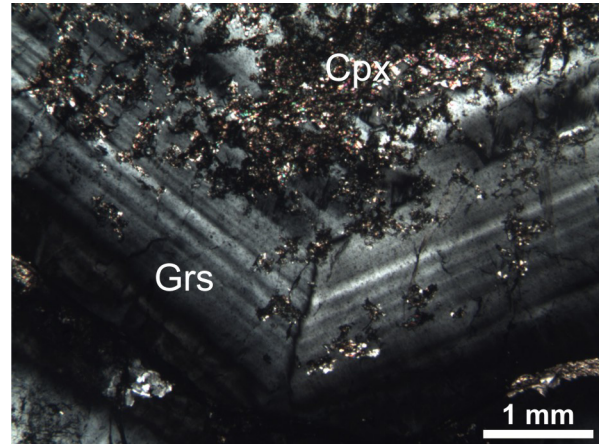


Abb. 3.55, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, Granat (Grs) mit Einschlüssen von Klinopyroxen (Cpx)

Dazu sind in dieser Skarnmineralisation einige feine Gänge mit großteils grobblockigem, meist in Form von polysynthetischen Translationslamellen stark verzwilligtem Kalzit vorhanden (Abb. 3.56). Besonders in Randbereich von Kalzit kann teilweise Prehnit mit seinen, bei gekreuzten Polarisatoren gleichmäßig grünlich bis rosarot erscheinenden Interferenzfarben auftreten (Abb. 3.57).

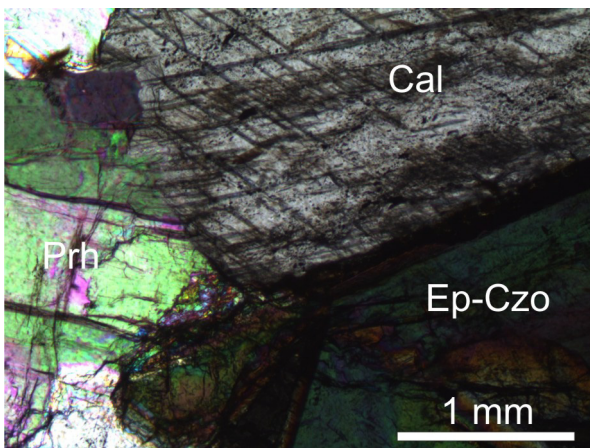


Abb. 3.56, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, Prehnit (Prh) mit verzwilligtem Kalzit (Cal) und einem Mineral aus der Epidot - Klinzoisit Gruppe (Ep-Czo)

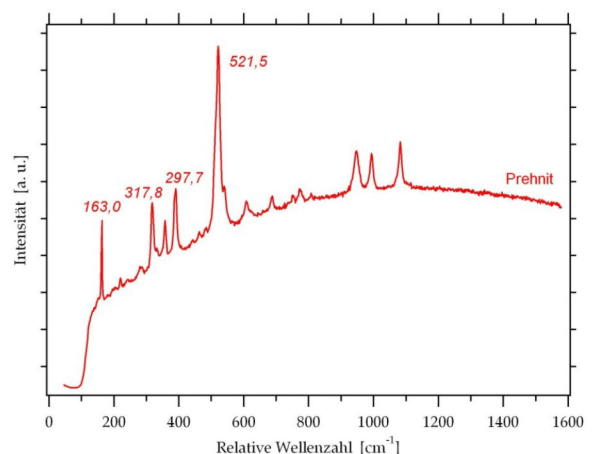


Abb. 3.57, Ramanspektrum von Prehnit

Außerdem finden sich mehrere recht große, meist gelborange bis rötlichbraune Mineralaggregate der Epidot – Klinzoisit Mischreihe. Diese sind deutlich anisotrop mit stark ausgeprägtem Zonarbau und können bereichsweise dunkel alteriert sein (Abb. 3.59). Mit großen Epidotaggregaten vergesellschaftet ist selten Titanit mit länglichen, meist hypidiomorph ausgebildeten Körnern vorhanden (Abb. 3.58).

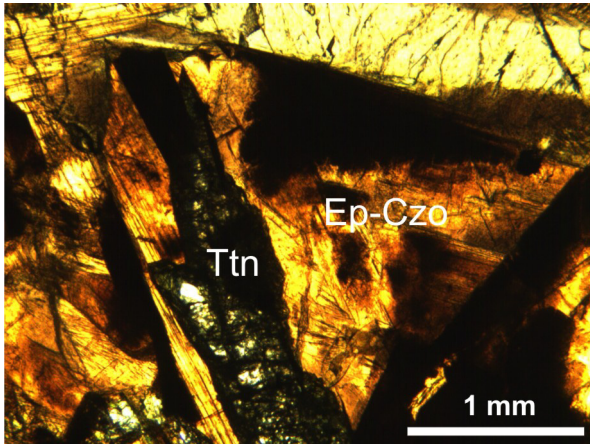


Abb. 3.58, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, zoniertes Mineral aus der Epidot - Klinozoisit Gruppe (Ep-Czo) mit Titanitkristall (Ttn)

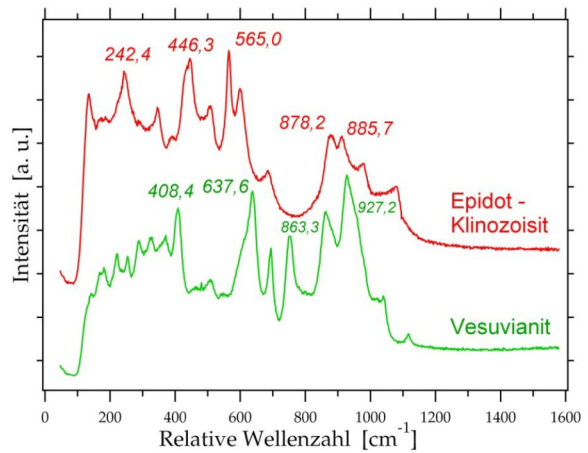


Abb. 3.59, Vergleichende Gegenüberstellung der Ramanspektren von Vesuvianit und der Epidot - Klinozoisit, Mischungsreihe, wobei mit unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung auch das Ramanspektrum geringfügig variieren kann

Es findet sich auch immer wieder Vesuvianit mit leicht bräunlichgrauer Eigenfarbe wobei dieser Vesuvianit manchmal idiomorph ausgebildet sein kann. Mit Granat und Vesuvianit vergesellschaftet kann Plagioklas mit schwach bräunlicher bis grauer Eigenfarbe vorkommen (Abb. 3.60). Im Zentrum eines solchen dreiecksförmig ausgebildeten Plagioklas ist ein grüner, zu Chlorit alterierter Bereich erkennbar, der, besonders randlich zum Plagioklas winzige helle bis weiße Mineralkörner aufweist. Für diese wurde mittels qualitativer Mikrosondenanalyse, in abfallender Konzentration angeführt, eine Zusammensetzung bestehend aus Arsen, Schwefel, Nickel, Eisen und Antimon bestimmt (Abb. 3.62, Abb. 3.63).

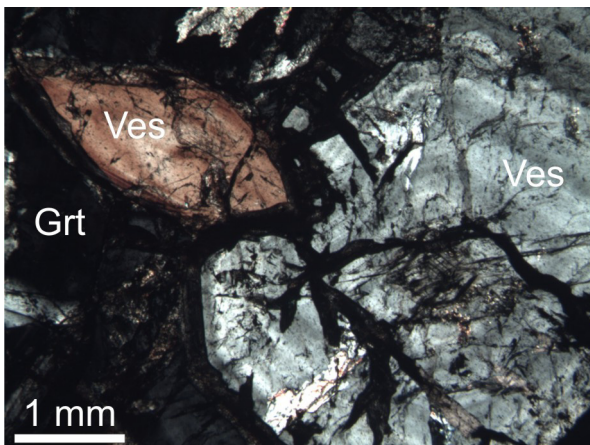


Abb. 3.60, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, zonierter Vesuvianit (Ves) und Granat (Grt)

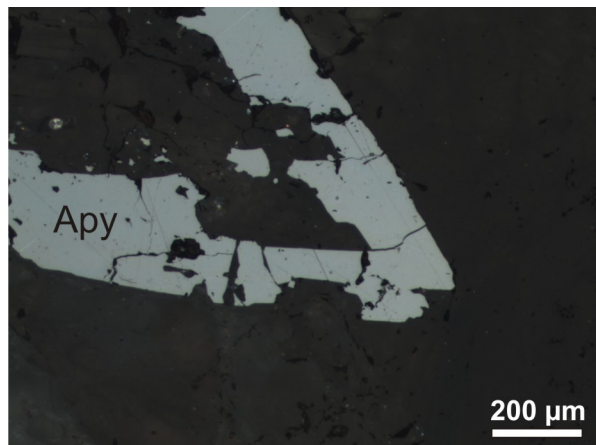


Abb. 3.61, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, Arsenkies (Apy)

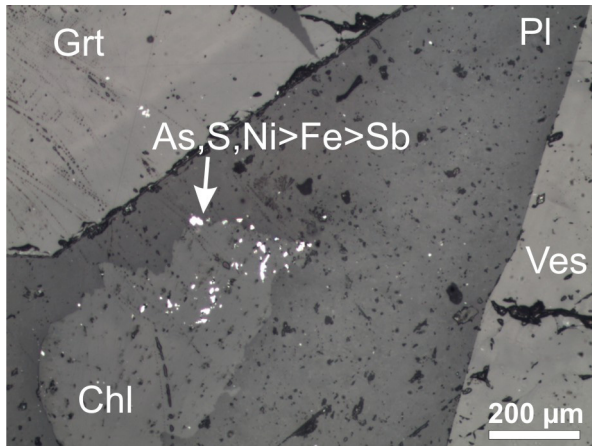


Abb. 3.62, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, helles As, S, Ni, Fe und Sb enthaltendes Erzmineral in alterierten Silikaten

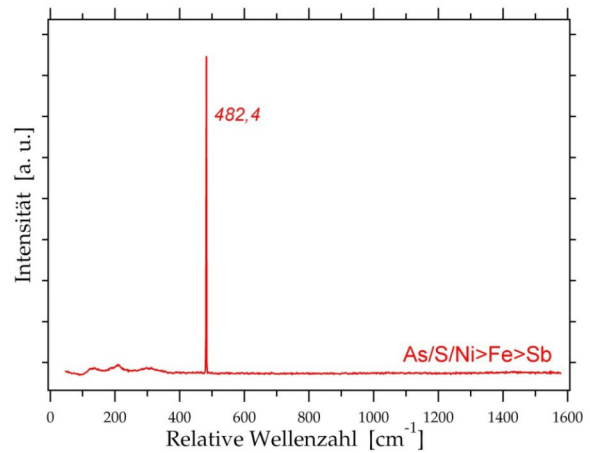


Abb. 3.63, Ramanspektrum von As, S, Ni, Fe und Sb enthaltendem Erzmineral

Generell sind wenige Erzminerale erkennbar, wenn dann bevorzugt im Bereich der Kalzitadern. Es handelt hier hauptsächlich um Arsenkies, welcher teilweise mit Löllingit verwachsene Aggregate mit bis zu 1 mm Korngröße bildet, wobei diese häufig von Kristallflächen begrenzt sind (Abb. 3.61). In diese Aggregate können, besonders in Bereichen von Löllingit winzige Körner von gediegenem Bismuth eingelagert sein. Sehr selten sind sehr kleine Körner von Zinkblende, welche in ihrem Zentrum als Entmischung etwas Kupferkies aufweist, vorhanden.

CG10:

Gestein: Es handelt sich im Handstück um Skarn mit lageweisen bis wolkigen Granatanreicherungen, wobei in Bereichen um Granat auch weißer Kalzit erkennbar ist.

Dünnschliff: 150 µm Schliffdicke

Der Skarn wird zu einem Großteil aus Granat der Grossular – Andradit Mischungsreihe mit einer überwiegend Grossular entsprechenden Zusammensetzung und Korndurchmessern im Zentimeterbereich aufgebaut. Dieser Granat ist häufig zoniert, nicht ganz isotrop, und enthält fast immer, feinkörnigen Klinopyroxen, welcher auch entlang von feinen Adern in Granat vorhanden ist (Abb. 3.64, Abb. 3.65).

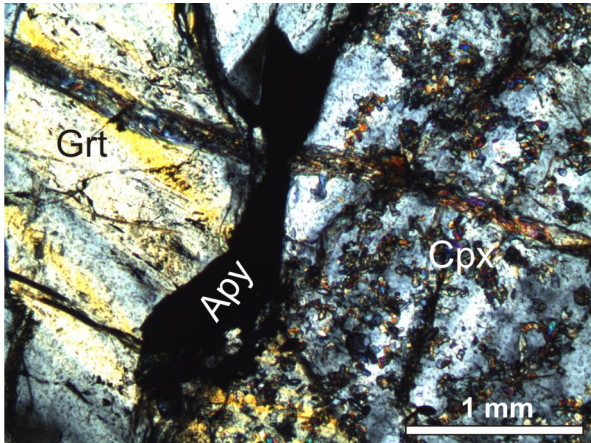


Abb. 3.64, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, zonierter Granat (Grt), mit Einschlüssen von feinkörnigem Klinopyroxen (Cpx) mit opakem Arsenkies (Apy)

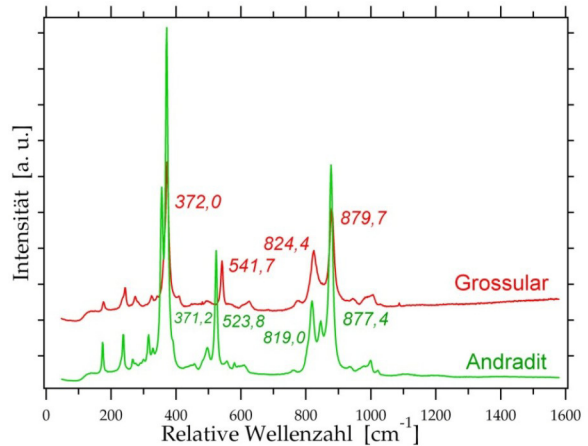


Abb. 3.65, die Ramanspektren von Grossular und Andradit sind sich aufgrund der strukturellen Verwandtschaft sehr ähnlich

Diese Klinopyroxene können in Granat als eigenständige teilweise sehr kleine Körner auftreten und enthalten auffällig oft Fluid Inclusions. Es ist auch häufig bräunlicher und oft alteriert erscheinender, meist feinkörniger Plagioklas vorhanden. Dieser Plagioklas kann selten von einem größeren grünlichen Bereich, welcher aus sehr feinkörnigem Chlorit besteht umgeben sein. Außerdem ist Vesuvianit, in zum Teil größeren bräunlichgrauen, gestreift erscheinenden Massen vorhanden. Die gesamte Probe wirkt stark alteriert, manche Bereiche scheinen fast völlig aus sehr feinkörnigem Klinopyroxen der Diopsid – Hedenbergit Mischungsreihe, Plagioklas mit Korngrößen nahe 0 μm bis zu 100 μm und feinverteilten Schichtsilikaten aufgebaut zu sein (Abb. 3.66, Abb. 3.67).

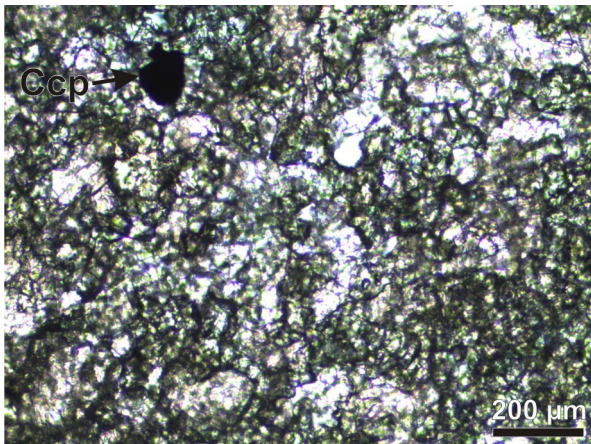


Abb. 3.66, Mikroskopaufnahme im Durchlicht mit Polarisator, grünliche Klinopyroxene, farblose Körner von Plagioklas und opakes Kupferkieskorn (Ccp)

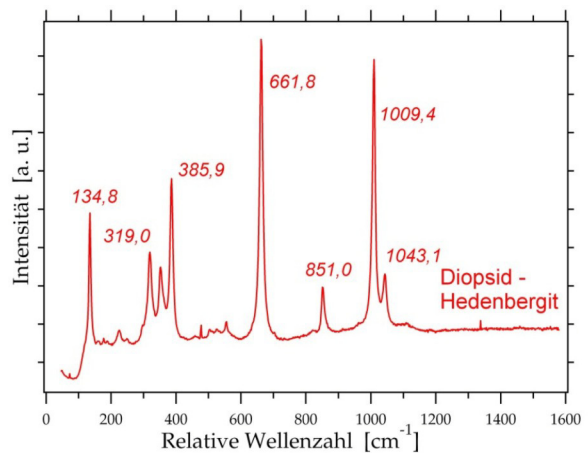


Abb. 3.67, Ramanspektrum von Klinopyroxen aus der Diopsid - Hedenbergit Mischungsreihe

Als Erzminerale sind im Skarn verteilt Komponenten von Arsenkies mit bis zu 1 mm Korngröße und etwas seltener feinverteilt kleine Körner von Kupferkies mit bis zu 100 μm Durchmesser zu erkennen.

CG11:

Gestein: Es handelt sich im Handstück um Skarn, welcher fast ausschließlich aus Granat besteht.

CG12:

Gestein: Es handelt sich im Handstück um dunklen, schwarzgrau und grau gebänderten Skarn mit sehr viel disseminiertem Kupferkies.

Dünnschliff: 80 µm Schliffdicke

Bei der mikroskopischen Untersuchung erweist sich diese Probe als besonders interessant und sehr komplex. Es handelt sich um Skarn mit deutlich lagigem, feingebändertem Gefüge. Der Mineralbestand kann sich in einem regelmäßig wiederkehrenden Muster wiederholen, welches durch ein feinmaschiges, gitterartiges Kluftgefüge bestimmt ist, wobei von diesen verheilten Kluftadern eine in ihrer Intensität vom Rand her abgestufte, starke Alteration ausgeht. Das Zentrum dieser feinen Äderchen enthält oft feinen, wellenförmig ausgelängten Magnetit. Zwischen diesen Adern bestehen Bereiche von randlich meist hell gelblichen bis braunen, manchmal rotbraunen, und im Zentrum meist dunkler braunen Silikatmineralen, möglicherweise Serpentinmineralen, wobei besonders die Dunkelbraunen Mineralphasen immer wieder feinverteilt tröpfchenförmige Aggregate von Hämatit eingelagert haben (Abb. 3.70, Abb. 3.71). Daneben kommen stellenweise rote, anisotrope kompakte Mineralkörner und häufig Aggregate von grünlichen bis kräftig bläulichen Schichtsilikatmineralen, mit starkem Pleochroismus von grünlichblau auf hell bräunlich vor, welche titanfreien Phlogopit repräsentieren (Abb. 3.68, Abb. 3.69).

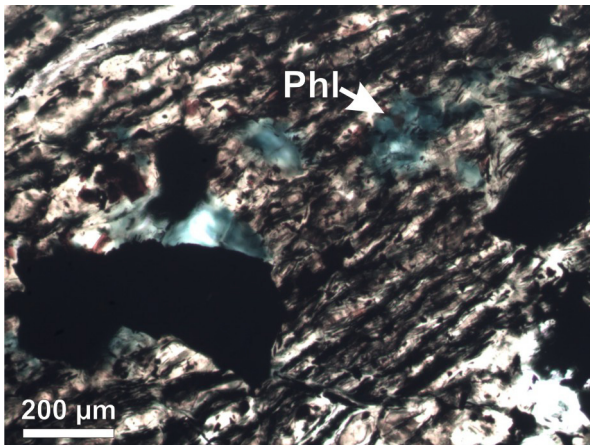


Abb. 3.68, Mikroskopaufnahme im Durchlicht mit Polarisator, blauer Phlogopit (Phl) in fein laminiertem Skarn

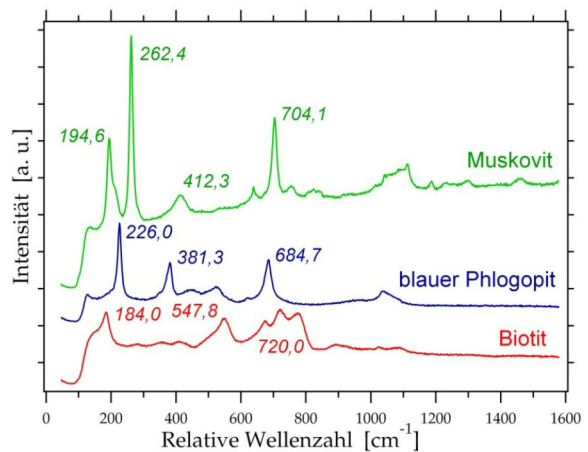


Abb. 3.69, Die Ramanspektren von Muskovit, blauem Phlogopit und Biotit

Innerhalb dieser alterierten Masse befinden sich auch einige schmale Gänge, welche mit weißem Kalzit gefüllt sind. Außerdem ist diese Masse reich an großen Einlagerungen von Erzmineralen, besonders Kupferkies und Magnetit. Es handelt sich dabei um unregelmäßig geformte Aggregate, welche in erster Linie aus Kupferkies bestehen, wobei Kupferkies häufig geklüftet und von feinen Magnetitgängen durchzogen ist. Generell sind Aggregate von Kupferkies fast immer stark mit größeren Bereichen von unregelmäßig begrenztem, seltener auch Kristallflächen aufweisendem Magnetit, Hämatit, der oft direkten Kontakt zu Magnetit aufweist und isotropem Pyrit,

beziehungsweise anisotropem Markasit verwachsen. Markasit und häufiger Pyrit können in Form reiner Bereiche vorkommen, sehr oft aber wirken diese Minerale grau gesprenkelt und sind dann stellenweise mit feinstem Magnetit, an anderen Stellen mit feinstem Hämatit verwachsen, wobei bei solchen Verwachsungen fast immer Markasit gegenüber Pyrit vorherrscht (Abb. 3.72, Abb. 3.73).

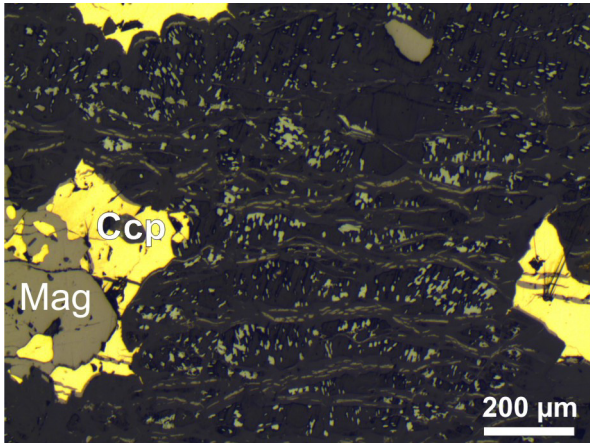


Abb. 3.70, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, größere Aggregate von Magnetit (Mag) mit Kupferkies (Ccp) und feine Laminierung aus wellenförmigem Magnetit und tröpfchenförmigem Hämatit

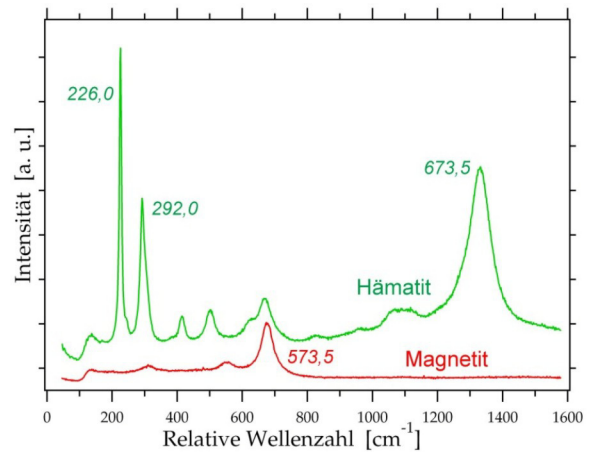


Abb. 3.71, Die Ramanspektren von Magnetit und Hämatit zeigen deutliche Unterschiede

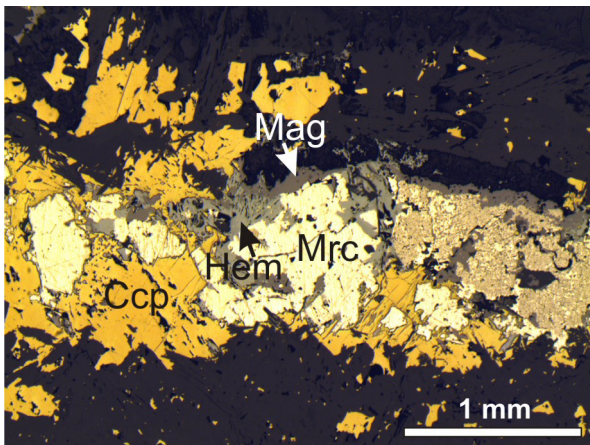


Abb. 3.72, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, Erzmineralaggregat mit Kupferkies (Ccp), Markasit (Mrc) und miteinander verwachsenen Magnetit (Mag) und Hämatit (Hem)

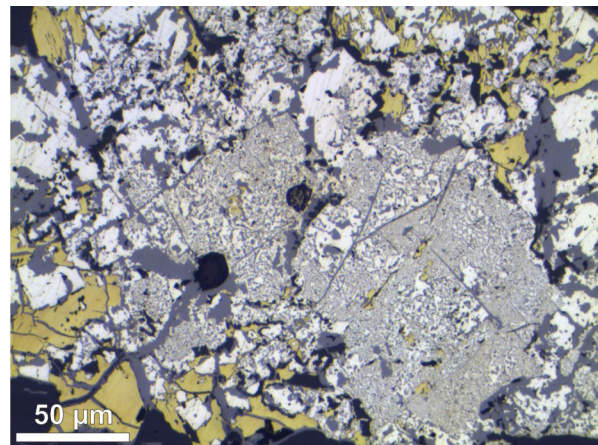


Abb. 3.73, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, Detailaufnahme von Markasit mit gitterartigem Magnetit verwachsen

Daneben kommen häufig auch Körner vor, die hauptsächlich aus Magnetit bestehen, wobei dieser Magnetit teilweise idiomorphe Kristallformen aufweist und manchmal von später gebildetem Pyrit und Kupferkies umgeben ist (Abb. 3.74). Selten sind, auf wenige Bereiche beschränkt, einige kleinere, stark angelaufene Körner von wahrscheinlich Buntkupferkies vorhanden. Als schmale graublau umrandung oder im Nahbereich von Kupferkies und Buntkupferkies können geringe Mengen von wahrscheinlich Digenit (Cu₉S₅) vorhanden sein (Abb. 3.75).

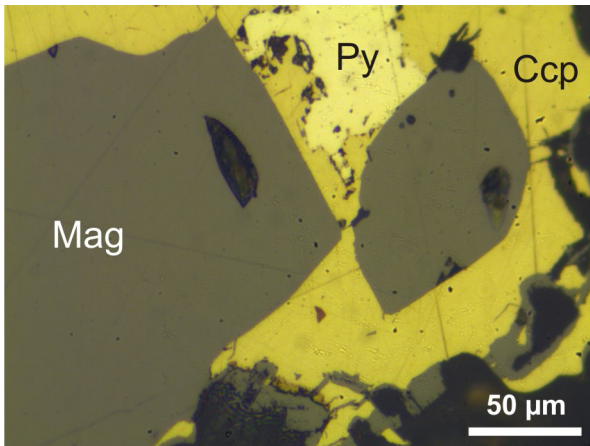


Abb. 3.74, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, Magnetit (Mag), Pyrit (Py) und Kupferkies (Ccp)

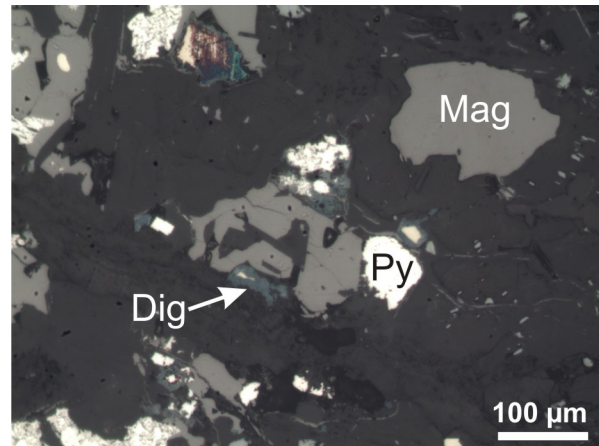


Abb. 3.75, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, schmaler blaugrauer Saum von Digenit (Dig) um kleines Kupferkieskorn

Daneben wird die dunkle Skarnmasse von einer mit bis zu 1 cm starken Hauptader mit mehreren, oft mit dieser zusammenhängenden Nebenadern durchzogen, welche fast ausschließlich aus einem hellen, farblosen Kalzium- Klintoamphibol bestehen, welcher Tremolith repräsentiert. Innerhalb dieser hellen Adern, in welchen seltener auch leicht grüne oder bräunliche Bereiche vorkommen, scheinen zwei Generationen dieses hellen Amphibols aufzutreten, etwas gröberfaseriger, oft zur Ader parallel eingelagerter und feinfaseriger, in teils strahlenförmigen Büscheln vorkommender heller Klintoamphibol (Abb. 3.76).

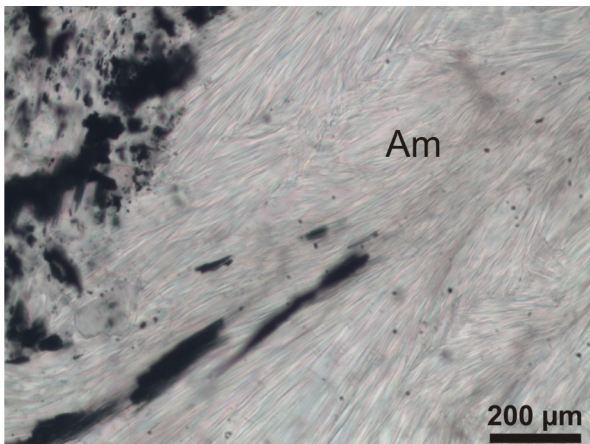


Abb. 3.76, Mikroskopaufnahme im Durchlicht mit Polarisator, ca. 1 cm breite Amphibolader (Am) mit hellem, feinstängeligen Amphibol

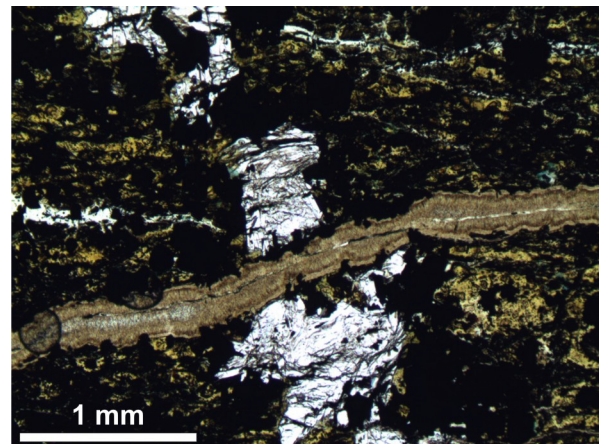


Abb. 3.77, Mikroskopaufnahme im Durchlicht mit Polarisator, dunkler, laminiertes, erzmineralreicher Skarn, mit Ader von hellem Amphibol, wiederum gekreuzt von zonierter Ader mit bräunlichem Amphibol

Innerhalb dieser Amphiboladern sind häufig Bruchstücke des dunklen Skarns und von Erzmineralen vorhanden, wobei auch dunklen Skarn immer wieder Bereiche mit hellem Amphibol eingelagert sind. Außerdem sind mehrere später entstandene, schmale Adern vorhanden, welche auch eine stärkere Ader von hellem Klintoamphipol kreuzen und durch den dunklen Skarn meist parallel zu dessen lagigem Gefüge gehen. Diese Adern sind mit feinem, größtenteils hell und dunkler braunem, feinem Amphibol gefüllt und weisen eine starke, unregelmäßige farbliche Zonierung von außen nach innen auf (Abb. 3.77).

CG13:

Gestein: Es handelt sich im Handstück um gebänderten grünlichgrauen, zum Teil rötlich alterierten Skarn mit grauen und gelblichen Erzmineralen und Lagen von hellgrauem, hellgrünem und dunkelgrünem faserigem Amphibol und einer dunkelgrünen, chloritreichen Ader.

Dünnschliff: 80 µm Schliffdicke

Die Grundmasse wird von feinstängeligen, meist farblosem oder grünlichem, stellenweise hell bräunlichem Kalzium- Klintoamphibol gebildet, welcher in randlichen Bereichen zu hellgrünem bis bläulichem Chlorit alteriert sein kann. In Bereichen von Amphibol ist manchmal quer zur Orientierung des Amphibols Apatit eingelagert (Abb. 3.80, Abb. 3.81).

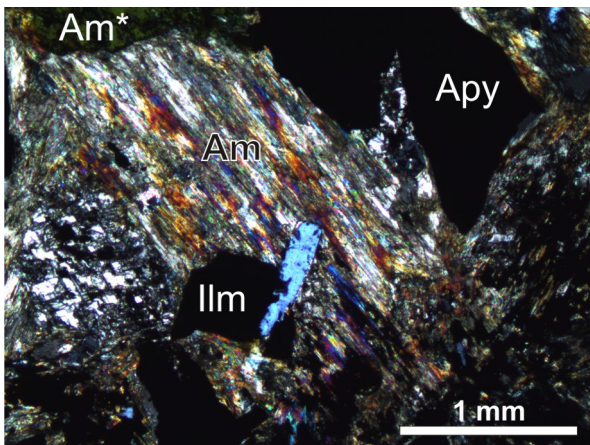


Abb. 3.78, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, im Bild links von Ilmeni (Ilm) befindet sich spätiger Ankerit bis Siderit, rechts davon ein Apatitstängel. dunkelgrüner Alkali-Klinoamphibol (Am*)

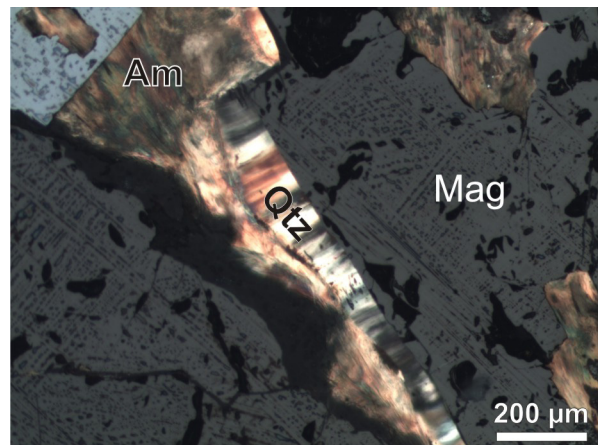


Abb. 3.79, Mikroskopaufnahme im Durch- und Auflicht ohne Analysator, schmaler Quarzsäum (Qtz) zwischen Magnetit (Mag) und Kalzium-Klinoamphibol

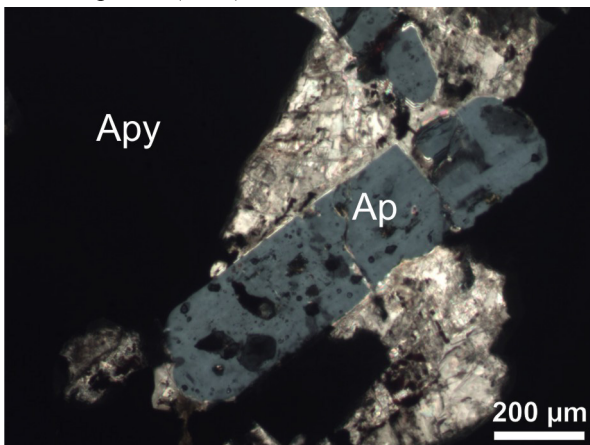


Abb. 3.80, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, Apatitkristall (Ap) umgeben von spätigem Ankerit bis Siderit ragt in Arsenkies (Apy)

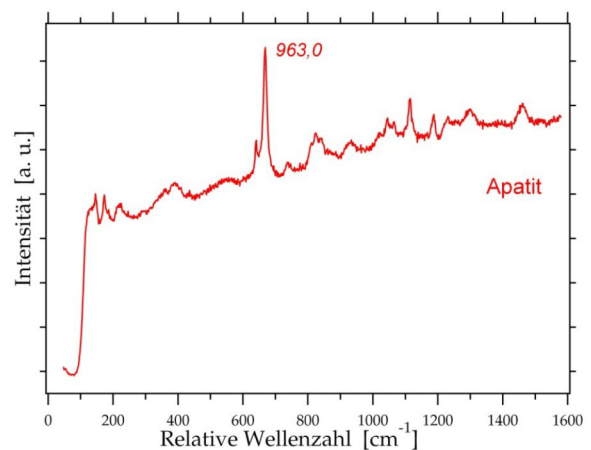


Abb. 3.81, Ramanspektrum von Apatit

Dazwischen sind immer wieder kleinere, kompakte Bereiche von farblosem, spätig, würfelig erscheinendem Karbonat, Ankerit bis Siderit, eingelagert. Selten sind größere Körner von einem Klinoamphibol mit dunkelgrüner Eigenfarbe und kompakter Erscheinung vorhanden, wobei es sich um Alkali- Klinoamphibol handeln dürfte (Abb. 3.78, Abb. 3.89). Als Erzmineral ist besonders

Magnetit in größeren, grobblockigen, meist etwas zerfressen wirkenden Aggregaten vorhanden, wobei häufig hypidiomorphe Umrisse zu erkennen sind, seltener kommt anstatt Magnetit, Ilmenit mit stark zerfressen wirkender, gesprenkelter Erscheinung vor (Abb. 3.82, Abb. 3.83).

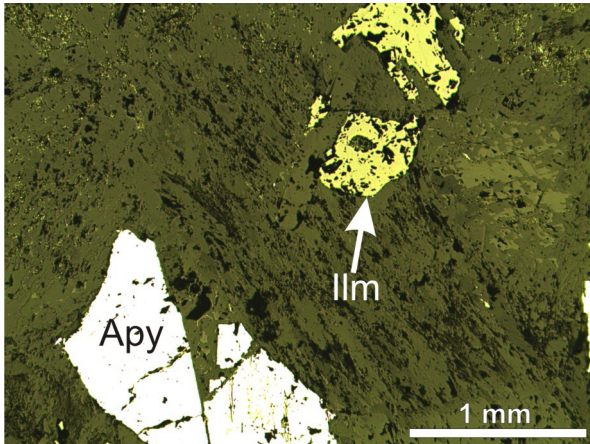


Abb. 3.82, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, Arsenkis (Apy), Ilmenit (Ilm), feinkörnig verteilter Hämatit im Hintergrund

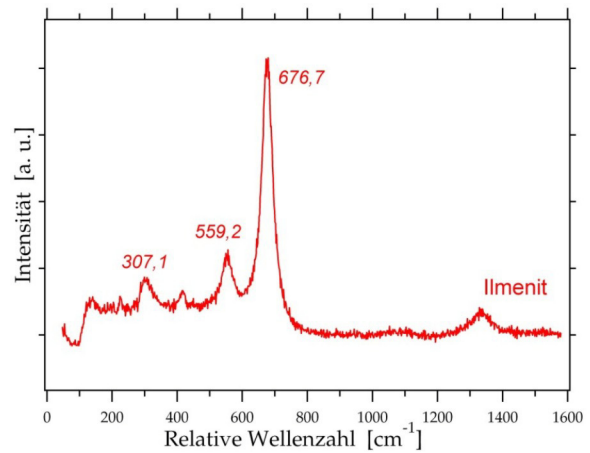


Abb. 3.83, Ramanspektrum von Ilmenit

Magnetit hat manchmal Einschlüsse von Amphibol oder dickplattig ausgebildeten Schichtsilikaten aus der Phlogopitreihe, hierbei sind teilweise zusätzlich schmale Quarzsäume zwischengelagert (Abb. 3.79).

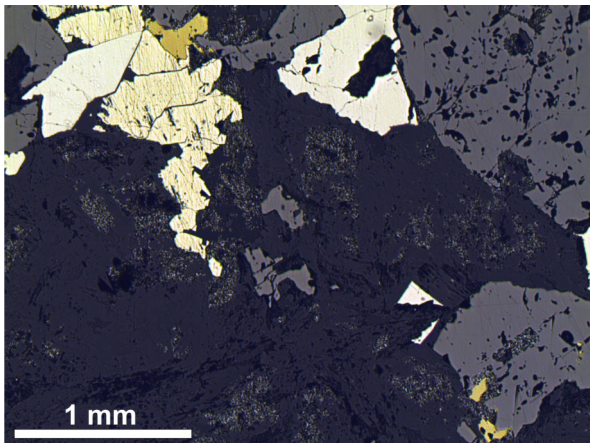


Abb. 3.84, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, grauer Magnetit, hellgelblicher Pyrit, weißer Arsenkies, sattgelber Kupferkies und feinstkörnig verteilter hellgrauer Hämatit

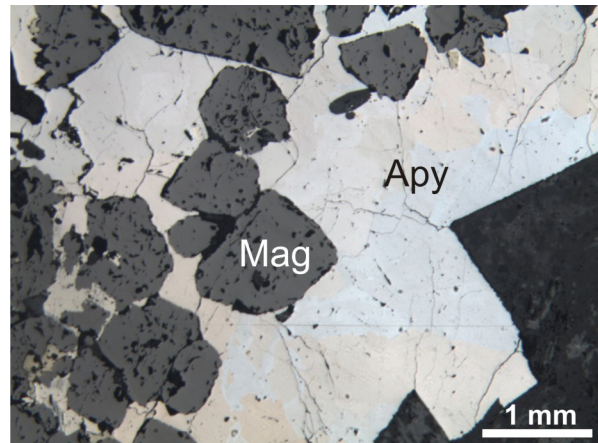


Abb. 3.85, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, Magnetitkörner (Mag) von Arsenkies (Apy) umwachsen

Außerdem weist Magnetit manchmal kleine Einschlüsse von Kupferkies auf und ist randlich häufig mit Kupferkies, Pyrit, Arsenkies, welcher kleine Kupferkieseinschlüsse aufweisen und mit Löllingit verwachsen sein kann, verwachsen, beziehungsweise wird Magnetit von diesen Mineralphasen umwachsen (Abb. 3.85). Diese Erzminerale können teilweise idiomorphe Begrenzungen aufweisen und auch als eigenständige Phasen vorkommen. In Bereichen von Amphibol ist häufig feinverteilt, feinstkörniger Hämatit vorhanden, welcher lagenweise angereichert sein kann (Abb. 3.84). Selten sind als winzige Einschlüsse in Magnetit sehr kleine Körner von gediegen Bismuth vorhanden wobei diese

meist mit Arsenkies und Löllingit verwachsen sind. In einem Einzelfall ist in Magnetit ein sehr kleiner Einschluss von Uraninit vorhanden.

CG14:

Gestein: Es handelt sich im Handstück um dunklen, graugrünen Skarn, welcher hauptsächlich aus verschiedenen sehr faserigen Amphibolen mit helleren Karbonatbereichen besteht, und viel hellgrauen Arsenkies enthält.

Dünnschliff: 80 µm Schliffdicke

Der Skarn wird hauptsächlich aus faserigen Kalzium- Amphibolen aufgebaut, die verschieden lange miteinander verfilzte, an randlichen Bereichen auch büschelige Aggregate ausbilden. Diese feinen Amphibolstängel können im Durchlicht sehr verschieden gefärbt sein, es kommen direkt nebeneinander feinfaserige gelbliche, meist aber in verschiedenen Tönen grüngefärbte Kalzium-Amphibole vor (Abb. 3.89). Daneben treten teilweise dickerstängelige grünlichbraune Alkali-Klinoamphibole auf. Diese Amphibole sind meist in Kalzit, welcher oft grob polysynthetisch verzwilligte Translationslamellen aufweist, seltener auch, teilweise direkt an Kalzit angrenzend, in Quarz eingelagert. Dabei können idiomorphe Amphibolstängel von den Seiten her zugleich in Kalzit und Quarz hineinragen (Abb. 3.86, Abb. 3.88).

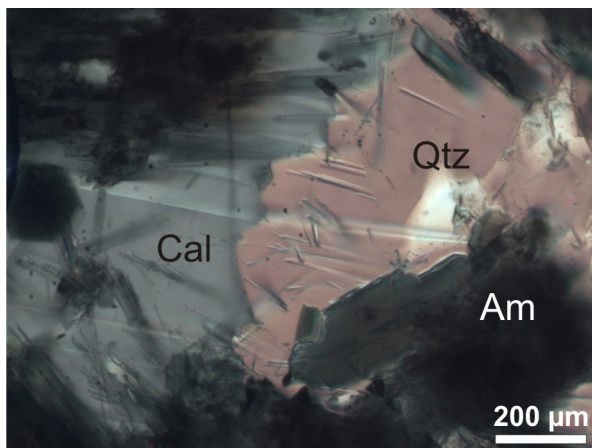


Abb. 3.86, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, Amphibolstängel (Am) in direkt aneinandergrenzenden Kalzit (Cal) und Quarz (Qtz)

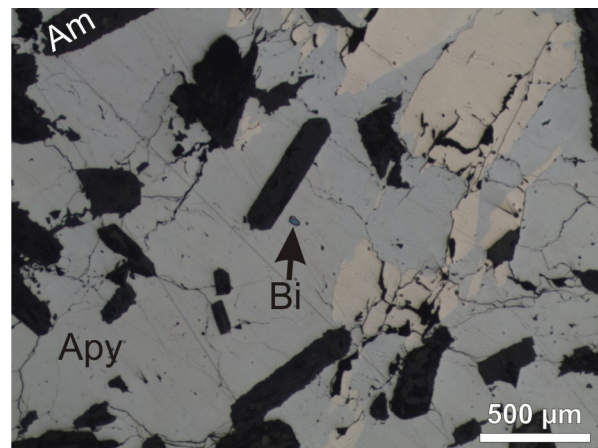


Abb. 3.87, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, Arsenkies (Apy) mit, Amphibolstängeln (Am) und kleinem Einschluß eines Bismuth- Minerals (Bi)

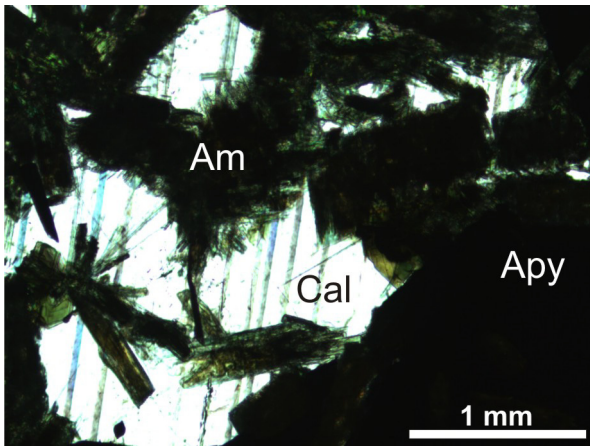


Abb. 3.88, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, Amphibol (Am) in verzwilligtem Kalzit (Cal)

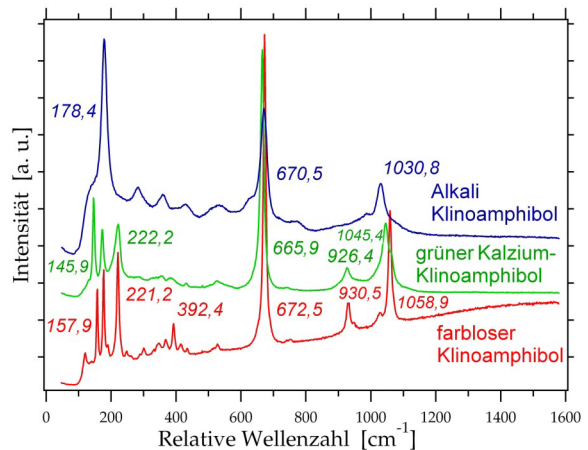


Abb. 3.89, Ramanspektren der verschiedenen auftretenden Amphiboltypen, wobei sich Kalzium- von Alkali- Klinoamphibolen deutlich unterscheiden

Daneben kommen in manchen Bereichen braune, plattige Aggregate von Schichtsilikatmineralen aus der Phlogopitreihe vor. Amphibol ist generell häufig zu bräunlichem Phlogopit alteriert. Wo Kalzit vorhanden ist, treten auch größere Bereiche von blockig erscheinendem Arsenkies und Löllingit auf, welche selten kleine Einschlüsse von wahrscheinlich Bismuth- Mineralen aufweisen können. Dieser Arsenkies weist häufig Einschlüsse von bräunlichem dickplattigem Phlogopit auf, wobei bei diesen Mineralen feinste Säume von Quarz zwischengelagert sein können (Abb. 3.87).

CG15:

Gestein: Im Handstück dunkler, gebänderter Skarn, welcher aus schwarzgrauen Bereichen mit feinen, hellen Äderchen und mit diesen wechselgelagerten dunklen, braungrauen Bereichen besteht. In diesem dunklen Skarn sind viel disseminierter Kupferkies und graue magnetische Erzminerale erkennbar.

CG16:

Gestein: Es handelt sich im Handstück um fast reines, stellenweise deutlich magnetisches Erz, wobei makroskopisch vor allem Kupferkies und Magnetkies erkennbar sind.

Dünnschliff: 80 µm Schliffdicke

Zwischen den Erzmineralen sind immer wieder kleinere Bereiche mit Silikatmineralen vorhanden. Dabei handelt es sich hauptsächlich um fast farblosen bis grünlichen Klinopyroxen aus der Diopsid – Hedenbergit Mischungsreihe, der häufig von außen nach innen bräunlich bis rotbraun alteriert ist und viele Flüssigkeitseinschlüsse aufweist (Abb. 3.91). Diese Klinopyroxene können, besonders wenn sie als kleinere Einschlüsse im Erz vorkommen manchmal zu bräunlichem bis graugrünem Amphibol alteriert sein, wobei in diesen Bereichen auch Kalzit vorhanden ist. Außerdem sind größere Aggregate von leicht grauem bis gelblich orangem Granat der Grossular – Andradit Reihe mit mehrheitlich andraditischer Zusammensetzung vorhanden, welche teilweise zersetzt erscheinen und häufig Einschlüsse von Klinopyroxen aufweisen (Abb. 3.90).

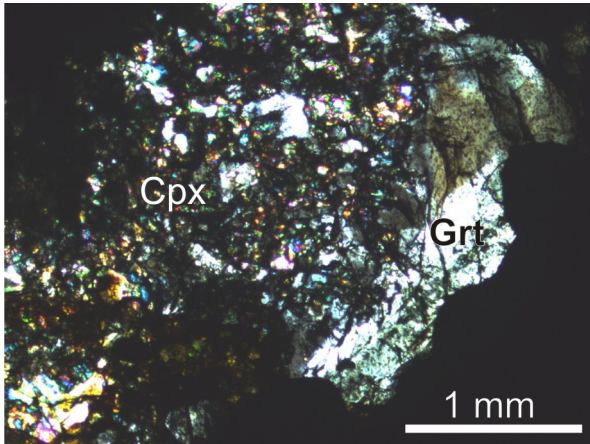


Abb. 3.90, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, Granat (Grt), anisotroper Andradit, mit feinkörnigem Klinopyroxen (Cpx)

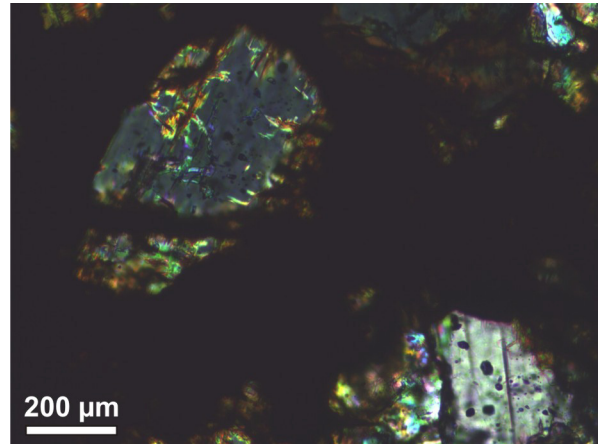


Abb. 3.91, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, Klinopyroxen mit Flüssigkeitseinschlüssen, von außen nach innen alteriert

Ein Großteil der Probe wird von massivem Erz aufgebaut, das hauptsächlich aus Kupferkies besteht, welcher flächige Bereiche bildet, teilweise sehr kleine sternförmige Entmischungen von Zinkblende (Abb. 4.22) enthält und randlich intensiv mit anderen Erzmineralen verwachsen ist. Dabei handelt es sich besonders um stark anisotropen Magnetkies, der manchmal bandförmige Lagen in Kupferkies bildet und anisotropen Markasit, welcher häufig größere Einschlüsse in Magnetkies oder Verwachsungen mit diesem bildet. Sehr oft weist dieser Markasit feingesprenkelt erscheinende Bereiche auf, die bei großen Vergrößerungen als, mit feinstgittertem, anisotropem Magnetit und randlich manchmal mit feinstem, blockig ausgebildetem Magnetkies verwachsene Bereiche von anisotropem Markasit, erkennbar sind (Abb. 3.93). In diesem Erz ist auch immer wieder etwas Magnetit in Form von größeren, manchmal idiomorphen Einzelaggregaten vorhanden (Abb. 3.92).

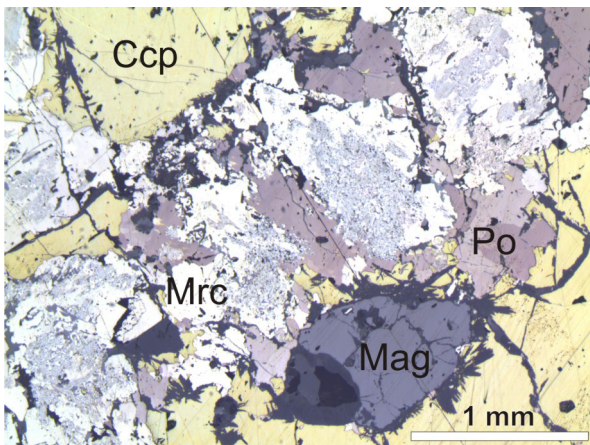


Abb. 3.92, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, Magnetit (Mag), Kupferkies (Ccp), Markasit (Mrc) und Magnetkies (Mag). Gesprenkelt erscheinende Bereiche stellen gitterartig zusammengesetzten Markasit und Magnetit dar

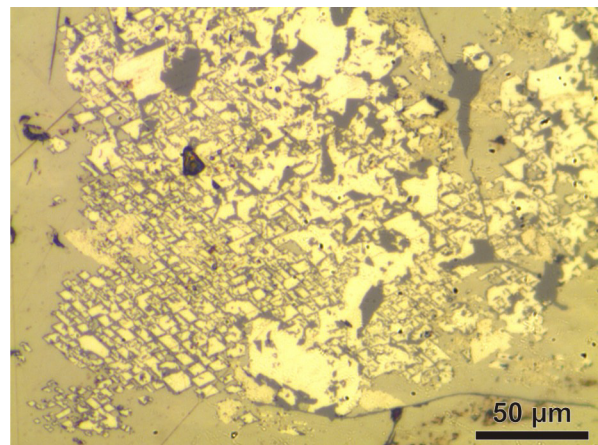


Abb. 3.93, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, Detailaufnahme von gesprenkelt erscheinenden Bereichen. Randbereich stellt Kupferkies dar, im Inneren Gitterartige Struktur bestehend aus hellem Markasit, mittelgelbem Magnetkies, dunkelgrauem Magnetit und teilweise etwas Kupferkies

Isotroper Pyrit bildet selten kleine Bereiche von würfeligzackiger, blockiger Textur mit manchmal sehr kleinen, unregelmäßigen aber auch sternförmigen Einschlüssen von Zinkblende, welche wiederum mit geringen Mengen von Kupferkies assoziiert sein kann, wobei an solche Aggregate von blockigem Pyrit auch kleine Bereiche von bläulichgrauem Göthit angelagert sein können (Abb. 3.95). Randlich zu Silikatmineralen treten feine nadelförmige Aggregate, bestehend aus mit Magnetkies verwachsenem Pyrit auf (Abb. 3.94).

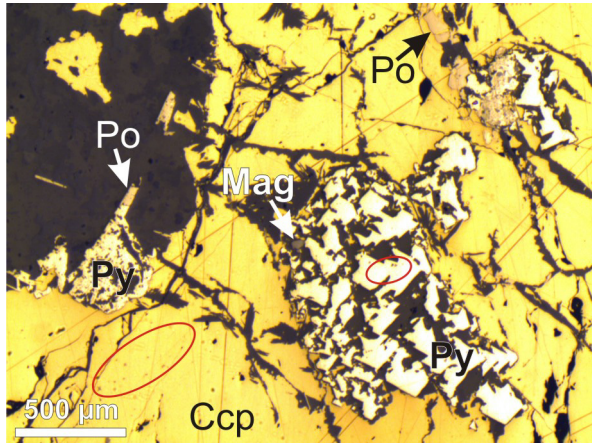


Abb. 3.94, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, komplex aufgebautes Erzmineralaggregat mit Kupferkies (Ccp), blockigem Pyrit (Py), Magnetkies (Po), Magnetit (Mag), und innerhalb der roten Ellipsen kleinen Zinkblende- Entmischungen (Detailaufnahmen siehe Abb. 4.21, Abb. 4.22)

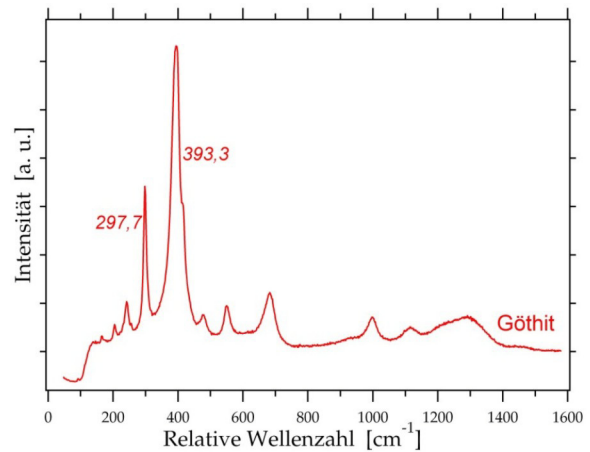


Abb. 3.95, Ramanspektrum von Göthit

In Pyrit konnte mittels qualitativer Mikrosondenanalyse auch ein winziger Einschluss bestehend aus Selen und Blei, nachgewiesen werden, was Chlaustalit entsprechen könnte. An Randbereichen des massiven Erzes scheinen Erzminerale in die Umgebung einzudringen und einzelne Silikatminerale, besonders Klinopyroxen, zu umhüllen.

CG17:

Gestein: Es handelt sich im Handstück um äußerlich orange bis bräunlich verwitterten, graugrünen, gebänderten Skarn mit mehreren sehr feinen und zwei ca. 4 mm mächtigen Quarzadern, welche parallel zur Bänderung eingelagert sind.

Dünnschliff: 80 µm Schliffdicke

Im Skarn ist hauptsächlich hell grünlich bis braun gefärbter, manchmal randlich dunkler braun alterierter Klinopyroxen aus der Diopsid-Hedenbergit Mischungsreihe mit Korngrößen von meist ca. 100 µm bis 1 mm vorhanden. Daneben ist lagenweise Quarz angereichert, in welchen Klinopyroxen eingelagert ist, wobei teilweise in größeren, einheitlich auslöschenden, Quarzkörnern kleinere Klinopyroxene vorhanden sind (Abb. 3.96). Selten ist auch etwas Titanit erkennbar.

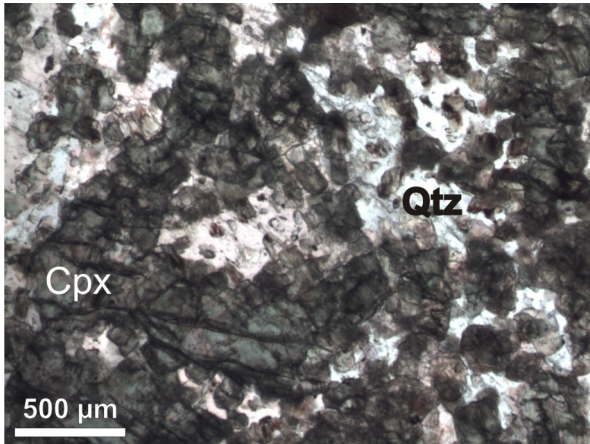


Abb. 3.96, Mikroskopaufnahme im Durchlicht mit Polarisator, Quarz (Qtz) mit grünlichen Klinopyroxenkristallen (Cpx)

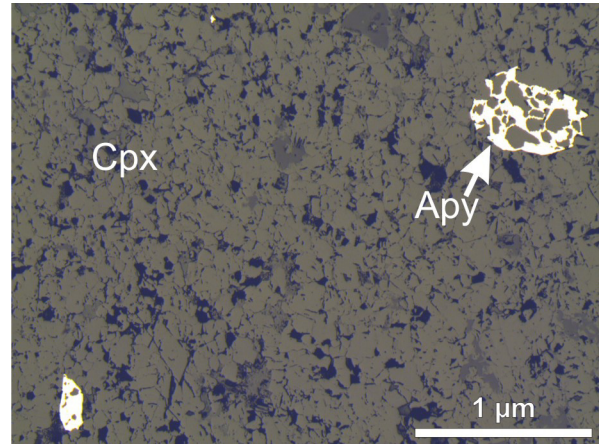


Abb. 3.97, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, gerüstartiges gebilde von Arsenkies (Apy) mit Klinopyroxen (Cpx)

Dieser fast nur aus Klinopyroxen bestehende Skarn weist eine deutliche, lagenweise verschieden feine Bänderung auf, welche auch durch Farbabstufungen erkennbar ist (Abb. 3.98). Es sind in Bereichen von Klinopyroxen nur sehr wenige, meist winzige Erzminerale vorhanden. Feinverteilt zwischen Klinopyroxen sind winzige Körner von Kupferkies mit ca. 10 µm bis 30 µm Korngröße, daneben sehr feinkörnige Zinkblende mit deutlichen Innenreflexen und andere graufarbige, feinstkörnige Erzminerale vorhanden. Daneben kommen im Skarn einige wenige, aber deutlich größere Aggregate von gerüstartig, löchrig aufgebautem Arsenkies vor (Abb. 3.97).

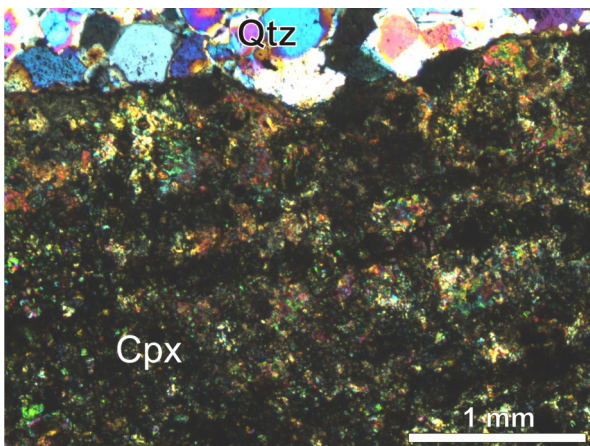


Abb. 3.98, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, stark gebänderter Klinopyroxen- Skarn (Cpx) mit Quarzader (Qtz)

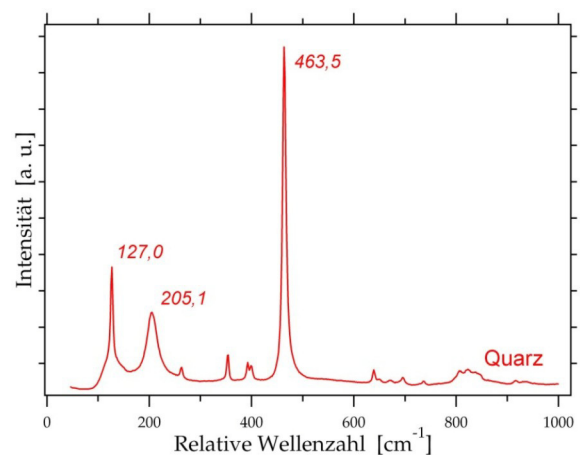


Abb. 3.99, Ramanspektrum von Quarz

Parallel zur Bänderung des Skarns sind immer wieder bis zu 4 mm mächtige Quarzadern mit einer bimodalen Korngrößenverteilung von ca. 100 µm und 1 mm eingelagert (Abb. 3.99). In diesen Quarzadern sind sehr selten kleine Körner von Markasit, Zinkblende und Kupferkies vorhanden, wobei Zinkblende manchmal mit Kupferkies verwachsen sein kann.

CG18:

Gestein: Es handelt sich im Handstück um weißen Marmor mit einem Netz aus mehreren, zum Teil miteinander verbundenen, teilweise über einen Zentimeter mächtigen, massiven Erzadern. In diesen Erzadern ist bereits makroskopisch zu erkennen, dass sie hauptsächlich aus Arsenkies bestehen, es ist stellenweise aber auch Kupferkies angereichert und es sind deutlich noch weitere graue Erzminerale erkennbar. Zur genaueren Untersuchung wurden jeweils ein Dünnschliff aus dem Zentrum, parallel zu einer ca. 1 cm starken Erzader (CG18-1) und ein Dünnschliff quer auf zwei schmalere Erzadern mit reichlich Marmor (CG18-2), angefertigt.

CG18-1:

Dünnschliff: 80 µm Schliffdicke

Die Gangart in dieser Erzader bildet weißer Marmor, wobei die einzelnen Komponenten großteils Korngrößen von ca. 1 mm aufweisen. Bei diesem Karbonat handelt es sich hauptsächlich um, im Durchlicht relativ stark gesprenkelt erscheinenden Kalzit, es ist aber auch häufig, meist klarer erscheinender Dolomit vorhanden. Besonders im Nahbereich zur Erzader sind immer wieder idiomorphe Quarze, mit, rechtwinkelig auf die C- Achse gesehen, ca. 1 mm Durchmesser, vorhanden. Diese Quarze sind am Kontakt zu Karbonat meist stark fransig angegriffen und weisen häufig einen deutlichen Zonarbau auf, der anhand von regelmäßig angeordneten Einschlüssen deutlich erkennbar ist (Abb. 3.100). Quarz, der als Einschluss direkt in der Erzader vorkommt hat meist keinen ausgeprägten Zonarbau, kann aber kleine stäbchenförmige Einschlüsse von Apatit aufweisen (Abb. 3.101). In randlichen Zwickeln sind an die Erzader immer wieder kleine, oft büschelförmige Aggregate von Muskovit angelagert (Abb. 3.102).

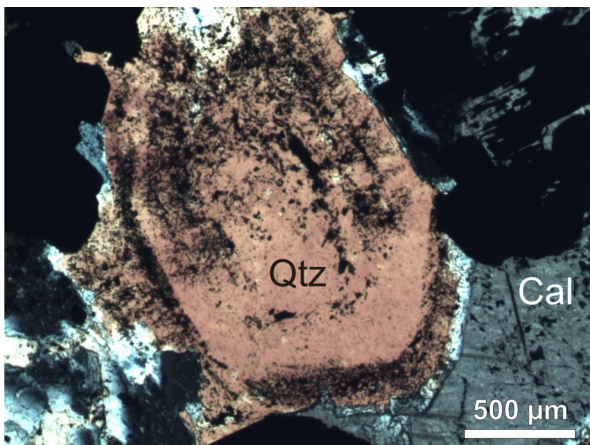


Abb. 3.100, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, randlich angegriffener, zonierter Quarz (Qtz) mit Kalzit (Cal)

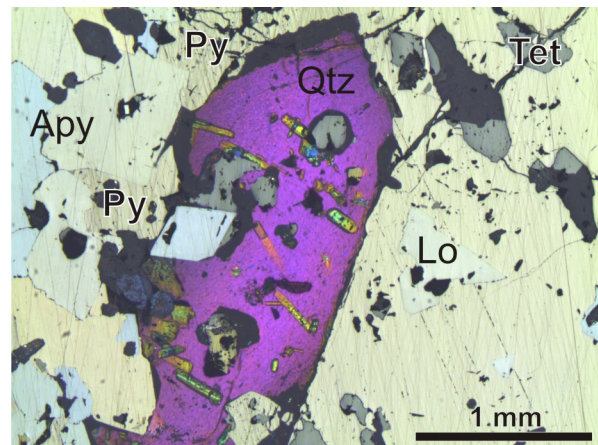


Abb. 3.101, Mikroskopaufnahme im Durch- und Auflicht bei gekreuzten Polarisatoren, Apatitstäbchen in Quarzkristall (Qtz)

Das am häufigsten in den Erzadern vorkommende Mineral ist Arsenkies, dieser kann etwas Löllingit enthalten. Dieser Arsenkies bildet oft recht grobblockige Bereiche mit manchmal hypidiomorphen Begrenzungsflächen, wobei innerhalb der gesamten Erzader und speziell auch im Arsenkies viele Klüfte vorhanden sind. Mit Arsenkies verwachsen kommt häufig Pyrit vor. Sehr selten ist auch Bismuthinit (Bi_2S_3) in Form von grauen, sehr kleinen unregelmäßigen Körnern in Arsenkies vorhanden (Abb. 3.103).

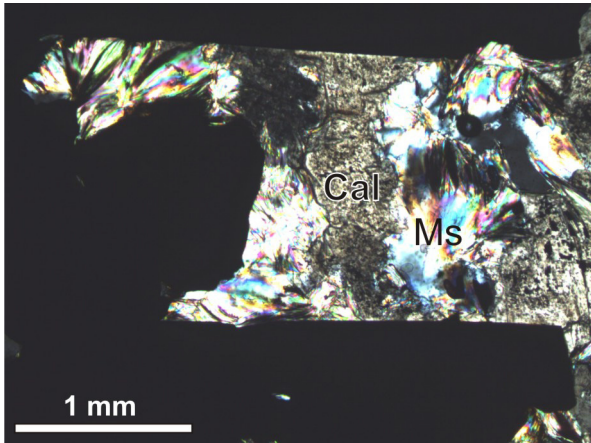


Abb. 3.102, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, Arsenkies umgeben von Muskovit (Ms) und Kalzit (Cal)

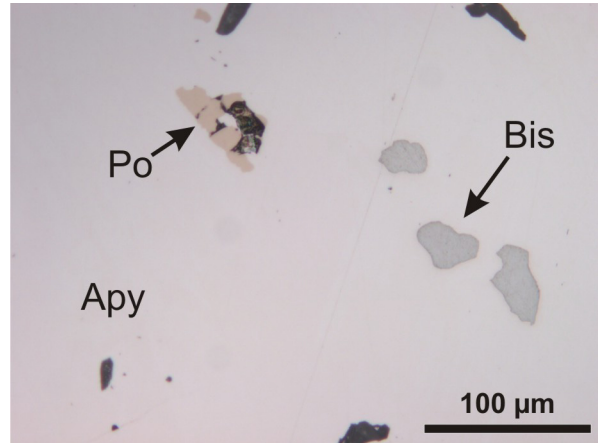


Abb. 3.103, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, Magnetkies und Bismuthinit (Bis) in Arsenkies (Apy)

Hauptsächlich an Randbereichen, in Zwickeln und Klüften, selten aber auch als Einschlüsse in Pyrit und Arsenkies, kommt reichlich Fahlerz aus der Tetrahedrit Gruppe vor. Dieser Tetrahedrit wiederum kann Einschlüsse von Arsenkies und Pyrit aufweisen. Daneben gibt es in Tetrahedrit, manchmal bereichsweise angereichert, Einschlüsse von im Auflicht bläulichgrauem, deutlich heller als Tetrahedrit (Abb. 3.104) und bei gekreuzten Polarisatoren stark anisotrop erscheinendem Chalkostibit (CuSbS_2), der auch als kleine eigenständige Mineralphasen auftritt (Abb. 3.105, Abb. 3.107).

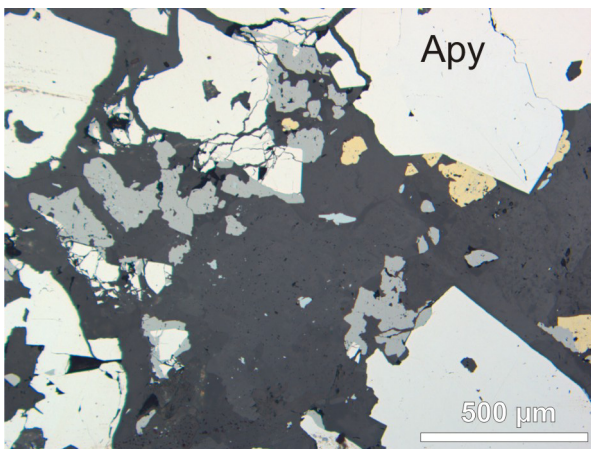


Abb. 3.104, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, geklüfteter Arsenkies (Apy) mit Kupferkies, Tetrahedrit und Chalkostibit

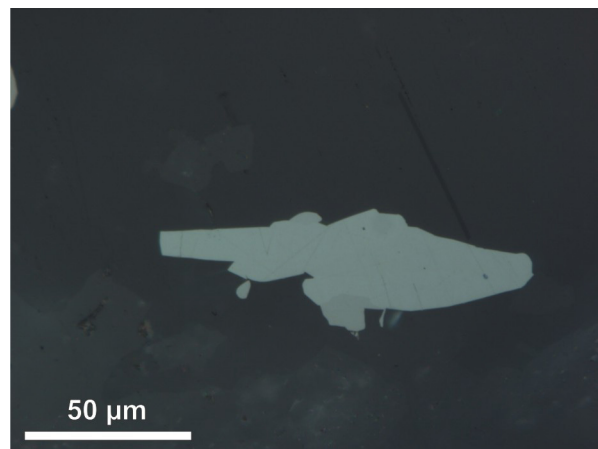


Abb. 3.105, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, Detailaufnahme von Abb. 3.104, stark anisotroper Chalkostibit

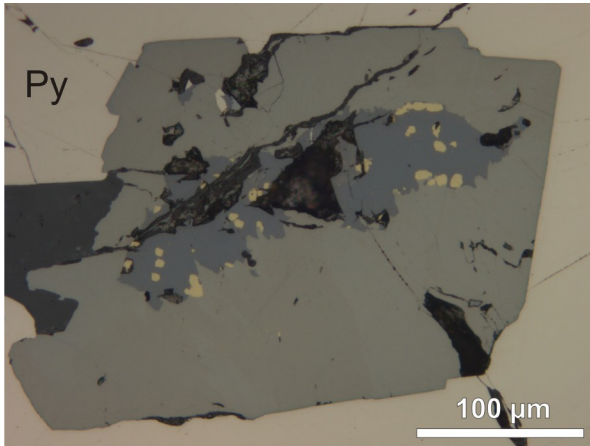


Abb. 3.106, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, Kristall von Zinnkies in Pyrit (Py), mit Einschluß von Zinkblende und kleinen Entmischungen von Kupferkies

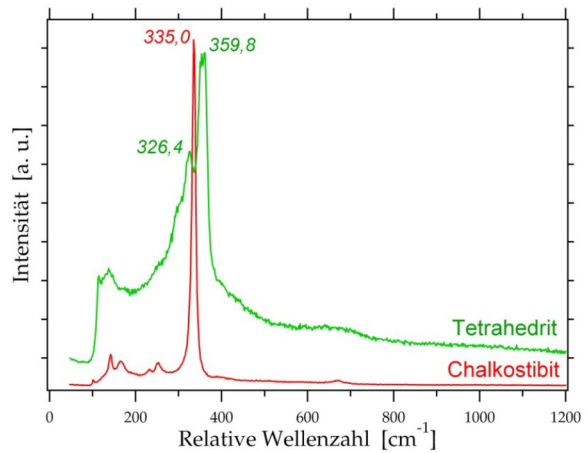


Abb. 3.107, die deutlich unterschiedlichen Ramanspektren von Tetrahedrit und Chalkostibit

Außerdem ist in Tetrahedrit, häufig Zinnkies ($\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$) vorhanden, der im Auflicht etwas dunkler erscheint und manchmal mit etwas Zinkblende und sehr kleinen Kupferkieskörnchen assoziiert ist (Abb. 3.108). Zinnkies bildet auch größere zum Teil hypidiomorphe Aggregate in Pyrit, die in ihrem Zentrum einen Kern von Zinkblende aufweisen können, welche wiederum sehr kleine Entmischungen von Kupferkies zeigt (Abb. 3.106).

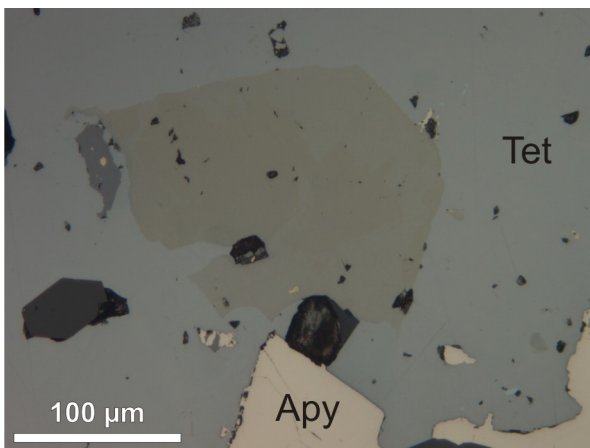


Abb. 3.108, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, Arsenkies (Apy), Tetrahedrit (Tet) mit olivbraunem Zinnkies, Zinkblende und etwas Kupferkies

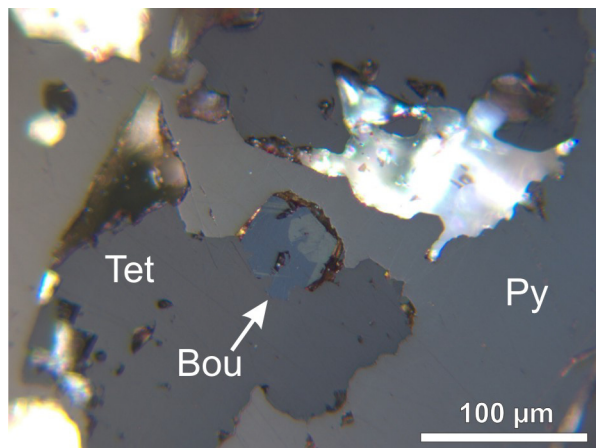


Abb. 3.109, Mikroskopaufnahme im Auflicht mit Analysator, anisotroper Bournonit (Bou), Tetrahedrit (Tet) und Pyrit (Py)

Kupferkies ist auch in Form kleiner Einschlüsse in, und Verwachsungen mit, Tetrahedrit vorhanden und bildet eigenständige kleine Aggregate in Kluftbereichen in der Erzader, wobei Kupferkies auch kleinere Einschlüsse in Pyrit und Arsenkies bildet. In Arsenkies treten manchmal sehr kleine Körner von bräunlichem, anisotropem Magnetkies auf, welcher teilweise mit etwas Kupferkies verwachsen sein kann. In Tetrahedrit, in einem Bereich in dem auch kleine Einschlüsse von Zinnkies auftreten, konnte gediegen Antimon in Form eines kleinen Einschlusses nachgewiesen werden. Selten kommt als sehr kleine Einschlüsse in Pyrit Bournonit (PbCuSbS_3) vor, welcher mit Tetrahedrit verwachsen sein kann (Abb. 3.109).

CG18-2:

Dünnschliff: 80 µm Schliffdicke

Es handelt sich um kontaktmetamorph gebildeten Marmor, mit stark gesprenkelter Erscheinung und meist undeutlichen, verwaschenen Korngrenzen. Die Korngrößen der Karbonatkörner liegen im Bereich von ca. 500 µm bis 2 mm, meist aber um die 1 mm. Das Karbonat besteht hauptsächlich aus besonders stark gesprenkeltem, im Durchlicht stark grau erscheinendem Kalzit und zwischengelagert hellerem, einschlussärmerem, oft unregelmäßige, bandartige Gebilde mit spätiger interner Erscheinung formendem Dolomit (Abb. 3.110) Dolomit zeigt häufig kleine, kompakte Einschlüsse von Kalzit und feine Apatitstängel. Apatit ist auch zwischen Körnern von Kalzit und Dolomit vorhanden, wobei Apatitstängel manchmal in beide Mineralphasen zugleich eingewachsen sein können. Eher selten sind sehr kleine, zu Büscheln geformte Aggregate von Muskovit vorhanden (Abb. 3.111).

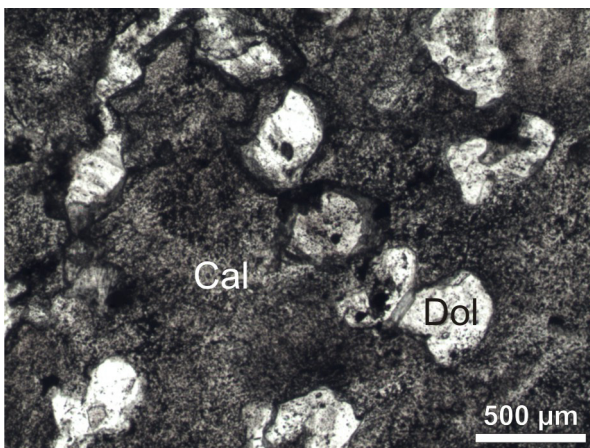


Abb. 3.110, Mikroskopaufnahme im Durchlicht mit Polarisator, Masse aus grau gespränkeltem Kalzit (Cal) mit hellen Bereichen von Dolomit (Dol)

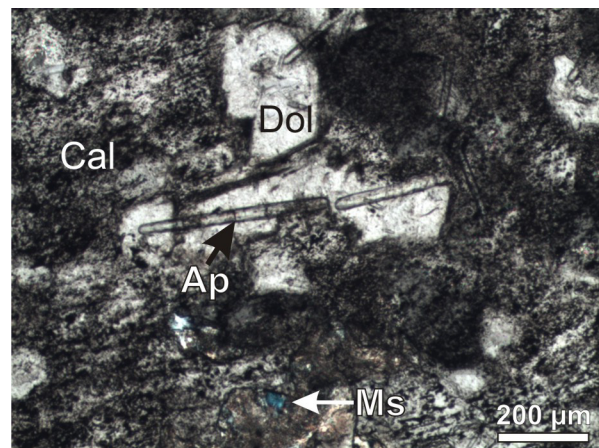


Abb. 3.111, Mikroskopaufnahme im Durchlicht mit Polarisator, dunkler Kalzit (Cal), heller Dolomit (Dol) mit einlagerungen von feinen Apatitstängeln (Ap) und kleinem Aggregat von Muskovit (Ms)

Randlich zu diesem Karbonat mit eher rundlich ausgebildeten Körnern befindet sich, nach fließendem Übergang, eine gröberkörnige, Karbonatader mit deutlich kantigen Komponenten, welche wieder aus Kalzit und Dolomit besteht. In diesen Marmor sind zwei Erzadern mit jeweils ca. 0,5 cm Stärke eingelagert. Die erste der beiden im Dünnschliff vorhandenen Erzadern besteht hauptsächlich aus Arsenkies und Pyrit, welche teilweise idiomorphe Formen aufweisen und oft stark geklüftet sind. Als Kluffüllung und randlich kommen in dieser Erzader Fahlerz aus der Tetrahedrit Reihe, welches häufig kleine Einschlüsse von Pyrit aufweist, oft mit Fahlerz assoziiert graue Zinkblende mit sehr kleinen Einschlüssen von Kupferkies, und etwas Zinnkies vor, welcher auch winzige Einschlüsse von Kupferkies aufweisen kann (Abb. 3.112, Abb. 3.113).

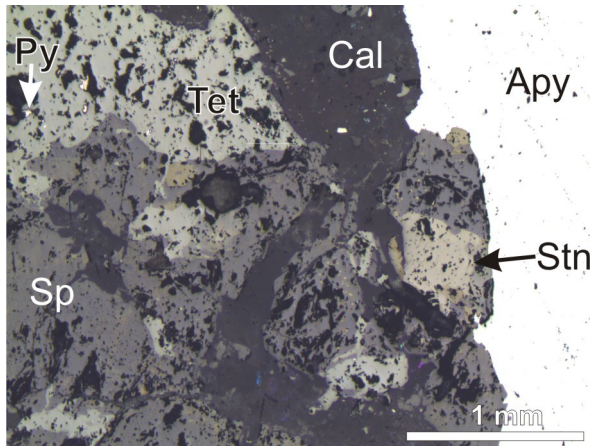


Abb. 3.112, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, Arsenkies (Apy), Tetrahedrit (Tet) mit winzigen Pyriteinschlüssen (Py), Zinkblende (Sp) und Zinnkies (Stn)

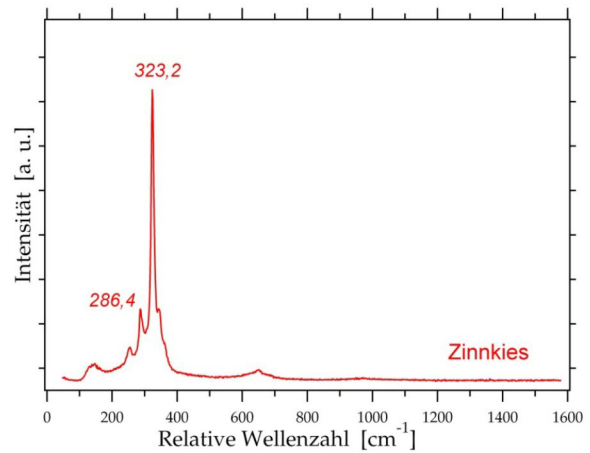


Abb. 3.113, Ramanspektrum von Zinnkies

Am Rand dieser polymetallischen Erzader und in Form von Einschlüssen in dieser tritt vereinzelt gesprenkeler Quarz auf, der randlich angegriffen erscheint und häufig idiomorphe Formen mit Zonarbau aufweist, daneben ist sehr selten etwas Muskovit vorhanden. Die zweite Erzader besteht praktisch vollständig aus grobblockigem Arsenkies und weist randlich nur sehr wenig Quarz auf.

CG19:

Gestein: Es handelt sich im Handstück um dunkles, graugrünes Gestein mit einer Quarzader von ca. 2 cm Mächtigkeit, welches graue Sulfide enthält.

Dünnschliff: 80 µm Schliffdicke

Anhand der mikroskopischen Untersuchung und der Nebenbedingungen ist dieses Gestein als kontaktmetamorph gebildete Meta-Arkose anzusprechen. Es weist eine deutliche sedimentäre Schichtung auf und ist großteils aus feinkörnigen Komponenten mit Korngrößen von meist um die 10 µm, teilweise jedoch bis zu ca. 5 mm aufgebaut. Diese Arkose besteht hauptsächlich aus bräunlichem Plagioklas, mit einer Zusammensetzung, welche entsprechend dem Ramanmuster Orthoklas repräsentiert und Quarz, welcher häufig lagenweise angereichert ist und auch größere Körner bilden kann. Außerdem sind häufig farbloser bis bräunlicher, meist zu kleinen Stapeln geformter Glimmer und auch Lagen, welche sehr reich an feinkörnigem Chlorit sind vorhanden, wobei zu erkennen ist, dass die hellen Glimmerminerale teilweise alteriert sein können (Abb. 3.115). Daneben sind verstreut kleine Zirkone, in Form kleiner rundovaler, farbloser Körner mit hohem Relief und teilweise Kalzit zu erkennen (Abb. 3.114).

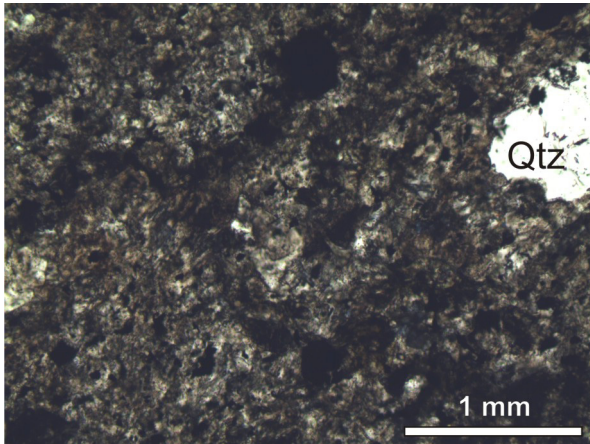


Abb. 3.114, Mikroskopaufnahme im Durchlicht mit Polarisator, geschichtete Arkose mit Quarz (Qtz), Plagioklas und Chlorit

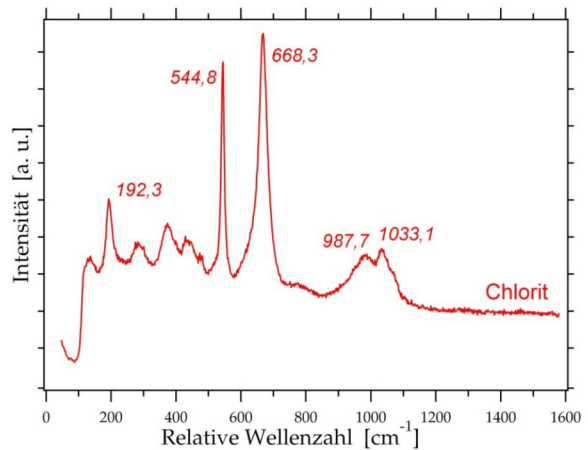


Abb. 3.115, das Ramanspektrum von Chlorit kann aufgrund unterschiedlicher Zusammensetzung von Mineralen innerhalb der Chloritgruppe etwas variieren

In der Arkose sind viele feinverteilte kleine Erzminerale vorhanden, wobei es sich um Zinkblende mit deutlichen Innenreflexen, kleine graue Titanoxide, Rutil, bereichsweise sehr kleine Körner von Kupferkies, selten etwas Pyrit, teilweise etwas größere, oft idiomorphe Körner von Löllingit, Arsenkies, und seltener kleine hellgraue, anisotrope, zackig verzwilligte Aggregate von Löllingit, handelt (Abb. 3.116).

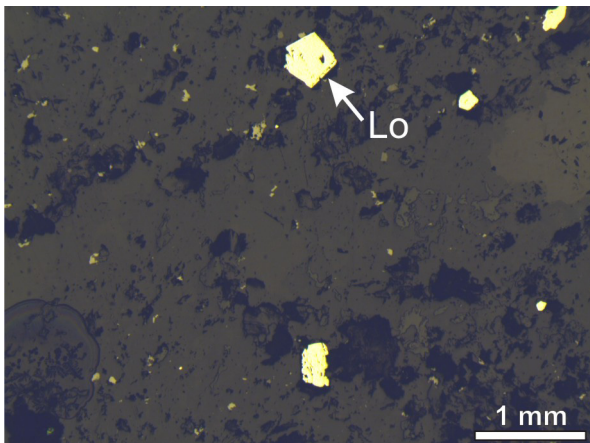


Abb. 3.116, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, Arkose mit Löllingit (Lo) und kleinen grauen Körnern von Rutil

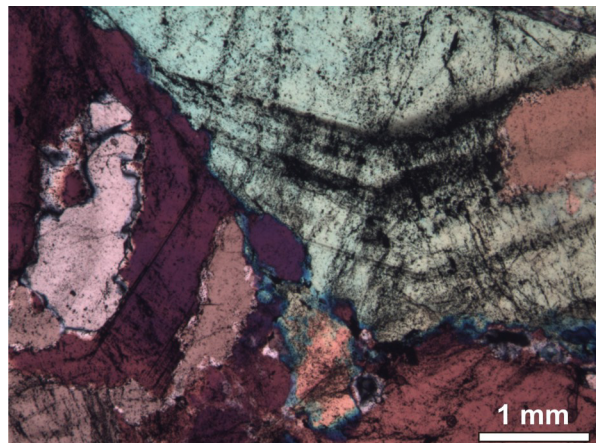


Abb. 3.117, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, zonarer, rekristallisierter Quarz

In dieser Metaarkose befindet sich eine Quarzader mit ca. 2 cm Mächtigkeit und Körngrößen von bis zu 5 mm, wobei die Quarzkomponenten dieser Ader durchwegs blockig, hypidiomorph ausgebildet sind, teilweise Zonarbau zeigen, häufig randlich angegriffen und rekristallisiert erscheinen (Abb. 3.117). In dieser Quarzader sind immer wieder Körner von Arsenkies mit bis zu 4 mm Korngröße eingelagert. Dieser Arsenkies kann manchmal idiomorphe Formen aufweisen, erscheint oft etwas löchrig und weist teilweise kleine, graue anisotrope und meist bläulich angelaufene Einschlüsse von wahrscheinlich gediegen Bismuth auf. Randlich ist dieser Arsenkies neben Quarz häufig von zum Teil spätig ausgebildetem Kalzit umgeben. Am Rand zur Arkose befindet sich ein ca. 0,5 cm mal 2,5 cm messender Bereich von grau verwaschen erscheinendem, grobspätigem Dolomit, welcher Arsenkies

enthält, wobei auch zwischen Skarn und Dolomit ein feines Quarzband mit in den Dolomit ragenden kleinen Quarzkristallen ausgebildet ist.

CG20:

Gestein: Es handelt sich im Handstück um graues Gestein mit granitähnlicher Textur und gelben verzweigten Adern von 1 mm bis 5 mm Stärke.

Dünnschliff: 80 µm Schliffdicke

Das Gestein besitzt eine leichte Bänderung und besteht hauptsächlich aus trübem, braunem Kalzit, daneben tritt häufig deutlich klarerer Dolomit mit meist spätiger Internstruktur auf, der Kalzit in unregelmäßig geformten Streifen zu umhüllen oder Zwickel zu füllen scheint (Abb. 3.120). In diese Karbonatminerale sind viele, annähernd sphärische, in ihrer Formgebung an größere Mineralkörner erinnernde Aggregate eingelagert, welche vollständig zu farblosem, feinblättrigem Muskovit (Abb. 3.118) und feinkörnigem Magnetit alteriert sind. Dabei sind die eingelagerten Muskovitplättchen und die Magnetitkörner einem, den Umrissen entsprechenden Zonarbau folgend, angeordnet (Abb. 3.119).

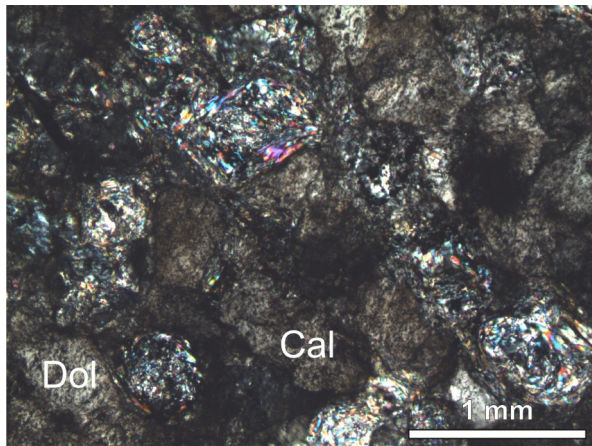


Abb. 3.118, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, zonar angeordnete Aggregate von Muskovit in Karbonat

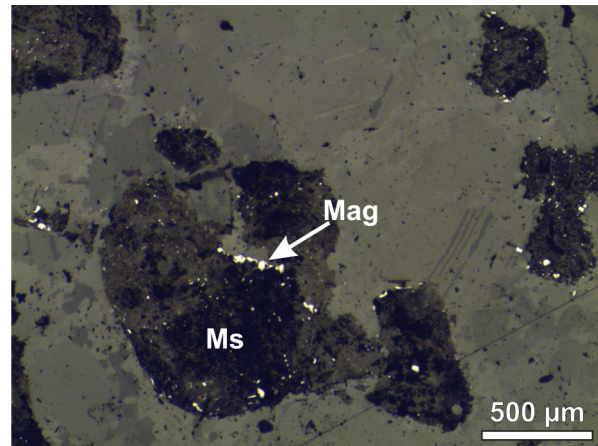


Abb. 3.119, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, kleine Körner von Magnetit (Mag), angelagert an konzentrisch angeordnete Muskovitplättchen (Ms)

Magnetit tritt auch im umgebenden Material, in Form von meist stark alterierten, gerüstartig erscheinenden, teilweise hypidiomorphe Berengungen aufweisenden Aggregaten auf, wobei zwei Magnetitkörner mit einem unregelmäßigen, sehr schmalen, gelben Saum von Pyrit vorhanden sind (Abb. 3.121).

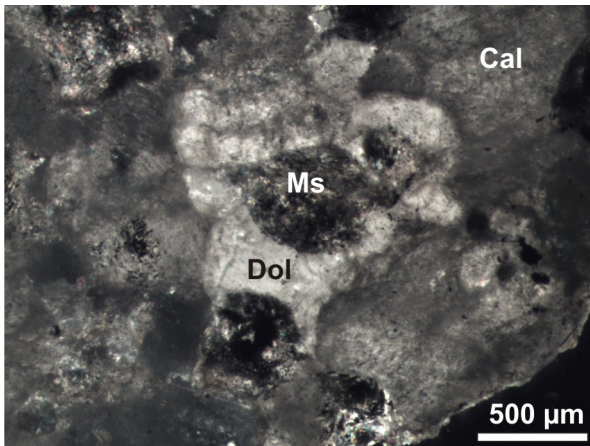


Abb. 3.120, Mikroskopaufnahme im Durchlicht mit Polarisator, Aggregat von konzentrisch angeordnetem Muskovit (Ms) umgeben von Dolomit (Dol) und Kalzit (Cal)

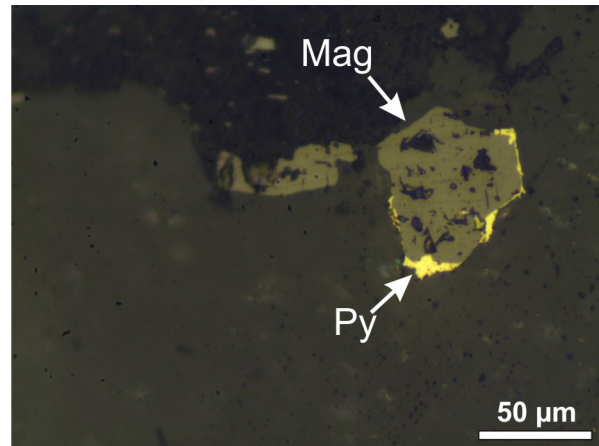


Abb. 3.121, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, hypidiomorpher Magnetit (Mag) von Pyritsaum (Py) umgeben

Daneben sind als Erzminerale kleine Körner von Arsenkies und seltener sehr kleine Körner von Kupferkies vorhanden.

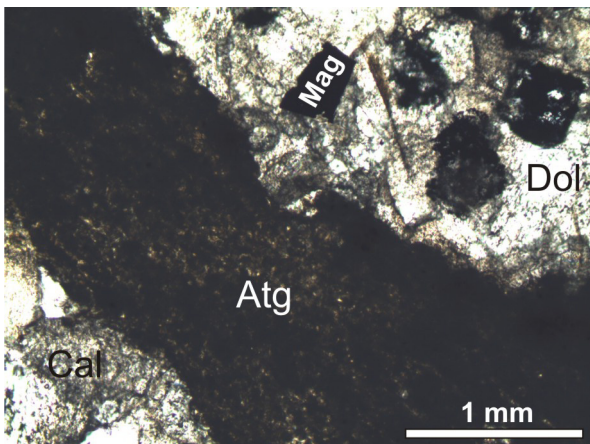


Abb. 3.122, Mikroskopaufnahme im Durchlicht mit Polarisator, Ader von feinkörnigem Antigorit (Atg)

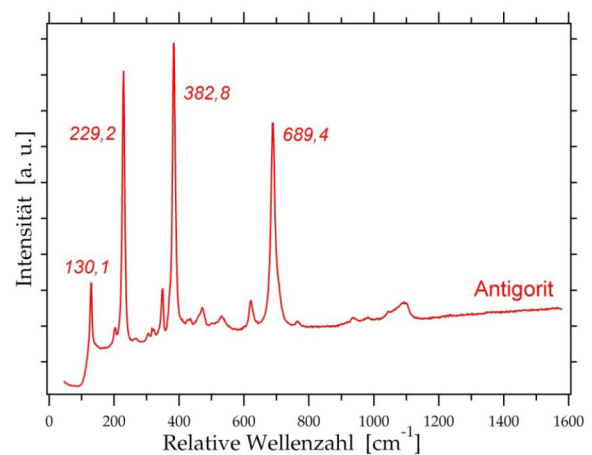


Abb. 3.123, Ramanspektrum von Antigorit

Bei den im Handstück gelben Adern (Abb. 3.122), handelt es sich um feinkörnige, blättchenförmige Serpentinminerale der Antigoritgruppe (Abb. 3.123) mit stark gesprenkelter Erscheinung und gelber bis bräunlicher Eigenfarbe, wobei diese Adern stark zerbrochen sind und keine Körner von Erzmineralen aufweisen.

CG21:

Gestein: Im Handstück ist eine massive graue Sulfidmineralisation in grünem Skarn mit einer feinen, hellen Ader erkennbar.

CG22:

Gestein: Es handelt sich im Handstück um fast schwarzes, massives, magnetisches Erz, welches hauptsächlich aus Magnetit mit lagenweise etwas Kupferkies besteht und von feinen grünen Lagen durchzogen ist.

Dünnschliff: 80 µm Schliffdicke

Im Erz sind immer wieder feine Adern und kleine Einschlüsse bestehend aus manchmal farblosem, oft gelblichem bis bräunlichem aber meist verschieden grünem, stark pleochroitischem Kalzium-Klinoamphibol vorhanden, wobei in Zwickeln von Klinoamphibol selten Kalzit auftreten kann (Abb. 3.125). Stellenweise tritt statt Amphibol farbloser bis leicht grünlicher Klinopyroxen aus der Diopsid – Hedenbergit Mischungsreihe mit körniger Erscheinung und Körngrößen von meist ca. 500 µm auf (Abb. 3.124).

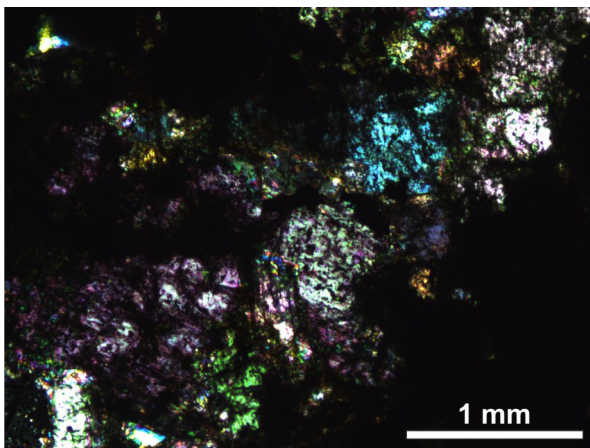


Abb. 3.124, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, teilweise alterierte Körner von Klinopyroxen

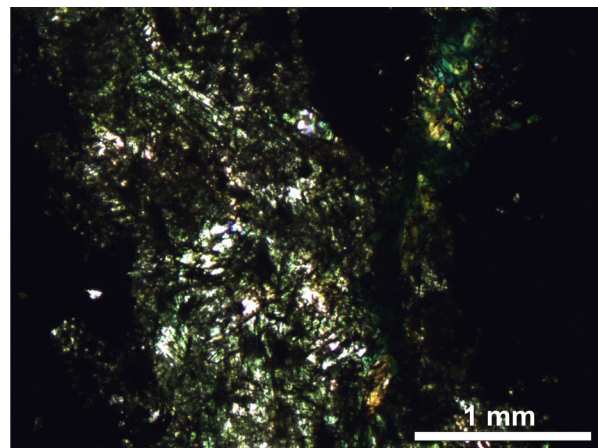


Abb. 3.125, Mikroskopaufnahme im Durchlicht mit Polarisator, verschieden gefärbte Kalzium-Klinoamphibole

Teilweise ist dieser Klinopyroxen zu Klinoamphibol alteriert. Als Erzmineral tritt vor allem Magnetit in Form von sehr großen, meist unregelmäßig begrenzten Aggregaten mit vielen Klüften und oft löchriger Erscheinung auf. Dieser Magnetit kann manchmal kleine Einschlüsse von Kupferkies und Pyrit, selten auch sehr kleine Einschlüsse von bräunlichem, stark anisotropem Magnetkies, welcher mit Kupferkies verwachsen sein kann, aufweisen. In Klüften ist teilweise Kupferkies angereichert, welcher oft mit Arsenkies, der Verwachsungen mit etwas hellerem und beim Polieren etwas härterem Löllingit bildet, vergesellschaftet ist (Abb. 3.126, Abb. 3.127, Abb. 3.129). In solchen zusammengesetzten Körnern können, am Kontakt zwischen Arsenkies und Löllingit manchmal winzige Körnchen von gediegen Bismuth und seltener Bismuthselenid, welches Leitakarit entsprechen könnte, vorhanden.

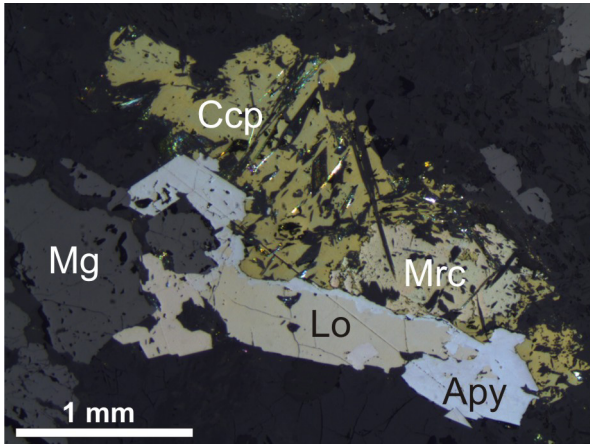


Abb. 3.126, Mikroskopaufnahme im Auflicht mit Analysator, Korn bestehend aus Arsenkies (Apy) und Löllingit (Lo), neben Magnetit (Mg), Kupferkies (Ccp) und Markasit (Mrc)

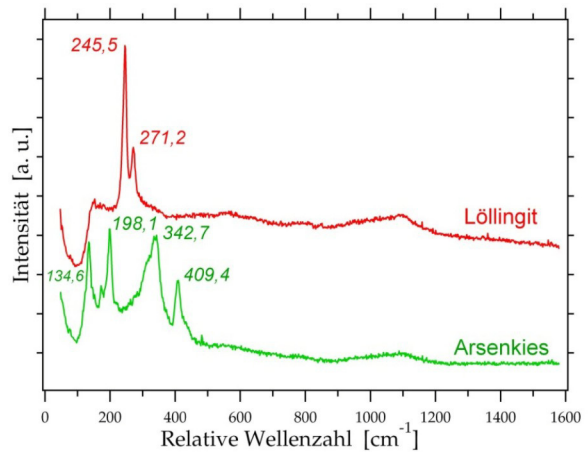


Abb. 3.127, Die Ramanspektren von Arsenkies und Löllingit sind deutlich unterschiedlich

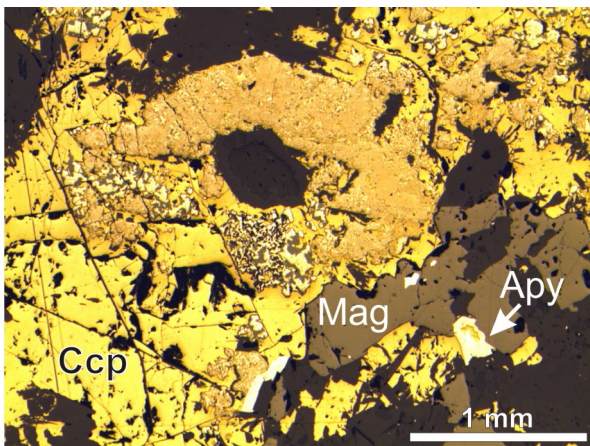


Abb. 3.128, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, der gesprenkelt erscheinende Bereich setzt sich vorwiegend aus Markasit und Magnetit (Mag) zusammen

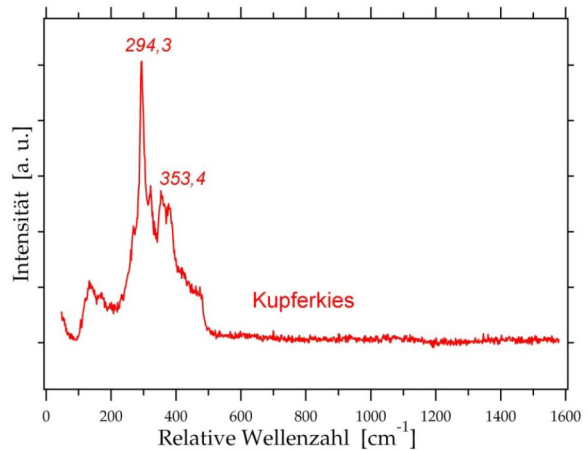


Abb. 3.129, Ramanspektrum von Kupferkies

Daneben sind im Zusammenhang mit Kupferkies häufig Bereiche von Pyrit beziehungsweise Markasit vorhanden, welche stellenweise gesprenkelt erscheinende Bereiche aufweisen, die von feinen, gitterartigen Verwachsungen mit meist Magnetit, seltener Hämatit herrühren (Abb. 3.128).

CG23:

Gestein: Es handelt sich im Handstück um Skarn mit einer massiven Kupferkiesmineralisation, welcher oberflächlich grünlich, stellenweise rostigbraun verwittert ist.

Dünnschliff: 80 µm Schlifffdicke

Es sind im Dünnschliff neben dem Erz kleinere Bereiche von Kalksilikatmineralen vorhanden, welche hauptsächlich aus, meist farblosem bis grünlichem, manchmal fleckig bräunlich alteriertem Klinopyroxen aus der Diopsid – Hedenbergit Mischungsreihe mit Korngrößen von großteils um die 100 µm bestehen. Auch sind einige größere, meist fast farblose, teilweise gelbliche bis rötliche, oft

zonierte Aggregate von Granat aus der Grossular- Andradit Mischungsreihe vorhanden, welche teilweise kleine, Einschlüsse von Klinopyroxen aufweisen (Abb. 3.130). Seltener treten größere Massen von einem kräftig grün gefärbten Alkali- Klinoamphibol auf.

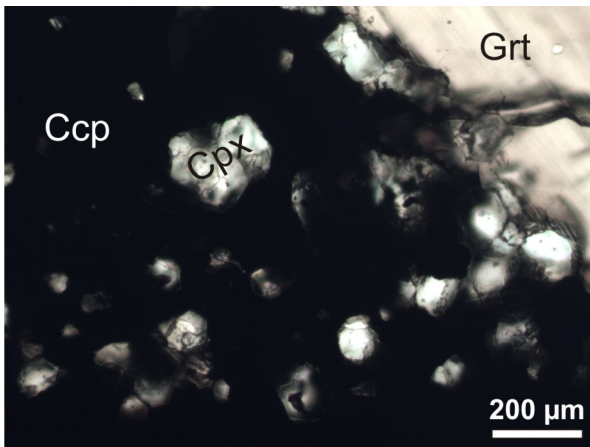


Abb. 3.130, Mikroskopaufnahme im Durchlicht mit Polarisator, zonierter Granat (Grt) im Kontakt zu Kupferkies (Ccp), welcher Klinopyroxen (Cpx) umschließt

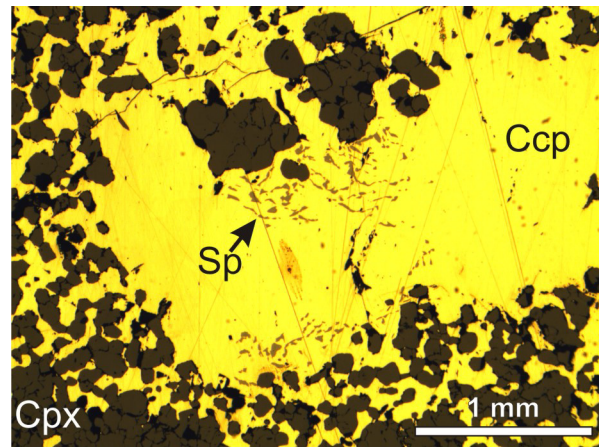


Abb. 3.131, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, Kupferkies (Ccp) mit wellenförmigen Entmischungen von Zinkblende (Sp) umhüllt Klinopyroxen (Cpx)

Als Erzmineral ist fast ausschließlich massiver Kupferkies vorhanden, welcher in Randbereichen Silikatminerale umhüllen kann und lediglich stellenweise kleinere Einschlüsse von weiteren Erzmineralen aufweist (Abb. 3.131). Hierbei handelt es sich meist um Einschlüsse von grauer, isotroper Zinkblende, welche einerseits in Form von etwas größeren Bereichen mit bis zu 500 µm Korngröße, die wiederum selbst kleine Entmischungen von Kupferkies aufweisen, oder in Form sehr kleiner, zackiger, unregelmäßiger oder wellenartiger Einschlüsse auftreten (Abb. 3.132, Abb. 3.133).

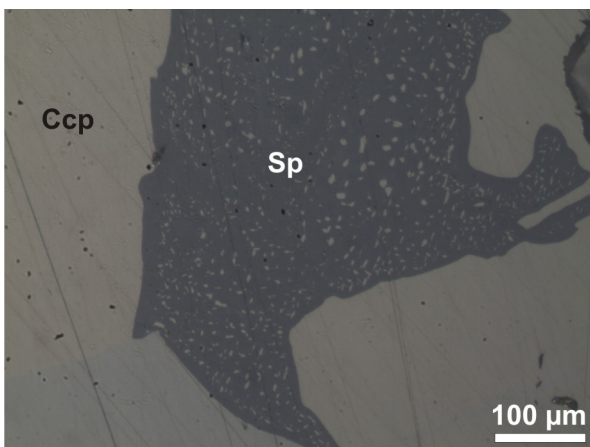


Abb. 3.132, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, Kupferkies (Ccp) mit größerem Einschluss von Zinkblende (Sp), Dieser wieder mit tröpfchenförmigen Entmischungen von Kupferkies

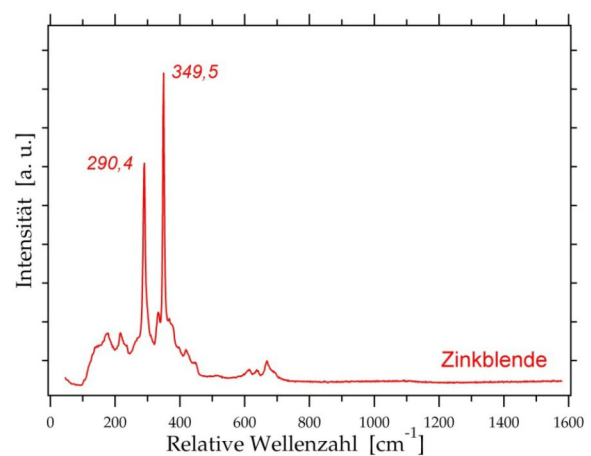


Abb. 3.133, Ramanspektrum von Zinkblende

Stellenweise kann in von Kalksilikaten dominierten Bereichen, meist entlang alteriert erscheinender Adern, Hämatit vorhanden sein (Abb. 3.134).

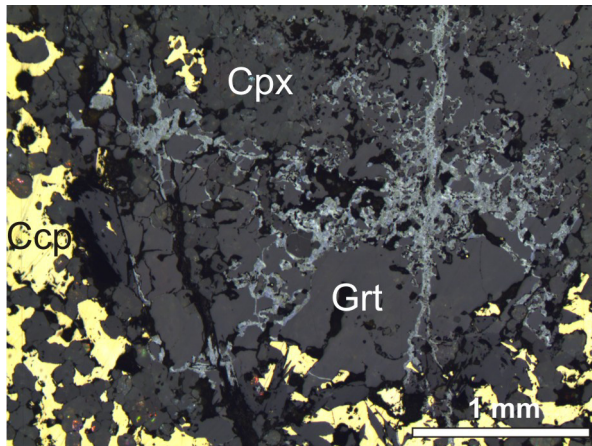


Abb. 3.134, Mikroskopaufnahme im Auflicht ohne Analysator, grauer Hämatit zwischen Kakksilikatmineralen

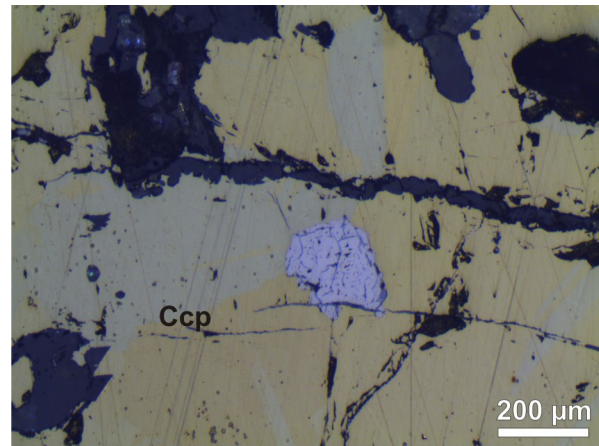


Abb. 3.135, Mikroskopaufnahme im Auflicht bei teilweise eingeklapptem Analysator, heller Einschluss in Kupferkies (Ccp), bestehend aus Arsenkies, welcher feine, graue Lamellen von Hämatit enthält

Daneben weist Kupferkies selten kleine, kompakt geformte hellweiße, anisotrope Einschlüsse von wahrscheinlich Arsenkies auf, welcher wiederum eine sehr feine, graue, Äderung von Hämatit zeigt (Abb. 3.135). In manchen feinen Rissen in Kupferkies ist randlich eine sehr schmale, anisotrope Anlagerung von bläulichem Kupferindig (CuS) vorhanden.

4 Elektronenstrahl Mikrosonde

Die zur Darstellung der Chemismen von Silikaten in Dreiecksdiagrammen nötigen stöchiometrischen Zusammensetzungen und die dazu nötige Differenzierung von Fe^{2+} und Fe^{3+} wurden anhand der Methoden laut Deer, Howie und Zussman (Deer, 1992) berechnet.

CG5:

Bei den in der Probe CG5 vorkommenden kleinen Titanitkristallen wurde versucht die genaue chemische Zusammensetzung, besonders auch in Bezug auf SEE, zu bestimmen. Titanit selbst konnte qualitativ eindeutig als solcher bestimmt werden. Allerdings gab es bei der quantitativen Auswertung Schwierigkeiten, da einer der Messkristalle für die quantitativen Standards offenbar für Titanit nicht vollständig passte. Trotzdem kann davon ausgegangen werden, dass dieser Titanit zumindest nachweisbare Spuren von Praseodym, Yttrium, Cer und Lanthan enthält (siehe Anhang).

CG7:

Die im Marmor vorkommenden Magnetitkristalle konnten mittels qualitativer Analyse eindeutig als solche bestimmt werden, wobei auch ein geringer Gehalt an Titan nachweisbar ist, es sich also um Titanomagnetit handelt.

Um die genaue chemische Zusammensetzung des Arsenkieses zu bestimmen und um einen Überblick über die Spurenelementverteilung, besonders auch in Hinblick auf Gold, zu erhalten, wurden an Arsenkies dieser Probe 35 quantitative Analysen durchgeführt. Die Gehalte an Gold befinden sich mehrheitlich unter der Nachweisgrenze von durchschnittlich 0,031 Massenprozent und erreichen maximal 0,1 Massenprozent. Es stellte sich heraus, dass sich der durchschnittliche Gehalt an Kobalt von rund 0,06 Massenprozent durchwegs über der Nachweisgrenze von durchschnittlich 0,021 Massenprozent befindet.

Ein Komplex aufgebautes Korn mit ca. 95 μm Durchmesser wurde genauer untersucht. Es konnte festgestellt werden, dass es großteils aus Magnetkies aufgebaut ist, welcher vor allem randlich viele kleine, hellgelbe, isotrope Einschlüsse enthält. Bei diesen handelt es sich um Pyrit, wobei manche Messungen nicht das volle Total erreichen, was auf Alteration und folglich Bereiche mit Oxiden beziehungsweise Hydroxiden hindeutet. Das gesamte Korn ist von einem schmalen, grauen Saum von Antimonit (Sb_2S_3) umgeben, welcher erst mittels Mikrosondenanalyse bestimmt wurde (Abb. 4.1).

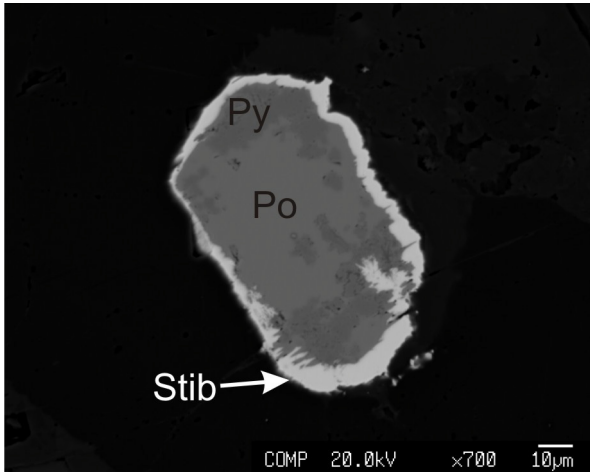


Abb. 4.1, Aufnahme mittels zurückgestreuter Elektronen (nachfolgend als BSE Bild bezeichnet), Komplexes Korn bestehend aus einem Kern aus Magnetkies (Po) mit kleineren Einlagerungen von zum Teil oxidiertem Pyrit (Py) mit einem Saum von Antimonit (Stib)

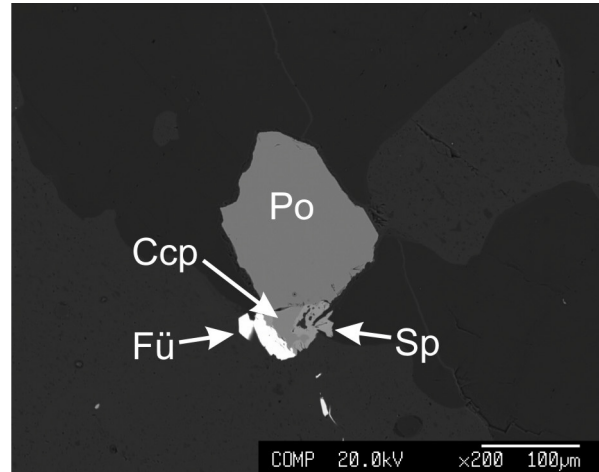


Abb. 4.2, BSE Bild, Korn bestehend aus Magnetkies (Po), Kupferkies (Ccp), Zinkblende (Sp) und Füllöppit (Fü)

Daneben wurden in einem Mineralaggregat mit körnig erscheinender Interntextur, bestehend aus Markasit und etwas Zinkblende einige Messungen an Markasit vorgenommen, wobei sich auch hier herausstellte, dass das Total in einigen Zonen, wahrscheinlich wegen oxidierter Bereiche nicht immer vollständig war.

Im Nahbereich zum körnigen Markasitkorn befindet sich ein weiteres interessantes, aus vier Mineralphasen aufgebautes Korn. Dieses besteht großteils aus Magnetkies, randlich sind etwas Zinkblende, Kupferkies und Füllöppit ($Pb_3Sb_8S_{15}$) angelagert, wobei erst aufgrund der quantitativen Analyse deutlich Hinweise für dieses Mineral vorlagen (Abb. 4.2).

Zusätzlich wurde in Arsenkies ein länglicher Einschluss von Fahlerz, auf seine Zusammensetzung auch bezüglich Edelmetalle hin genau untersucht. Bereits anhand der Darstellung mittels zurückgestrahlter Elektronen sind innerhalb dieses Kornes von Fahlerz inhomogene Bereiche erkennbar. Anhand der Messergebnisse ist ersichtlich, obwohl Zink in der Messung nicht berücksichtigt ist, dass der Gehalt an Arsen innerhalb des Kornes zwar von 0,68 bis 9,03 Massenprozent schwankt, aber Antimon mit 19,10 bis 29,62 Massenprozent deutlich überwiegt und es sich bei diesem Fahlerz um überwiegend Tetrahedrit handelt, welcher zudem zwischen 1,58 und 3,82 Massenprozent Silber enthält (Abb.4.3).

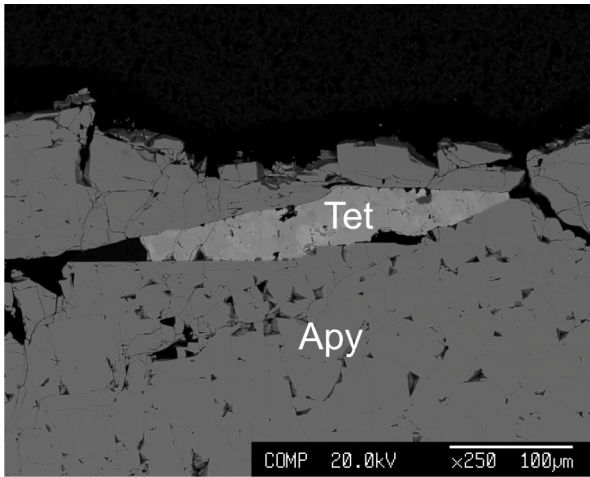


Abb. 4.3, BSE Bild, Einschluß von Tetrahedrit (Tet) in Arsenkies (Apy). Innerhalb von Tetrahedrit sind deutliche Inhomogenitäten zu erkennen

Mehrere Olivinkristalle wurden auf deren Zusammensetzung hin analysiert, wobei sich herausstellte, dass diese eine relativ reine Forsteritzusammensetzung besitzen, also fast reines Magnesiumsilikat mit nur um die zwei Prozent Eisen darstellen, wobei dieser Forsterit im Gestein direkt an Kalzitkörner oder Dolomit angrenzen kann (Tab. 4.1).

Auch die Zusammensetzung eines im Karbonat nahe zu Arsenkies eingebetteten Hellglimmerplättchens wurde genau analysiert, wobei ein Gehalt von 1,9 Massenprozent MgO auffällt.

CG8:

Einige Aggregate von Erzmineralen, welche innerhalb des grobspätigen Kalzites und besonders an dessen Randbereichen zu hypidiomorphem Quarz auftreten, wurden analysiert.

Die bandförmige Umrandung des ersten Aggregates besteht großteils aus Stibarsen (SbAs), knollenförmige Verdickungen stellen meist gediegen Antimon mit um die 5 Massenprozent Arsengehalt dar, daneben kommen auch untergeordnet verdickte Bereiche vor, welche aus Bleiglanz bestehen. An einem Ende dieses Gebildes ist ein Kern von Fahlerz, welches aufgrund der quantitativen Analyse als Tetrahedrit angesprochen werden kann, von einem schmalen Band bestehend aus Stibarsen und gediegen Antimon umgeben. In Nachbarschaft zu diesem Mineralaggregat befinden sich weiters einige kleinere Körner von Bleiglanz und von idiomorphem, oft sternförmig ausgebildetem Löllingit (FeAs_2) mit deutlichen Gehalten an Antimon (Abb. 4.4).

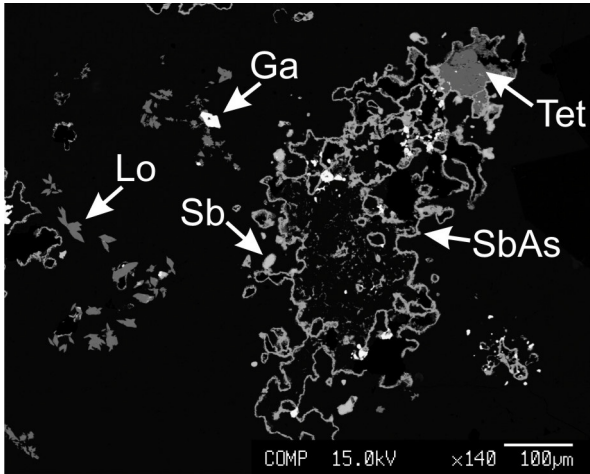


Abb. 4.4, BSE Bild, Auffallend bandartige Textur von Erzmineralen

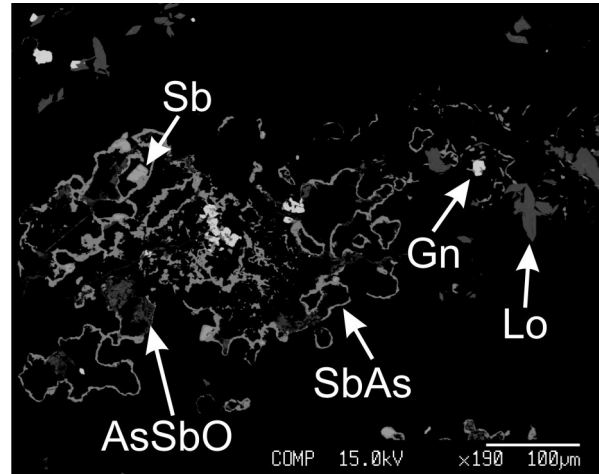


Abb. 4.5, BSE Bild, Stibarsen (SbAs) ist teilweise zu Stibioclaudetit (AsSbO) oxidiert

Darauf folgt wiederum ein bandförmiges Aggregat, welches zum Großteil aus Stibarsen und in knollenartigen Verdickungen aus gediegen Antimon mit ungefähr 5 Massenprozent Arsengehalt besteht, wobei, als deutlich dunklere Bereiche erkennbar, dieser Stibarsen randlich häufig zu Stibioclaudetit (AsSbO_3) oxidiert sein kann. In zentral gelegenen Bereichen ist als Teil der Bandartigen Struktur gehäuft Bleiglanz anzutreffen, wohingegen an randlichen Bereichen manchmal idiomorpher Löllingit mit deutlichem Gehalt an Antimon vorhanden ist (Abb. 4.5).

Das nächste Aggregat stellt wiederum ein bandartiges Gebilde dar, wobei hier eine Kleeblattähnliche Teilstruktur genauer untersucht wurde. Im Zentrum kann sich ein kleines, Pünktchen von Bleiglanz, danach folgt ein Bereich von gediegen Antimon mit geringem Arsengehalt, auf welchen ein geschlossener Bereich von Stibarsen folgt, welcher von einem geklüftet erscheinendem Bereich von Stibarsen umgeben ist, an den noch ein einzelnes, kleines Korn von Löllingit, welcher etwas Antimon enthält anlagert (Abb. 4.6, Abb. 4.7).

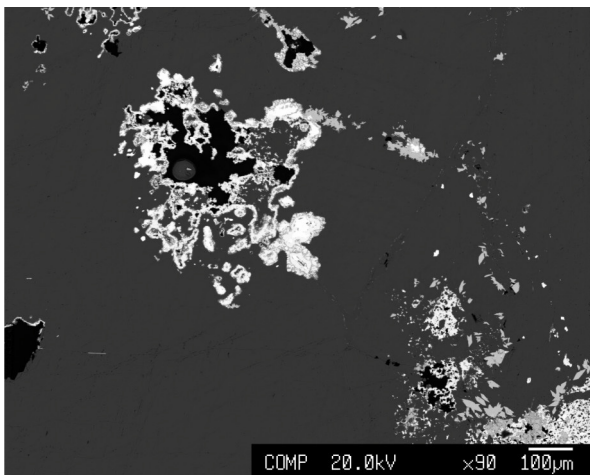


Abb. 4.6, BSE Bild, komplex aufgebautes, bandartiges Mineralaggregat

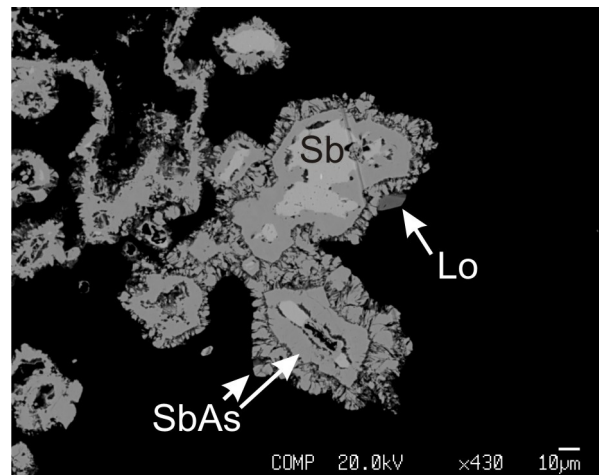


Abb. 4.7, BSE Bild Elektronen, Detailaufnahme von Abb. 4.6, gediegen Antimon (Sb) mit einem winzigen, heller erscheinenden Einschluß von Bleiglanz, umgeben von einer kompakt und einer fransig erscheinenden Lage von Stibarsen (SbAs) mit einem kleinen Korn von Löllingit (Lo)

Das folgende Erzmineralaggregat stellt ein wolkenartiges Gebilde dar. Dieses besteht in seinem Zentrum hauptsächlich aus Stibarsen, mit kleinen zwischengelagerten Körnern von Bleiglanz. Besonders in randlichen Bereichen befinden sich körnige Zonen von verschieden stark zu Stibioclaudeit oxidiertem Stibarsen. Dieses gesamte Aggregat ist von einem Saum von idiomorphem Löllingit, mit geringem Arsengehalt, umgeben (Abb. 4.8).

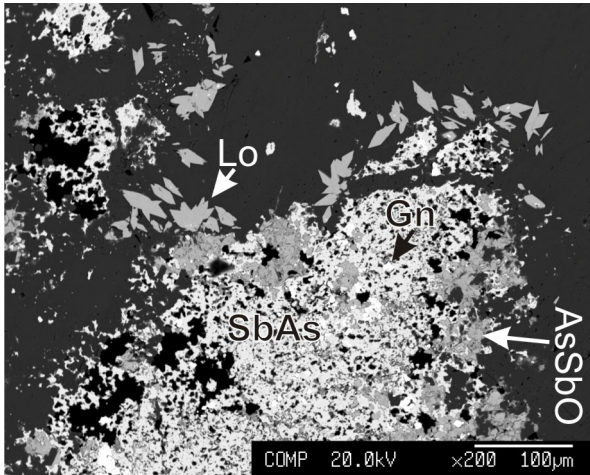


Abb. 4.8, BSE Bild, feinkörnige Erzminerale, Bereiche von Stibioclaudeit (AsSbO) erscheinen deutlich dunkler als Stibarsen (SbAs)

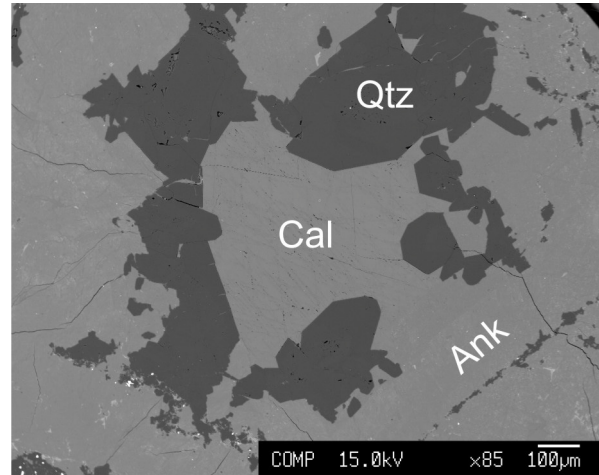


Abb. 4.9, BSE Bild, Ankerit (Ank) zeigt teilweise inhomogene Bereiche mit darin feinverteilten Silikatmineralen

Außerdem wurden mittels Elektronenstrahlmikrosonde mehrere Erzminerale in einem Bereich analysiert, in dem wenige stäbchenförmige Körner von Pääkkönenit (Sb_2AsS_2) vorhanden sind, welche von sternförmigem, Antimon-hältigem Löllingit und kleinen gesprenkelt erscheinenden Körnern, welche sich aus etwas dunkler erscheinendem Stibarsen und hellerem gediegen Antimon zusammensetzen, vorhanden sind.

Im Bereich der Gangart wurden klarer Quarz, welcher sich als sehr rein bestätigte, heller und reiner Kalzit und braunes Karbonat untersucht, welches als Ankerit bestimmt werden konnte. Dieser Ankerit weist deutliche Gehalte an hauptsächlich Kalzium (18,32 bis 21,90 Massenprozent CaO), aber auch sehr viel Eisen (14,48 bis 17,81 Massenprozent FeO), dazu etwas Magnesium (6,90 bis 8,82 Massenprozent MgO) und Mangan (3,77 bis 5,03 Massenprozent MnO) auf und enthält wahrscheinlich darin feinverteilte Silikatminerale (Abb. 4.9).

CG9:

Ein dreieckig geformtes Korn von Plagioklas umschließt einen chloritisierten Bereich. In diesem Chlorit befinden sich winzige, hell, weiße Erzminerale, welche sich, allerdings lediglich laut qualitativer, Analyse, in abfallender Konzentration, aus Arsen, Schwefel, Nickel, Eisen und Antimon zusammensetzen.

Die Untersuchung von grobspätigem, verzwilligtem Kalzit bestätigt die sehr reine Zusammensetzung von diesem Kalziumkarbonat.

Als Silikatmineral wurden bei einem Prehnitkorn Messungen durchgeführt, welches Spuren von Praseodym (0,12 bis 0,13 Massenprozent Pr_2O_3) enthält.

Die Messungen in verschiedenen Granatkristallen ergaben relativ niedrige Eisengehalte zugunsten von hohen Gehalten an Aluminium und somit eine Zusammensetzung (siehe Anhang), die überwiegend

Grossular (72,9 % bis 83,2 % Grossular, 8,6 % bis 23,3 % Andradit, 3,8 % bis 10,0 % Almandin) entspricht (Abb. 4.10).

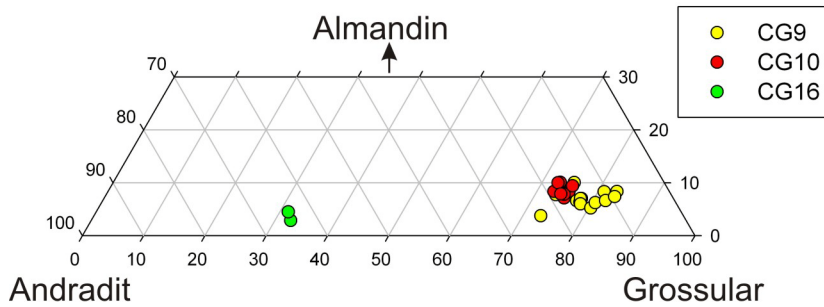


Abb. 4.10, Vergleichende Darstellung der in den Proben CG9, CG10 und CG16 analysierten Granate im Dreiecksdiagramm. Die analysierten Granate repräsentieren anhand ihrer chemischen Zusammensetzung zwar auch Andradit, stellen mehrheitlich jedoch Grossular dar

Demgegenüber enthält der in dieser Probe analysierte Plagioklas (siehe Anhang) fast kein Kalzium und stellt eindeutig Albit (97,2 % bis 99,1 % Albit, 0,3 % bis 1,4 % Anorthit, 0,2 % bis 1,5 % Kalifeldspat) dar (Abb. 4.11).

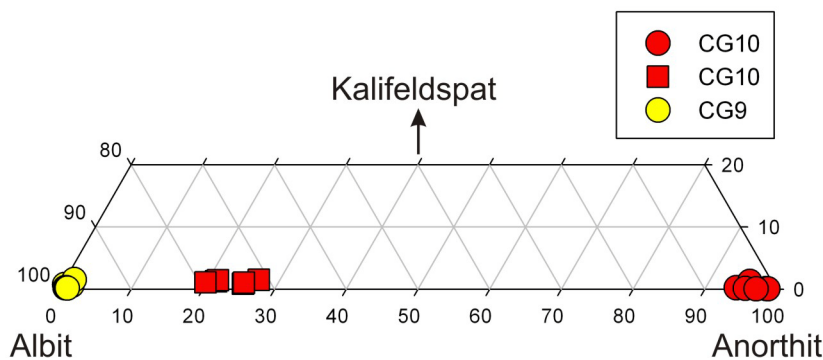


Abb. 4.11, Vergleichende Darstellung der in den Proben CG9, und CG10 analysierten Plagioklase. Die chemische Zusammensetzung der gemessenen Plagioklase ist sehr variabel und reicht von Albit bis Anorthit. Sogar innerhalb einer Probe sind sowohl Oligoklas als auch Anorthit enthalten

Auch wurden Messungen an zonar aufgebautem Vesuvianit mit leicht grauer Eigenfarbe vorgenommen, wobei auffällt, dass sich die gemessene chemische Zusammensetzung bis auf den Titangehalt, welcher zwischen 0,64 und 2,58 Massenprozent schwankt, recht einheitlich zeigt (Abb. Tab. 4.1).

Anzahl an Ionen auf der Basis von n Sauerstoffatomen				
Probe:	CG7	CG9	CG9	CG9
Mineral	Forsterit	Epidot Mess. 1	Epidot Mess. 2	Vesuvianit
Element\ n	4	12,5	12,5	78
Al	0,00	2,38 - 2,39	1,64 - 2,11	9,14 - 10,28
Si	0,98 - 0,99	3,16 - 3,18	3,67 - 3,96	19,34 - 19,68
K	b.d.l. - 0,00	0,00	0,00 - 0,01	b.d.l. - 0,02
Mn	0,00	0,00	0,01 - 0,04	0,03 - 0,07
Na	b.d.l. - 0,00	0,00 - 0,01	0,01	b.d.l. - 0,07
Ca	0,00 - 0,01	1,98 - 2,02	0,98 - 1,23	19,33 - 19,83
Fe ²⁺	0,04	0,55 - 0,57	0,59 - 0,69	1,26 - 1,59
Mg	1,96 - 1,98	0,00 - 0,01	0,01 - 0,26	2,00 - 2,28
Ti	b.d.l. - 0,00	0,00 - 0,01	0,00 - 0,03	0,27 - 1,05
Pr	-	-	0,01 - 0,02	-
Ce	-	-	0,06 - 0,11	-
Y	-	-	0,00 - 0,01	-
La	-	-	0,02 - 0,04	-
Total	99,80 - 101,46	90,31 - 91,79	91,51 - 96,43	91,18 - 93,18

Tab. 4.1, Schwankungsbreite der gemessenen chemischen Zusammensetzungen von Forsterit der Probe CG7, Epidot der Probe CG9 (2 Messreihen) und Vesuvianit der Probe CG9, auf 2 Kommastellen gerundet

In einem größeren, stark zonar aufgebautem Korn aus der Epidot- Klinozoisitreihe mit gelblicher bis bräunlicher Eigenfarbe und stellenweise deutlich dunkleren Bereichen, welches zudem noch ein längliches Titanitkorn umschließt, wurden Profile gemessen. Es wurden aufgrund eines zu geringen Totals bei der ersten Messung, zwei voneinander unabhängige Messreihen durchgeführt, wobei bei der zweiten Messreihe der Siliziumgehalt für Epidot zu hoch erscheint. Außerdem ergab die angewandte Berechnungsmethode nur zweiwertiges Eisen, welches jedoch standardgemäß dreiwertig sein sollte. Es zeigt sich dennoch, dass die chemische Zusammensetzung mehrheitlich Epidot entspricht, aber auch inhomogen ist (Tab. 4.1). Die dunkel erscheinenden Bereiche rühren von Alteration, beziehungsweise Einschlüssen innerhalb des Epidots her. Die Zonierung, welche durch Farbunterschiede deutlich sichtbar ist, kann aufgrund der quantitativen Analyse durch Substitution von Silizium durch Aluminium erklärt werden, daneben konnten auch deutliche Gehalte an Praseodym, Yttrium, Cer und Lanthan gemessen werden. Außerdem konnten in diesem Epidot winzige Körner von Bleiglanz erkannt werden (Abb. 4.12).

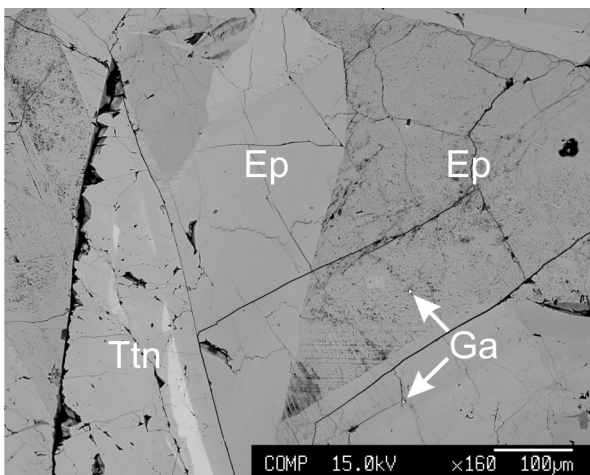


Abb. 4.12, BSE Bild, Titanitkristall (Ttn) in zoniert aufgebautem Epidot (Ep), daneben in Epidot winzige Einschlüsse von Bleiglanz (Ga)

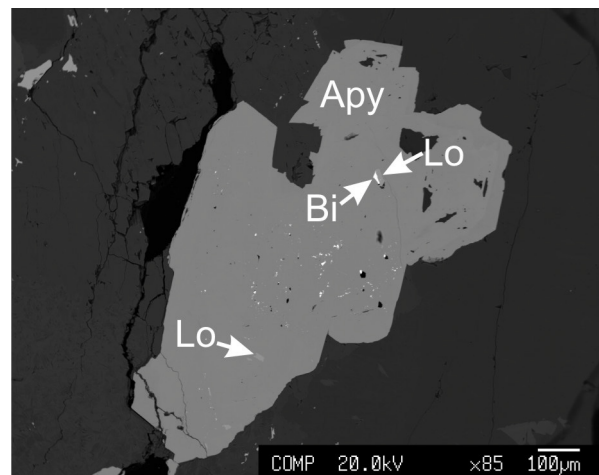


Abb. 4.13, BSE Bild, Einschlüsse von Löllingit und Bismuth in Arsenkies

Daneben wurden in einem ca. 1 mm messenden Korn bestehend aus Arsenkies, qualitativ etwas Löllingit und kleine Einschlüsse von gediegen Bismuth nachgewiesen, wobei Bismuth häufig auch entlang der Korngrenze zwischen Arsenkies und Löllingit auftritt (Abb. 4.13).

CG10:

Es wurde ein großes zonar aufgebautes Granatkorn, welches randlich alteriert ist und viele kleine Einschlüsse von Klinopyroxenen enthält untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass die chemische Zusammensetzung (siehe Anhang) des Granates näher bei Grossular (72,6 % bis 75,3 % Grossular, 15,3 % bis 18,8 % Andradit, 7,1 % bis 10,1 % Almandin) als bei Andradit liegt (Abb. 4.10).

Obwohl der Granat fast kein Magnesium, dafür aber doch einiges an Eisen enthält, handelt es sich bei kleinen Klinopyroxenen, welche als Einschlüsse in alteriert erscheinenden Zonen dieses Granates vorhanden sind, um Diopsid (48,1 % bis 50,4 % Wollastonit, 43,0 % bis 47,4 % Enstatit, 4,4 % bis 6,6 % Ferrosilit) mit im Gegensatz dazu relativ niedrigen Eisengehalten und hohen Magnesiumgehalten (siehe Anhang) (Abb. 4.14).

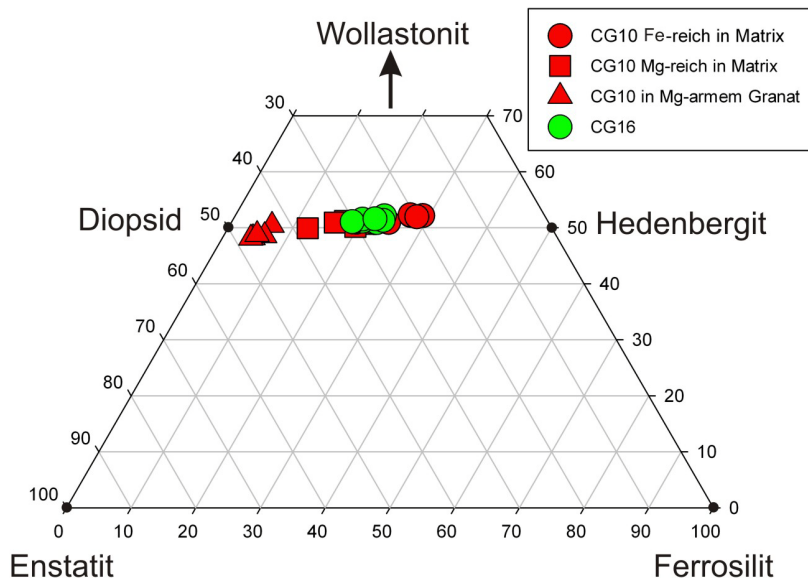


Abb. 4.14, Vergleichende Darstellung der in den Proben CG10 und CG16 analysierten Pyroxene aus der Diopsid - Hedenbergit Reihe. Die analysierten Klinopyroxene repräsentieren anhand ihrer chemischen Zusammensetzung mehrheitlich Diopsid. Dies steht in Analogie zum mehrheitlich kalzitischen Vorläufergestein des Skarns

Daneben wurden in alteriert erscheinendem, sehr feinkörnig aufgebautem Skarn mehrere Messungen durchgeführt. In der Darstellung mittels zurückgestrahlter Elektronen (BSE Bild) sind bereits vier Bereiche, nämlich sehr hell, hell, dunkel und sehr dunkel erkennbar. Mittels quantitativer Analyse (siehe Anhang) wurde ermittelt, dass es sich bei den hellen und sehr hellen Körnern um Klinopyroxenen, nämlich bei den hellen eher um Diopsid (49,9 % bis 51,2 % Wollastonit, 28,8 % bis 37,8 % Enstatit, 12,3 % bis 20,5 % Ferrosilit) und bei den sehr hell erscheinenden Körnern mehrheitlich um Hedenbergit (50,6 % bis 52,3 % Wollastonit, 18,8 % bis 29,2 % Enstatit, 20,2 % bis 29,0 % Ferrosilit) handelt (Abb. 4.14).

Dagegen sind die im BSE Bild dunkel und sehr dunkel erscheinenden Körner Plagioklase. Davon stellen laut quantitativer Analyse (siehe Anhang) die dunklen Körner das Kalziumendglied der Plagioklasreihe Anorthit (1,2 % bis 5,5 % Albit, 94,3 % bis 98,8 % Anorthit, 0,1 % bis 1,2 % Kalifeldspat) dar, die sehr dunklen Körner befinden sich innerhalb der Plagioklasreihe im Bereich von Oligoklas (71,4 % bis 79,1 % Albit, 19,8 % bis 27,1 % Anorthit, 0,9 % bis 1,5 % Kalifeldspat) (Abb. 4.11).

CG12:

Es wurden einige Analysen an Kupferkies, dem am häufigsten in dieser Probe vorkommenden Erzmineral und Markasit, welcher oft mit Magnetit und Hämatit verwachsene, gesprenkelt erscheinende Bereiche innerhalb von Kupferkies bildet durchgeführt. Es stellte sich heraus, dass die Gehalte der Edelmetalle Gold und Silber meist unter der Nachweisgrenze liegen.

Die Messungen an hellem, meist fast farblosem Klinoamphibol, welcher in dieser Probe bis zu mehrere cm mächtige Adern aufbaut, sind als semiquantitative Messungen aufzufassen, da der verwendete Standard bei diesem Amphibol für Silizium zu hohe Messwerte bewirkte. Trotzdem ist ersichtlich, dass diese Amphibole mit 21,3 bis 27,7 Massenprozent Magnesiumoxid besonders reich an Magnesium sind, aber lediglich 5,6 bis 8,8 Massenprozent Eisenoxid enthalten. Anhand dieser Werte und auch aufgrund der gemessenen Ramanspektren stellen die leicht grünlichen und etwas Magnesium ärmeren Amphibole Aktinolith dar wogegen die hellen, farblosen Amphibole, welche den Großteil dieser Adern aufbauen, als Tremolith anzusprechen sind.

Daneben wurden einige Messungen an einem blauen Schichtsilikat durchgeführt, welches anhand der gewonnenen Analysedaten und unter Einbeziehung von Ramanspektrometermessungen sowie mikroskopischer Beobachtungen als blauer Phlogopit zu bezeichnen ist, wobei blaue Varietäten dieses Minerals unter der Bedingung auftreten, dass diese praktisch kein Titan enthalten, was bei der vorliegenden Probe tatsächlich der Fall ist.

Auch wurden Messungen an braunen Mineralen und an helleren stark alteriert erscheinenden Bereichen durchgeführt, welche diese braunen Bereiche häufig umgeben, daneben noch an rötlichen Bereichen innerhalb der alteriert erscheinenden Masse, welche darauf schließen lassen, dass es sich dabei um Serpentinminerale handeln könnte.

CG13:

In dieser Probe ist häufig Magnetit mit Pyrit, Arsenkies Löllingit und Kupferkies verwachsen. Einige Messungen wurden an Pyrit durchgeführt, welcher manchmal nachweisbare Gehalte an Edelmetallen aufweisen kann (Abb. TabCG13MS1).

Arsenkies enthält häufig unregelmäßig verteilte Einschlüsse von Löllingit (Abb. 4.15).

In einem Einzelfall konnte in Magnetit ein kleiner Einschluss von Uraninit nachgewiesen werden (Abb. 4.16).

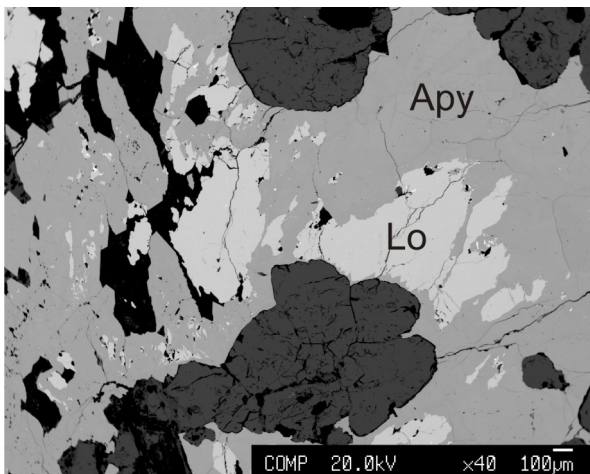


Abb. 4.15, BSE Bild, Gefüge von Arsenkies (Apy) und Löllingit (Lo)

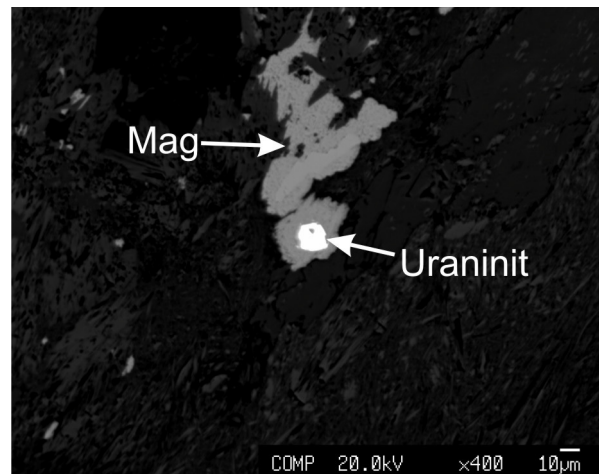


Abb. 4.16, BSE Bild, Uraninit in Magnetit (Mag)

In Magnetit sind stellenweise kleine, manchmal idiomorphe, Einschlüsse von gediegen Bismuth anzutreffen. Gediegen Bismuth ist teilweise mit etwas Arsenkies verwachsen, welcher wiederum einen kleinen Einschluss von Löllingit aufweisen kann (Abb. 4.17).

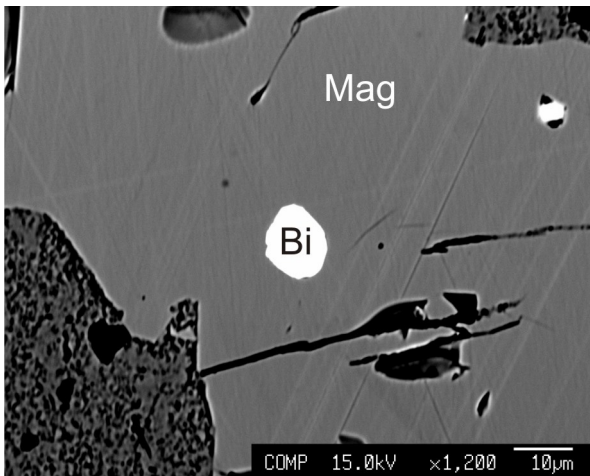


Abb. 4.17, BSE Bild, gediegen Bismuth (Bi) in Magnetit (Mag)

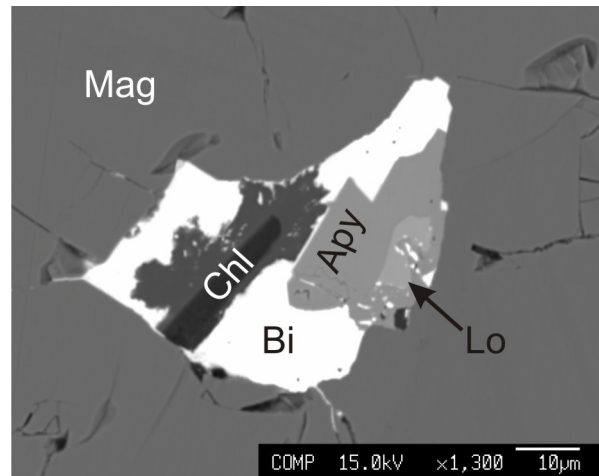


Abb. 4.18, BSE Bild, Magnetit (Mag) mit Einschluß bestehend aus gediegen Bismuth (Bi), Arsenkies (Apy) und Löllingit (Lo)

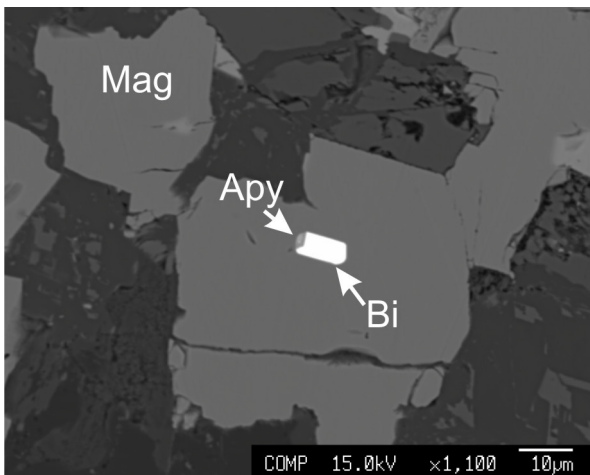


Abb. 4.19, BSE Bild, Kristall aus gediegen Bismuth (Bi) und Arsenkies (Apy) in Magnetit (Mag)

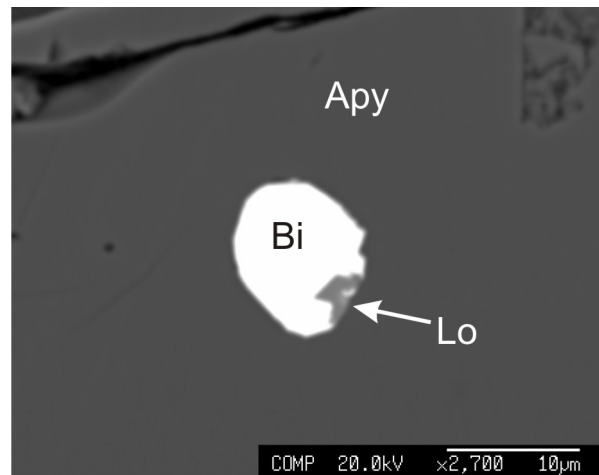


Abb. 4.20, BSE Bild, gediegen Bismuth (Bi) mit Löllingit (Lo) in Magnetit (Mag)

Diese Körner von gediegen Bismuth besitzen sehr kleine Dimensionen, mit meist maximal 10 µm Durchmesser, wodurch bei den quantitativen Messungen etwas Eisen, welches vom umgebenden Magnetit herrührt, aufscheint (Abb. 4.18, Abb. 4.19, Abb. 4.20).

CG16:

Es wurden quantitative Analysen an Markasit und an zackig, blockig ausgebildetem Pyrit durchgeführt, wobei bei keiner dieser Messungen Gold nachweisbar war. Dieser Pyrit kann aber kleine Einschlüsse von oft sternförmiger Zinkblende aufweisen (Abb. 4.21).

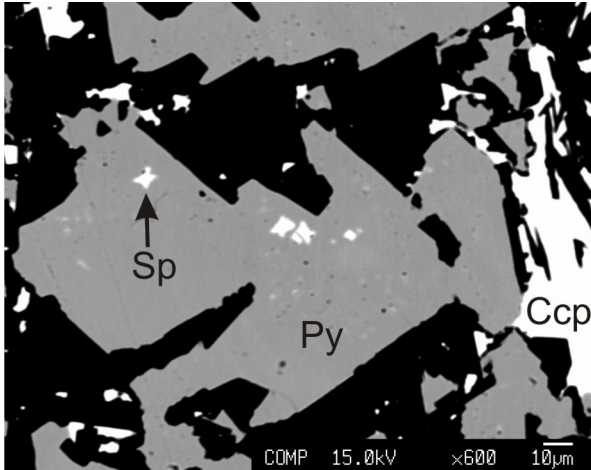


Abb. 4.21, BSE Bild, Pyrit (Py) mit sternförmigen Einschlüssen von Zinkblende (Sp)

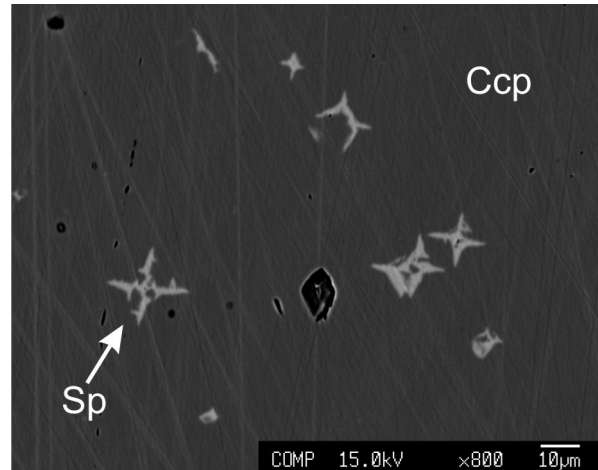


Abb. 4.22, BSE Bild, Kupferkies (Ccp) mit sternförmigen Einschlüssen von Zinkblende (Sp)

Bei den Analysen von Magnetkies ist auffällig, dass in diesem häufig etwas höhere Konzentrationen an Kobalt (0,10 bis 0,20 Massenprozent Co) vorliegen, als in den übrigen in dieser Probe untersuchten Erzmineralen. Zusätzlich wurde in Magnetkies ein sehr kleiner, sowohl im Auflicht als auch im BSE Bild, hell erscheinender Einschluss erkannt, welcher laut qualitativer Analyse aus Blei und Selen besteht.

Dazu wurden auch quantitative Messungen an Kupferkies durchgeführt. Dieser enthält, stellenweise angereichert graue, sehr kleine, und filigran erscheinende, oft auffällig sternförmig ausgebildete Einschlüsse, welche qualitativ als Zinkblende bestimmt werden konnten (Abb. 4.22).

Es wurden Messungen an einem Granatkorn aus der Grossular- Andradit Mischungsreihe mit gelblicher Eigenfarbe und Zonarbau durchgeführt, welches randlich stark zu kleinen Klinopyroxenkörnern alteriert ist. Anhand der Messdaten (siehe Anhang) ist ersichtlich, dass es sich bei diesem Granat überwiegend um Andradit (31,4 % bis 32,6 % Grossular, 64,1 % bis 64,6 % Andradit, 2,9 % bis 4,5 % Almandin) handelt (Abb. 4.10).

Zusätzlich wurden im Nahbereich des analysierten Granatkorns an kleinen Körnern von Klinopyroxen Messungen (siehe Anhang) durchgeführt, wobei es sich dabei mehrheitlich um Diopsid (50,9 % bis 52,1 % Wollastonit, 24,8 % bis 30,3 % Enstatit, 18,6 % bis 23,3 % Ferrosilit) handelt (Abb. 4.14).

CG18-1:

Bei den Messungen von Pyrit, welche in dieser Probe zwei Mal unabhängig voneinander durchgeführt wurden, fällt auf, dass dieser Pyrit durchwegs Arsen von 0,93 bis 2,36 Massenprozent enthält.

Daneben wurden auch einige Messungen an Arsenkies, dem häufigsten Erzmineral in dieser Probe, vorgenommen, wobei der Goldgehalt mehrheitlich unter der Nachweisgrenze liegt.

In dieser Probe ist, in Form kleiner Einschlüsse in Arsenkies und randlich um diesen, oft Fahlerz vorhanden, wobei die Analysen ergaben, dass es sich um Tetrahedrit handelt, welcher Silbergehalte zwischen 0,85 und 1,99 Massenprozent aufweist.

Einige Messungen wurden an Chalkostibit (CuSbS_2) durchgeführt, welcher im Auflicht heller bläulichgrau als Tetrahedrit erscheint, und recht häufig in Form kleiner Einschlüsse in Tetrahedrit aber auch als einzelne kleine Körner in Klüften zwischen Arsenkies vorkommt.

Als kleine Einschlüsse in Tetrahedrit, aber auch als größere hypidiomorphe Aggregate ist Zinnkies vorhanden, welcher im Auflicht dunkler bräunlichgrau als Tetrahedrit wirkt. Aus den von Zinnkies ($\text{Cu}_2(\text{Fe,Zn})\text{SnS}_4$) gewonnenen Analysedaten konnte ein stöchiometrisches Verhältnis zwischen Eisen und Zink von annähernd zwei zu eins berechnet werden.

Dazu wurde Zinkblende quantitativ analysiert, welche als Einschluss in Zinnkies vorhanden ist und selbst wieder winzige Einschlüsse von Kupferkies zeigt (Abb. 4.23).

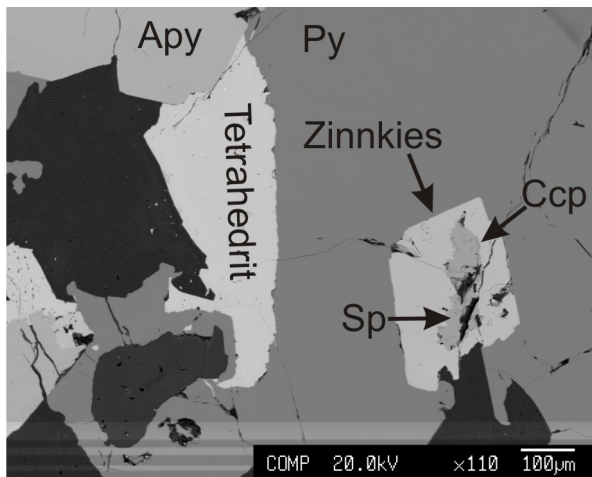


Abb. 4.23, BSE Bild, Arsenkies (Apy), Tetrahedrit und Pyrit (Py), mit Einschluss eines hypidiomorphen Aggregates von Zinnkies mit Zinkblende (Sp) und winzigen, etwas dunkler erscheinenden Entmischungen von Kupferkies (Ccp)

Zwischen Arsenkies kommen kleinere Bereiche von Kupferkies vor, welche quantitativ gemessen wurden.

Kleine, im Auflicht stark anisotrope Körner, welche mit Tetrahedrit verwachsen sein können oder als sehr kleine eigenständige Mineralphasen auftreten, konnten mithilfe quantitativer Analyse eindeutig als Bourbonit (PbCuSbS_3) bestimmt werden (Abb. 4.24).

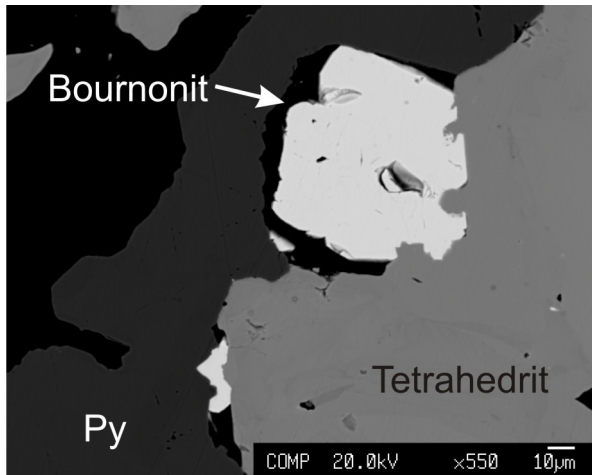


Abb. 4.24, BSE Bild, Bournonit mit Tetrahedrit und Pyrit (Py)

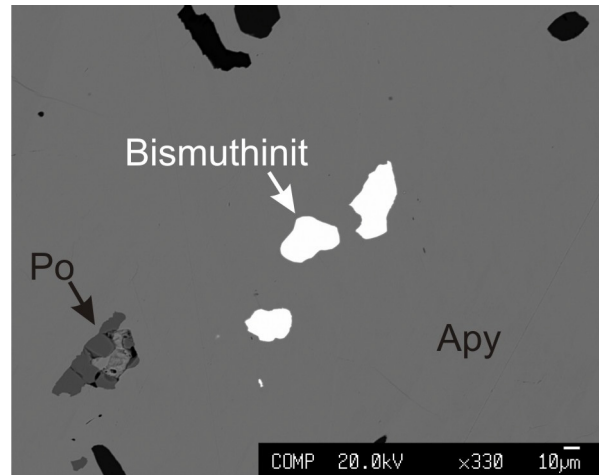


Abb. 4.25, BSE Bild, Arsenkies (Apy) mit Einschlüssen von Magnetkies (Po) und Bismuthinit

Innerhalb von Tetrahedrit wurde mittels qualitativer Analyse auch ein kleines Korn von gediegen Antimon nachgewiesen.

Außerdem wurden an kleinen Körnern innerhalb von Arsenkies quantitative Messungen durchgeführt, wobei sich herausstellte, dass es sich dabei um Bismuthinit (Bi_2S_3) mit etwas Antimongehalt handelt (Abb. 4.25).

CG22:

In dieser Probe wurden Mineralaggregate, welche hauptsächlich aus Arsenkies bestehen genauer untersucht. Diese enthalten häufig kleine, aber auch größere Einschlüsse von im Auflicht etwas heller erscheinendem Löllingit, wobei sich dieser eher in zentralen Bereichen dieser Mineralaggregate befindet. Verteilt innerhalb von Arsenkies, besonders aber auch an der Mineralgrenze zwischen Löllingit und Arsenkies sind teilweise kleine Körner von gediegen Bismuth eingelagert (Abb. 4.26).

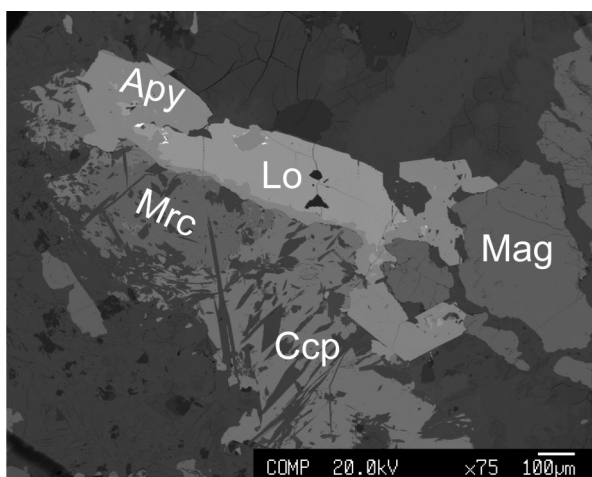


Abb. 4.26, BSE Bild, Bereich mit Magnetit (Mag), Kupferkies (Ccp), Arsenkies (Apy), Löllingit (Lo) und hell erscheinenden Bismuth-Phasen

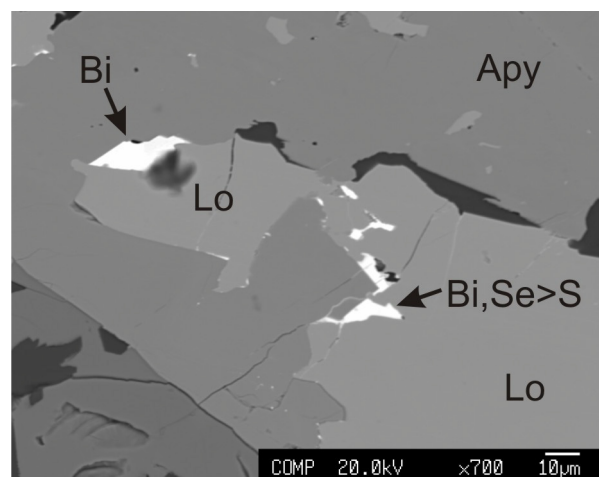


Abb. 4.27, BSE Bild, Detailaufnahme von Abb. CG22image122, gediegen Bismuth (Bi) und etwas dunkler erscheinendes etwas schwefelhaltiges Bismuthselenid an den Korngrenzen zwischen Arsenkies (Apy) und Löllingit (Lo)

In einem Korn kommen an so einer Mineralgrenze auch kleine Körner von Bismuth mit deutlichen Gehalten an Selen und etwas Schwefel vor, was dem Mineral Leitakarit ($\text{Bi}_4\text{Se}_2\text{S}$) entsprechen könnte. Diese speziellen Körner erscheinen bei der Betrachtung mittels rückgestrahlter Elektronen zudem eine Spur dunkler als gediegen Bismuth (Abb. 4.27).

5 Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen

5.1 Petrologische Flüssigkeitseinschluss- Beschreibungen

Bei den Abbildungen handelt es sich, soweit nicht anders vermerkt, jeweils um Mikroskopaufnahmen im Durchlicht mit Polarisator.

CG2:

Quarzader in alteriertem Granitoid

Bei der untersuchten Probe handelt es sich um eine ca. 8 mm mächtige Quarzader, welche in alteriertem, granitoidem Gestein eingelagert ist (siehe Schliffbeschreibungen). Es treten bei Raumtemperatur zwei Haupttypen von Einschlüssen auf. Der 1. Haupttyp sind saline Lösung und dazu noch weitere Gase enthaltende Flüssigkeitseinschlüsse (Hauptgruppe 1.), mit relativ großen Gasblasen (Abb. 5.1) und mit kleineren Blasen (Abb. 5.2), wobei die Größen der Blasen dieser gashältigen Flüssigkeitseinschlüsse zwischen ca. 5 und 100 Prozent Volumsanteil variieren und die Blasengrößen fließend verteilt sind.

Die Gruppe 2. bilden Flüssigkeitseinschlüsse, welche nur salziges Wasser mit eher kleinen Wasserdampf- Blasen mit ca. 11 Prozent Volumsanteil enthalten. Die gasreichen Flüssigkeitseinschlüsse haben meist gedrungene, kompakte Formen und sehr variabel verteilte Größen von weniger als 1 μm bis maximal ca. 60 μm Durchmesser Diese enthalten neben wässriger Lösung noch Kohlendioxid, Stickstoff, Methan und manchmal Spuren von Schwefelwasserstoff.

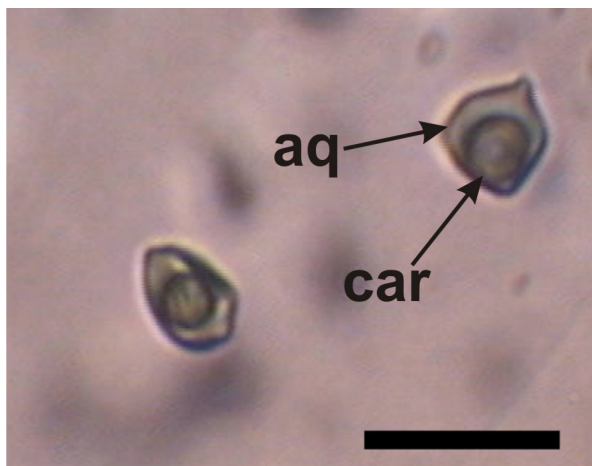


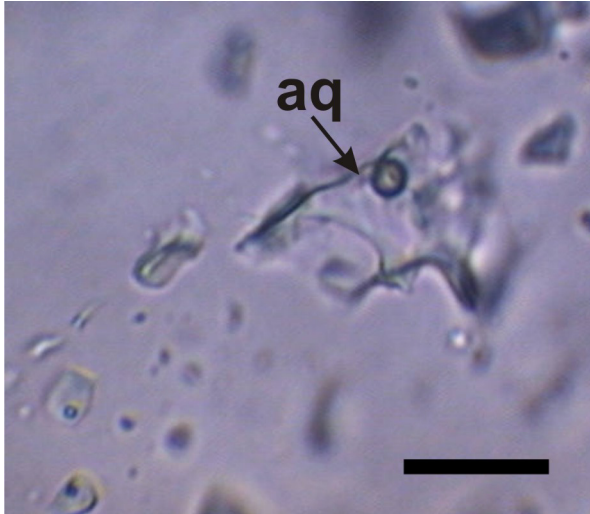
Abb5.1, gasreiche Flüssigkeitseinschlüsse der Gruppe 1. mit großen Blasen (31 und 41 Volumsprozent) in Quarz (aq = wässrige Lösung, car = Gasmischung von H_2O , CO_2 , N_2 , CH_4 und $\pm \text{H}_2\text{S}$), Balkenlänge entspricht 10 μm



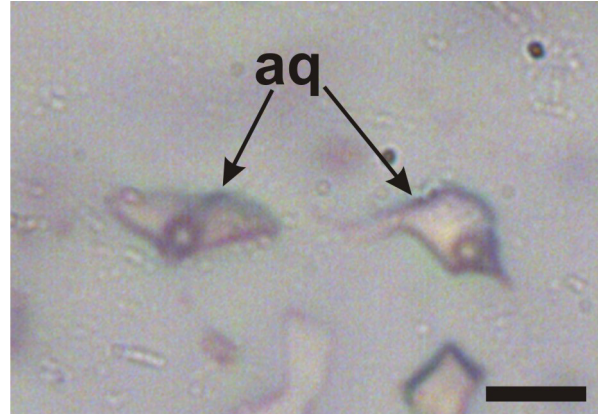
Abb. 5.2, gashältiger Flüssigkeitseinschluss der Gruppe 1. mit relativ kleiner Blase (ca. 15 Volumsprozent) in Quarz (aq = wässrige Lösung, car = Gasmischung von H_2O , CO_2 , N_2 , CH_4 und $\pm \text{H}_2\text{S}$), Balkenlänge entspricht 10 μm

Diese gasreichen Einschlüsse sind zwar stellenweise etwas angereichert, aber generell unregelmäßig verteilt. Die wasserreichen Flüssigkeitseinschlüsse der Gruppe 2. haben sehr variable Größen von weniger als 1 μm bis maximal ca. 30 μm Durchmesser (Abb. 5.3).

Abb. 5.3, wasserreiche Flüssigkeitseinschlüsse ohne weitere Gase in Quarz, (aq = wässrige Lösung)



a, großer unregelmäßig geformter und kleinere kompakt geformte, wasserreiche Flüssigkeitseinschlüsse der Gruppe 2. (Blasengröße ca. 6 Volumsprozent) in Quarz, Balkenlänge entspricht 10 μm



b, länglich geformte, wasserreiche Flüssigkeitseinschlüsse der Gruppe 2. (Blasengrößen ca. 10 bis 15 Volumsprozent) in Quarz, Balkenlänge entspricht 10 μm

Die wasserreichen Einschlüsse enthalten lediglich Wasserdampf-Blasen mit ca. 0 bis 27 Prozent Volumanteil. Diese Flüssigkeitseinschlüsse kommen entweder in der Form von linsigen, länglichen oder blockigen Gebilden oder eher unregelmäßig geformt entlang kurzer Spuren, welche innerhalb von Einzelkörnern wieder enden, seltener in Clustern angereichert, vor.

CG9:

Das Umgebungsgestein der untersuchten Probe ist ein feinkörniger Diopsid-reicher Skarn, welcher von mehreren, einige Zentimeter mächtigen, granatreichen Bändern durchzogen ist. Diese Bänder bestehen hauptsächlich aus gröber auskristallisiertem, teilweise zonar aufgebautem Granat, welcher in seiner Zusammensetzung laut Elektronenstrahl Mikrosondenanalyse mehrheitlich Grossular entspricht (siehe Anhang) und weiteren Kalksilikatmineralen, wobei Granat wiederum oft idiomorph in aderförmigen, spätig ausgebildeten Kalzit ragt, welcher im Zentrum dieser granatreichen Bänder feine Gänge bildet (siehe Schliiffbeschreibungen).

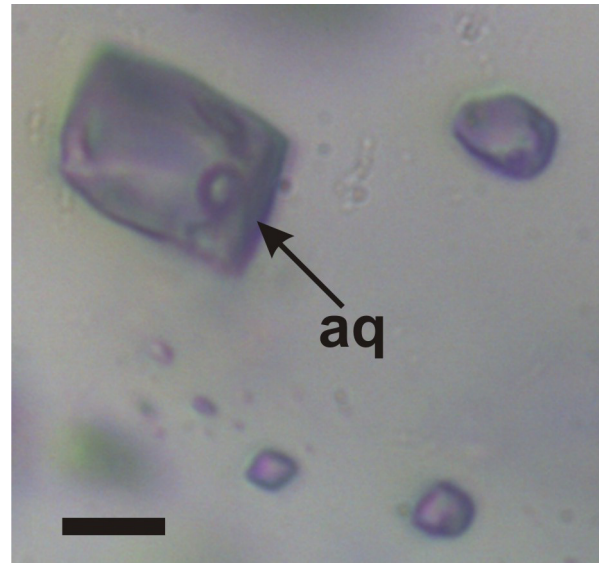
A. Flüssigkeitseinschlüsse in Kalzit:

Die untersuchten Flüssigkeitseinschlüsse befinden sich in grobspätig ausgebildetem Kalzit, welcher teilweise Adern im Zentrum granatreicher Bänder formt (siehe Schliiffbeschreibungen), also erst nach diesen Kalksilikaten gebildet wurde. Die in diesem Kalzit vorkommenden Einschlüsse treten innerhalb von vielen unregelmäßig verteilten und sich teilweise kreuzenden Spuren als sekundäre Flüssigkeitseinschlüsse auf. Diese haben selten längliche, tröpfchenförmige Formen, großteils jedoch kompakte Formen mit teils negativen Kristallformen und Durchmessern von überwiegend 5 μm bis 10 μm , bis zu maximal ca. 45 μm (Abb. 5.4).

Abb. 5.4, Flüssigkeitseinschlüsse in Kalzit (aq = saline, wässrige Lösung)



a, tropfenförmiger Flüssigkeitseinschluss in Kalzit (Blasengröße ca. 6 Volumsprozent), Balkenlänge entspricht 10 μm



b, Flüssigkeitseinschluss (Blasengröße ca. 6 Volumsprozent) in Kalzit mit negativer Kristallform, Balkenlänge entspricht 10 μm

Es sind bei Raumtemperatur mehrphasige Einschlüsse mit einer wässrigen Salzlösung, einer Wasserdampf- Blase mit durchschnittlich ca. 11 Prozent Volumsanteil, teilweise kleinen, mittels Ramanspektroskopie nicht identifizierbaren, Salzkristallen und selten sehr kleinen opaken Phasen, welche aufgrund derer geringer Größe nicht näher bestimmbar sind.

B. Flüssigkeitseinschlüsse in Grossular:

Die untersuchten Flüssigkeitseinschlüsse befinden sich in anisotropem Grossular, entlang verheilter Klüfte als sekundäre Einschlüsse (siehe Schliffbeschreibungen) und können in zwei Gruppen unterteilt werden. Einschlüsse der ersten Gruppe haben oft längliche bis unregelmäßig zackig ausgelängte Formen mit bis zu ca. 30 μm Durchmesser und zeigen teilweise Spuren von Necking. Diese bestehen bei Raumtemperatur aus einer wässrigen Lösung und besitzen meist eine in ihrer Größe sehr variable Wasserdampf- Blase mit 0 bis 52 Prozent Volumsanteil (Abb. 5.5). Einschlüsse dieser ersten Gruppe lassen sich mithilfe der Mikrothermometrie bei durchschnittlich ca. -59°C einfrieren.

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
Petrologische Flüssigkeitseinschluss- Beschreibungen

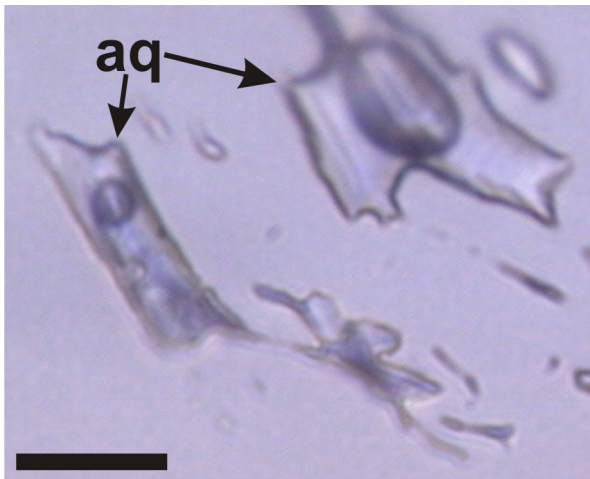


Abb. 5.5, gefrierbare Flüssigkeitseinschlüsse in Granat mit stark unterschiedlichen Größen der Gasblase (aq = wässrige Lösung)

a, gefrierbare Flüssigkeitseinschlüsse mit verschieden großen Gasblasen (ca. 9 und 26 Volumsprozent), als Spuren von Necking erkennbar, Balkenlänge entspricht 10 μm



b, gefrierbare Flüssigkeitseinschlüsse mit keiner bzw. kleiner Gasblase (0 bzw. 3 Volumsprozent), Balkenlänge entspricht 10 μm



c, gefrierbarer Flüssigkeitseinschluss mit großer Gasblase (Blasengröße ca. 52 Volumsprozent), Balkenlänge entspricht 10 μm

Daneben kommt eine zweite Gruppe von Flüssigkeitseinschlüssen vor, deren Inhalt auch bei minus 180 °C nicht gefriert. Diese haben meist ausgelängt erscheinende Formen, sind aber auch linsig bis tröpfchenförmig ausgebildet, zeigen manchmal Spuren von Necking und haben Längen von überwiegend ca. 10 μm bis 50 μm , mit teilweise bis zu 85 μm (5.6).

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
Petrologische Flüssigkeitseinschluss- Beschreibungen

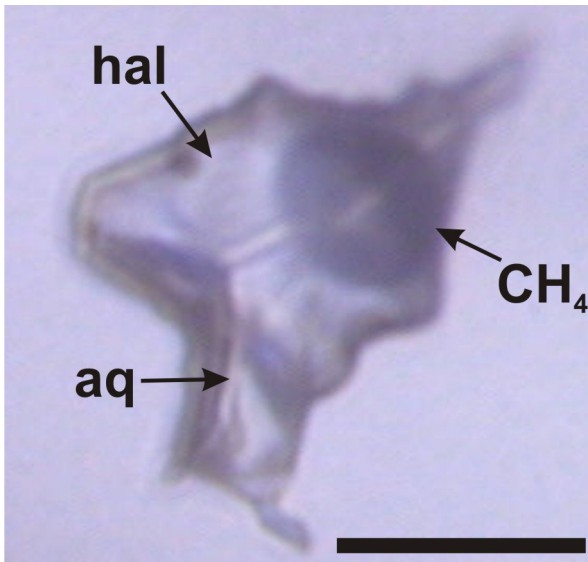
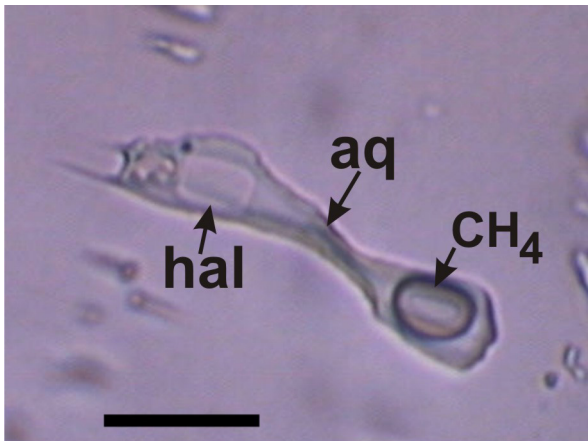
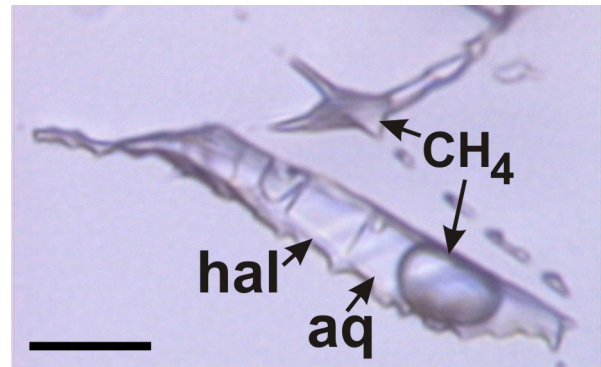


Abb. 5.6., merphasige, hochsalinare Flüssigkeitseinschlüsse in Granat (aq = hochsalinare, wässrige Lösung, hal = Halit)

a, Flüssigkeitseinschluss mit linsiger Form (Anteil der Blase ca. 24 Volumsprozent), Balkenlänge entspricht 10 μm



b, länglich ausgebildeter Flüssigkeitseinschluss (Blasengröße ca. 18 Volumsprozent), Balkenlänge entspricht 10 μm



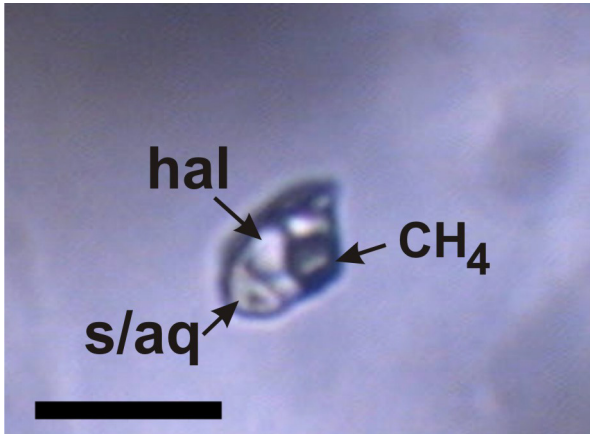
c, längliche Flüssigkeitseinschlüsse (Blasengröße ca. 22 Volumsprozent bei großem Einschluss) deutlich als Spuren von Necking erkennbar, Balkenlänge entspricht 10 μm

Diese Einschlüsse enthalten bei Raumtemperatur eine hochsalinare wässrige Lösung, immer einen kleinen Salzkristall, welcher mittels Ramanspektroskopie nicht näher bestimmbar ist, sehr selten eine sehr kleine, opake Phase und eine Gasblase in welcher Spuren von Methan nachweisbar sind, mit recht einheitlichen Größen der Gasblase von ca. 18 bis 27 Prozent Volumanteil.

CG16:

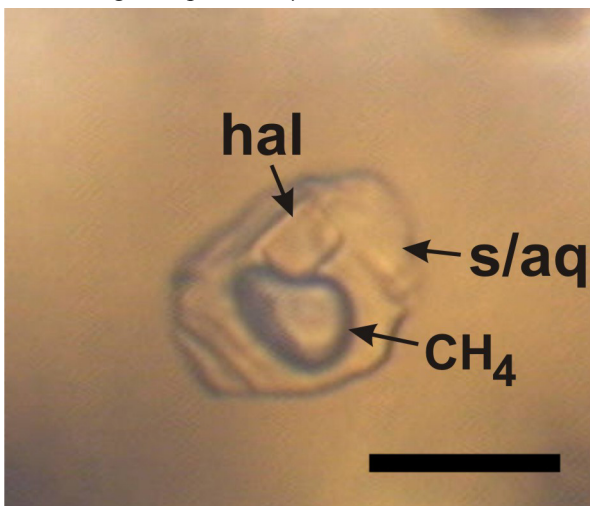
Bei der untersuchten Probe handelt es sich um gebändertes Erz, welches hauptsächlich aus Kupferkies, Magnetkies und zwischengelagerten Bändern von leicht grünlichem, oft von den Rändern her bräunlich alteriertem Klinopyroxen, besteht (siehe Schliffbeschreibungen). Dieser Klinopyroxen aus der Diopsid – Hedenbergit Mischungsreihe befindet sich, laut Elektronenstrahl Mikrosondenanalyse, in der Mischungsreihe etwa im mittleren Bereich zwischen den Endgliedern, wobei jedoch meist der Anteil an Diopsid überwiegt (siehe Anhang). Die in diesem Klinopyroxen vorkommenden

Flüssigkeitseinschlüsse sind überwiegend unregelmäßig in den Mineralkörnern verteilte, kompakt erscheinende, primäre Einschlüsse. Diese haben großteils eine gedrungene, linsige oder teilweise negative Kristallformen annehmende Ausbildung mit überwiegend ca. 5 µm bis 10 µm, aber auch weniger als 1 µm bis zu 50 µm Größe (Abb. 5.7).

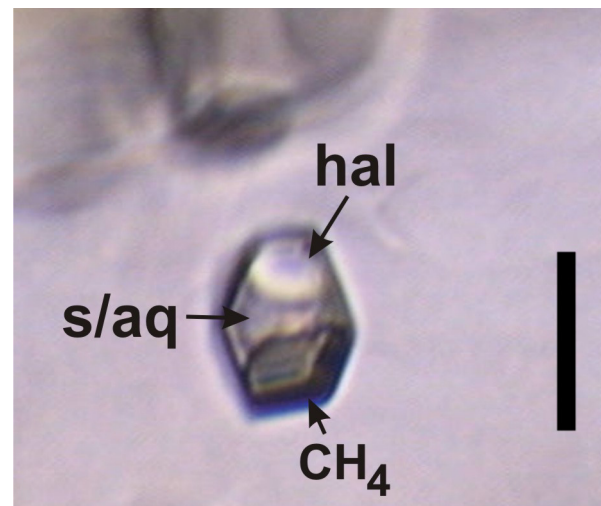


a, Flüssigkeitseinschluss mit teilweise negativer Kristallform (Blasengröße ca. 21 Volumsprozent), Balkenlänge entspricht 10 µm

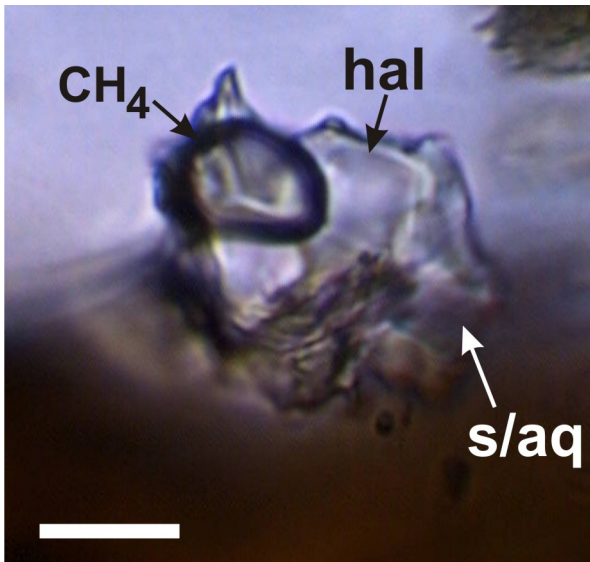
Abb. 5.7, merphasige hochsalinare Flüssigkeitseinschlüsse in Klinopyroxen bei Raumtemperatur (s/aq = Mischung aus festen Phasen (teilweise Kalzit) und einer hochsalinaren wässrigen Lösung, hal = Halit)



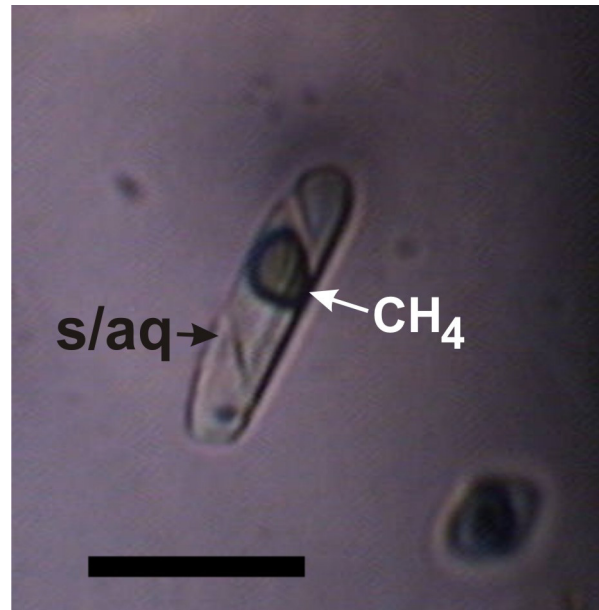
b, Flüssigkeitseinschluss mit angedeuteter negativer Kristallform (Blasengröße ca. 21 Volumsprozent), Balkenlänge entspricht 10 µm



c, Flüssigkeitseinschluss mit negativer Kristallform (Blasengröße ca. 34 Volumsprozent), Balkenlänge entspricht 10 µm



d, unregelmäßig geformter Flüssigkeitseinschluss (Blasengröße ca. 21 Volumsprozent), Balkenlänge entspricht 10 μm



e, linsig geformter Flüssigkeitseinschluss (Blasengröße ca. 21 Volumsprozent), Balkenlänge entspricht 10 μm

Diese Flüssigkeitseinschlüsse sind bei Raumtemperatur mehrphasig und bestehen aus wässriger Lösung, einer Methan- hältigen Gasblase von ca. 21 bis 71 Prozent, durchschnittlich mit ca. 31 Prozent Volumanteil, oft einem eingeschlossenen, mittels Ramanspektroskopie nicht näher bestimmbar Salzkrystall, manchmal zusätzlich einem kleinen Kalzitkrystall und teilweise ein bis zwei sehr kleinen opaken Phasen. Die große Menge an festen Phasen in diesen Einschlüssen deformiert häufig die Gasblase und lässt diese kantig erscheinen.

CG19:

Bei der untersuchten Probe handelt es sich um eine Quarzader, welche etwas Arsenkies enthält und in Meta-Arkose eingelagert ist. Die Komponenten dieser Quarzader sind häufig hypidiomorph aufgebaut und zeigen teilweise Zonarbau (siehe Schliiffbeschreibungen). Es sind generell sehr viele Flüssigkeitseinschlüsse in der Probe verteilt, wobei diese bei Raumtemperatur in zwei Hauptgruppen eingeteilt werden können: 1. eine gasreiche Hauptgruppe, welche weiter in eine 1.a. gasreiche Untergruppe mit großer Blase, und in eine 1.b. gashältige Untergruppe mit relativ kleiner Blase eingeteilt werden kann. Die 2. Hauptgruppe bilden wasserreiche Flüssigkeitseinschlüsse ohne weitere Gase mit kleiner Blase (Abb. 5.12).

Bei der gasreichen Gruppe mit einer großen Blase reicht der Volumanteil der Gasblasen von ca. 43 bis 100 Prozent mit einem Mittel von ca. 70 Prozent. Diese gasreichen Einschlüsse mit großer Blase sind unregelmäßig über die Quarzkörner verteilt und haben eine kompakte Erscheinung mit überwiegend ca. 5 μm bis 50 μm , maximal ca. 70 μm Durchmesser (Abb. 5.8).

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
Petrologische Flüssigkeitseinschluss- Beschreibungen

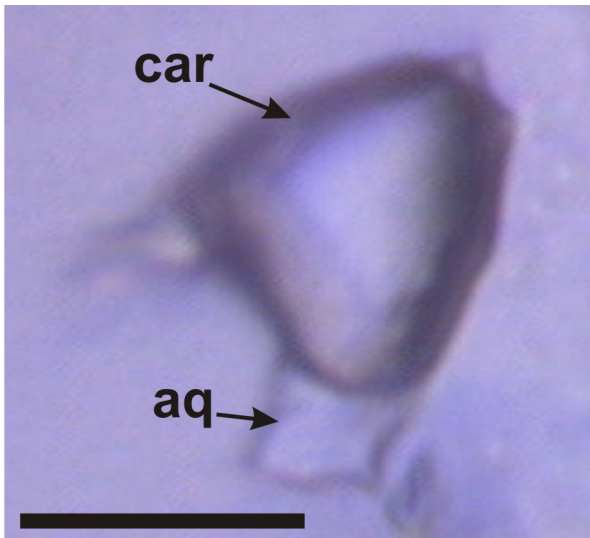


Abb. 5.8, gasreicher Flüssigkeitseinschluss mit großer Blase (ca. 78 Volumsprozent) der Gruppe 1.a. in Quarz (aq = wässrige Lösung, car = Gasmischung von H_2O , CO_2 , N_2 , CH_4 und H_2S), Balkenlänge entspricht 10 μm

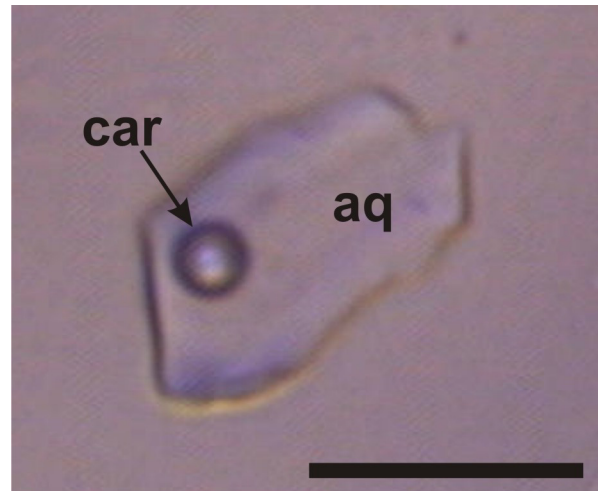


Abb. 5.9, gashältiger Flüssigkeitseinschluss mit relative kleiner Blase (ca. 6 Volumsprozent) der Gruppe 1.b. in Quarz (aq = wässrige Lösung, car = Gasmischung von H_2O , CO_2 , N_2 , und CH_4), Balkenlänge entspricht 10 μm

Flüssigkeitseinschlüsse der gashältigen Gruppe mit kleineren Blasen bestehen aus salinärer Lösung und Gasblasen mit ca. 5 bis 16 Prozent, durchschnittlich ca. 11 Prozent Volumsanteil (Abb. 5.9). Selten sind in solchen Einschlüssen sehr kleine, nicht näher bestimmbare opake Phasen vorhanden. Diese Einschlüsse kommen häufig zusammen mit gasreichen Einschlüssen mit großen Blasen vor und sind teils unregelmäßig verteilt oder bilden Spuren innerhalb von Quarzkörnern (Abb. 5.10). Sie haben kompakte, blockige, manchmal linsige, seltener unregelmäßige Formen mit Größen von überwiegend ca. 5 μm bis 40 μm mit bis zu 75 μm Durchmesser.

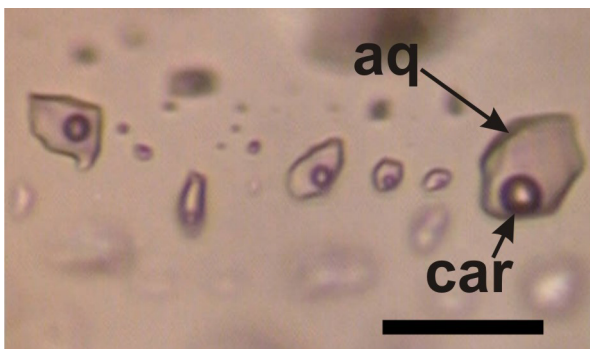


Abb. 5.10, gashältige Flüssigkeitseinschlüsse der Gruppe 1.b. mit relativ kleinen Blasen (ca. 12 bis 16 Volumsprozent) in Quarz Blase (aq = wässrige Lösung, car = Gasmischung von H_2O , CO_2 , N_2 , und CH_4), Balkenlänge entspricht 10 μm

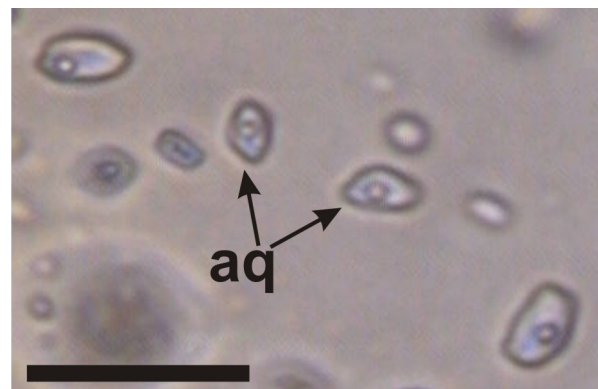


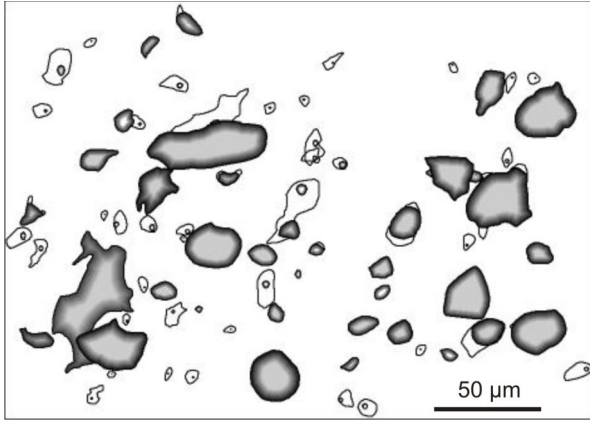
Abb. 5.11, wasserreiche Flüssigkeitseinschlüsse der Gruppe 2. ohne weitere Gase (Blasengrößen zwischen ca. 6 und 11 Volumsprozent) in Quarz (aq = wässrige Lösung), Balkenlänge entspricht 10 μm

Die zweite Hauptgruppe sind wasserreiche Flüssigkeitseinschlüsse, bestehend aus einer salinären Lösung und einer kleinen Wasserdampf- Blase ohne weitere Gase mit ca. 5 bis 15 Prozent, im Mittel ca. 9 Prozent Volumsanteil. Die wasserreichen Einschlüsse bilden oft Spuren innerhalb von einzelnen Quarzkörnern, welche nur manchmal auch durch zwei Quarzkörner laufen können (Abb. 5.11). Diese

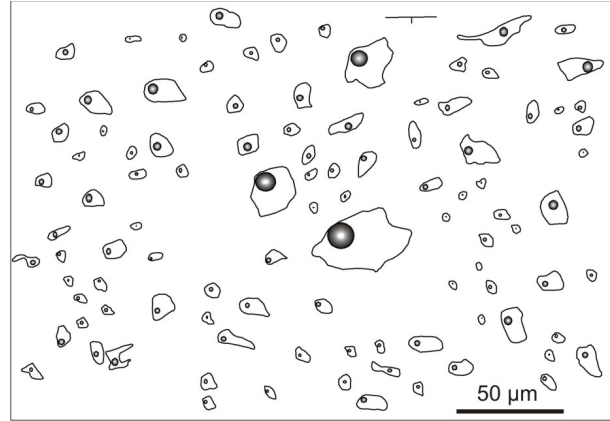
Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
Petrologische Flüssigkeitseinschluss- Beschreibungen

wasserreichen Flüssigkeitseinschlüsse haben teilweise unregelmäßige, aber auch kompakte, linsenförmige oder blokige Formen mit weniger als 1 μm bis zu ca. 35 μm Durchmesser und ähneln in ihrer Erscheinung teilweise den gashältigen Flüssigkeitseinschlüssen mit kleiner Blase (Abb. 5.10).

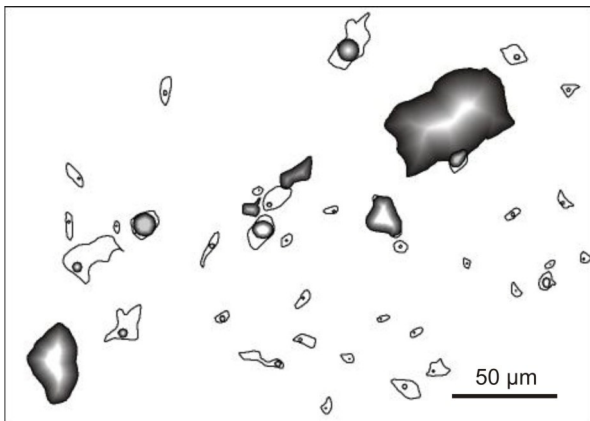
Abb. 5.12, Übersichtsdarstellungen von verschiedenen Bereichen der unterschiedlichen, in der Quarzader in Meta-Arkose vorkommenden Typen von Flüssigkeitseinschlüssen: Gesamtdarstellung der verschiedenen, übereinandergelegten Fokusebenen des Fluidschliffes (150 μm Schliffdicke)



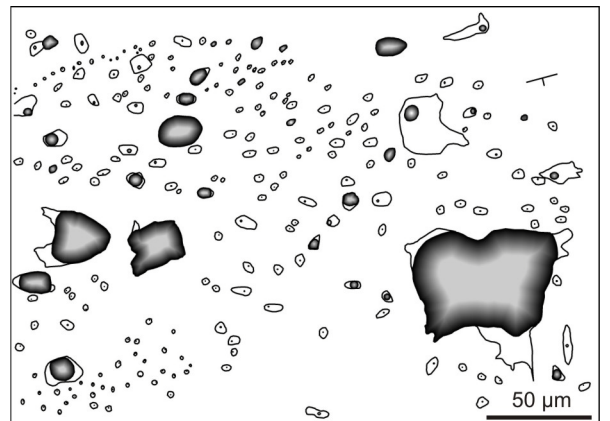
a, heterogene Ansammlung mit hauptsächlich gasreichen Flüssigkeitseinschlüssen der Gruppen 1.a. und 1.b.



b, homogen erscheinende Anhäufung von hauptsächlich wasserreichen Flüssigkeitseinschlüssen der Gruppe 2. ohne weitere Gase



c, heterogene Ansammlung mit gasreichen (große und kleine Blasen) und wasserreichen (ohne weitere Gase) Flüssigkeitseinschlüssen (Gruppen 1.a., 1.b. und 2.)



d, heterogene Ansammlung von gasreichen Flüssigkeitseinschlüssen der Gruppen 1.a. und 1.b. und wasserreichen Einschlüssen der Gruppe 2.

5.2 Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen mittels Ramanspektroskopie

Mithilfe von Ramanspektrometer- Messungen konnten anhand von Berechnungen mittels der Methode nach Burke (2001) die Zusammensetzungen der untersuchten Flüssigkeitseinschlüsse quantitativ bestimmt werden (siehe Methoden, Raman).

CG2:

Quarzader in alteriertem Granitoid

Aufgrund von Ramanspektrometer- Messungen können in dieser Probe zwei Hauptgruppen von Flüssigkeitseinschlüssen unterschieden werden. Einschlüsse der ersten Gruppe enthalten eine wässrige Lösung und zusätzlich noch Kohlendioxid, Stickstoff, Methan und teilweise Spuren von Schwefelwasserstoff in veränderlichen Zusammensetzungen (Abb. 5.15). Hierbei fällt jedoch auf, dass generell Kohlendioxid gegenüber den anderen Gasen dominiert (Abb. 5.13).

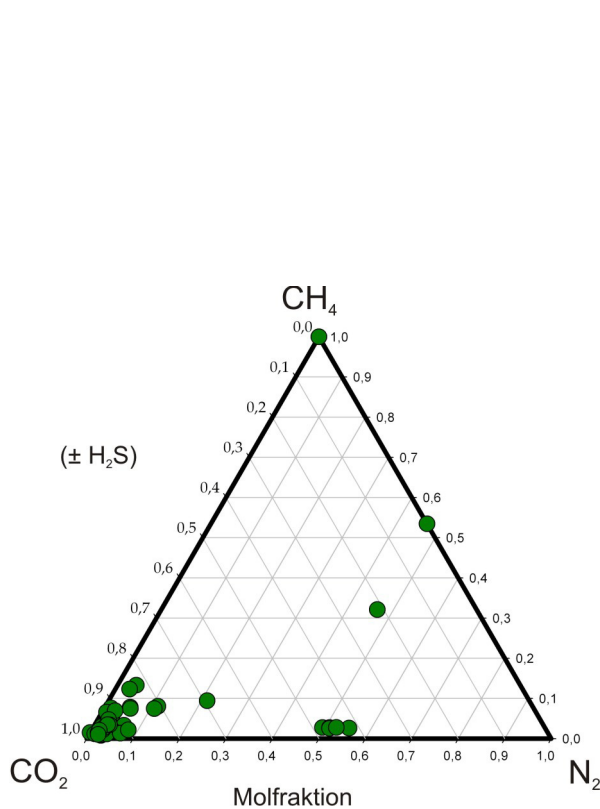


Abb. 5.13, Darstellung der gemessenen Molfraktionen von CO_2 , N_2 und CH_4 von gashältigen Flüssigkeitseinschlüssen (Gruppe 1.) im Dreiecksdiagramm, wobei H_2S nicht berücksichtigt wurde

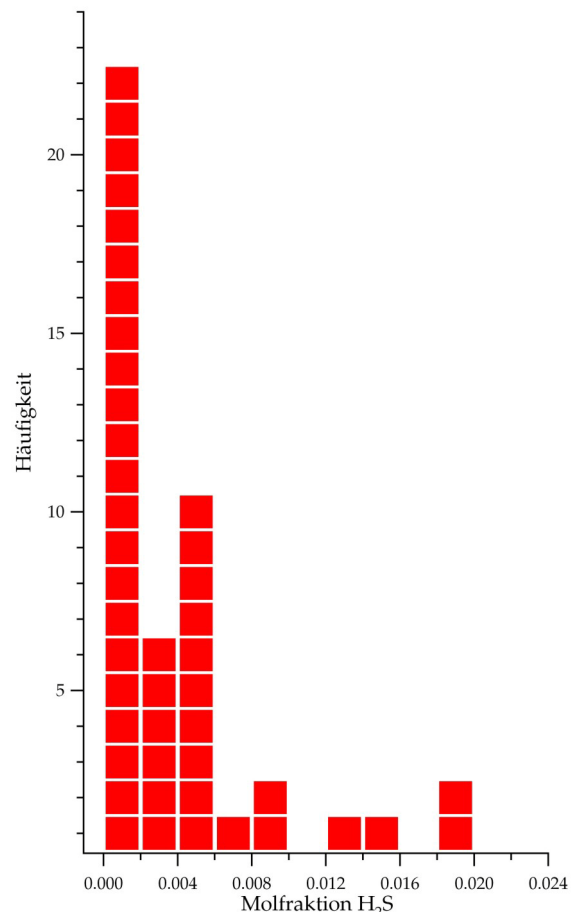
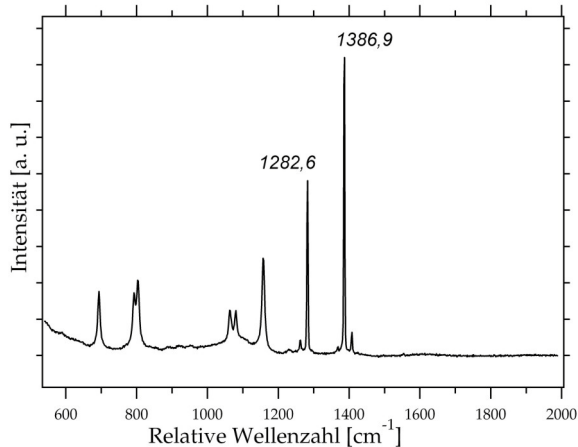


Abb. 5.14, Histogramm der in gasreichen Flüssigkeitseinschlüssen (Gruppe 1.) nachweisbaren Konzentrationen von H_2S in der Dampfphase

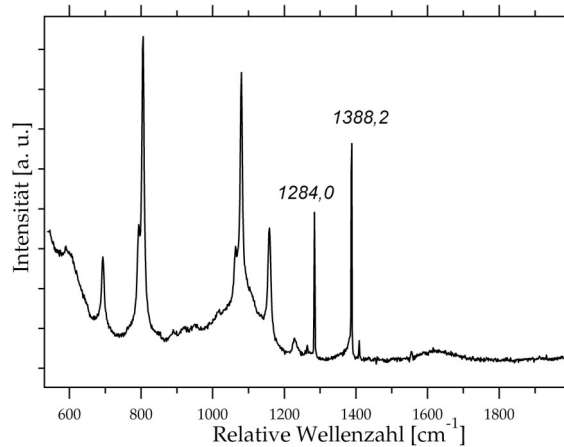
Schwefelwasserstoff ist in ca. 69 Prozent aller gashältigen Einschlüsse in geringen Spuren nachweisbar, wobei die Konzentration generell sehr niedrig ist und unter 0,2 Molprozent bleibt (Abb. 5.14).

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
 Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen mittels Ramanspektroskopie

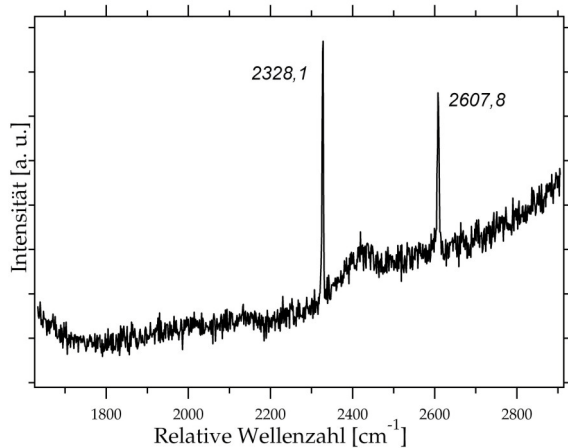
Abb. 5.15, Gegenüberstellung der Ramansignale der fluiden Phase von Flüssigkeitseinschlüssen der Gruppe 1. mit relativ großer und mit kleiner Blase (ca. 31 Volumsprozent und ca. 23 Volumsprozent) in Quarz



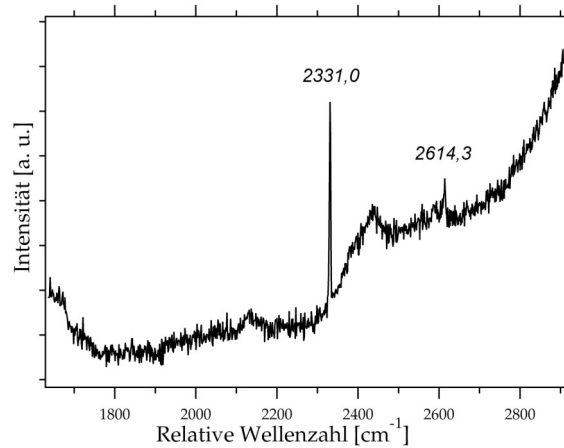
a, starke Ramanpeaks von CO₂ (1282,6 und 1386,9 Wellenzahlen) von gasreichem Flüssigkeitseinschluss (Gruppe 1.) mit großer Blase (daneben Quarzsignale) in Quarz



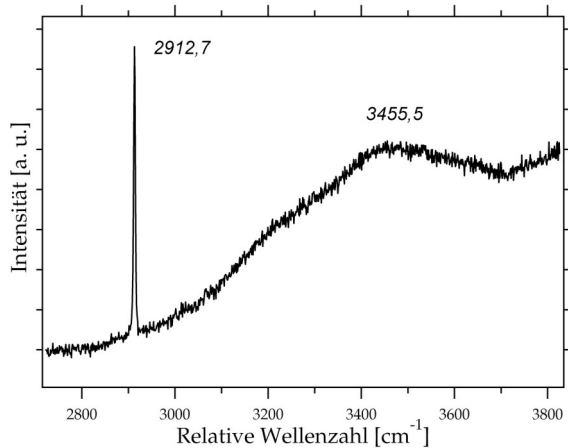
b, Ramanpeaks von CO₂ (1284,0 und 1388,2 Wellenzahlen) eines gashältigen Flüssigkeitseinschlusses (Gruppe 1.) mit kleiner Blase (daneben Quarzsignale) in Quarz



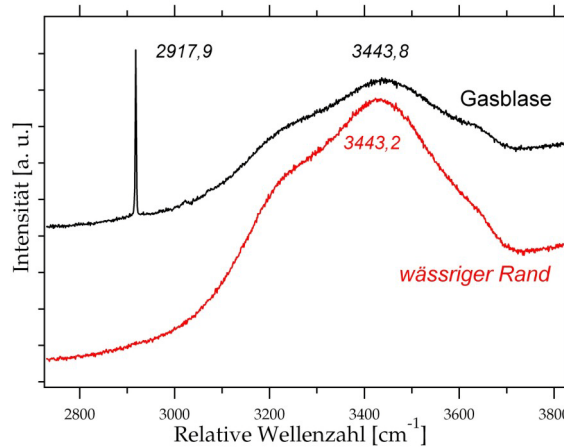
c, Ramanpeaks von N₂ (2328,1 Wellenzahlen) und H₂S (2607,8 Wellenzahlen) eines gasreichen Flüssigkeitseinschlusses (Gruppe 1.) mit großer Blase



d, Ramanpeaks von N₂ (2331,0 Wellenzahlen) und H₂S (2614,3 Wellenzahlen) eines gashältigen Flüssigkeitseinschlusses (Gruppe 1.) mit kleiner Blase



e, Ramanspektrum mit starkem CH₄ Peak (2912,7 Wellenzahlen) und wässriger Lösung von gasreichem Flüssigkeitseinschluss (Gruppe 1.) mit großer Blase



f, Ramanspektren mit CH₄ Peak (2917,9 Wellenzahlen) und wässriger Lösung (schwarz) und reines Spektrum der sich randlich befindlichen wässrigen Lösung (rot) von gashältigem Flüssigkeitseinschluss (Gruppe 1.) mit kleiner Blase

Dazu konnte in einem einzelnen, gashältigen Einschluss mit einer Blasengröße von ca. 9 Volumsprozents mittels Ramanspektroskopie ein winziger Kalzitkristall nachgewiesen werden (Abb. 5.16), wobei die untersuchte Quarzader selbst von feinsten Kalzitäderchen (untergeordnet auch Dolomit) durchzogen ist (siehe Schlißbeschreibungen).

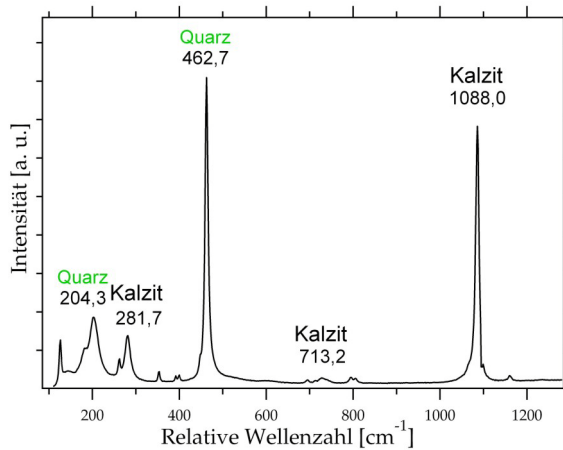


Abb. 5.16, Ramanspektrum von Kalzit mit Hintergrundspektrum von Quarz in einem einzelnen, gashältigen Flüssigkeitseinschluss (Gruppe 1.) mit ca. 9 Volumsprozents Blasengröße

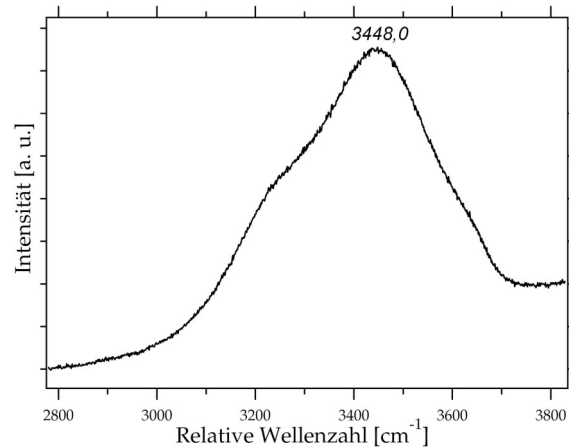


Abb. 5.17, Ramanspektrum der wässrigen Lösung eines wasserreichen Flüssigkeitseinschlusses (Gruppe 2) in Quarz

Bei Einschlüssen der Gruppe 2 lässt sich mittels Ramanspektroskopie nachweisen, dass diese eine wässrige Lösung enthalten und dass die relativ kleinen Blasen lediglich aus Wasserdampf bestehen. Das Ramanspektrum dieser Wasserphasen ist indikativ für die Anwesenheit von gelösten Anionen und Kationen, wie zum Beispiel Na^+ und Cl^- (Abb. 5.17).

Die Ramanspektren der Wasserphasen von Einschlüssen der Gruppen 1. und 2. ähneln einander in ihrer Ausbildung. Diese Spektren sind indikativ für die Anwesenheit von gelösten Anionen und Kationen (z. B. Na^+ und Cl^-). Die Intensität der Schulter bei ± 3200 Wellenzahlen ist generell etwas höher als die Hälfte der Intensität des Hauptpeaks bei ca. 3445 Wellenzahlen, was auf eher geringe Salinitäten schließen lässt.

CG9:

A. Flüssigkeitseinschlüsse in Kalzit:

Der Nachweis von Gasen und Wasser in Kalzit mittels Ramanspektroskopie wird durch die hohe Fluoreszenz, welche der Laser in Kalzit verursacht, behindert. Dadurch ist das Hintergrundsignal relativ hoch und überstrahlt so die Ramansignale der nachzuweisenden Gase und von Wasser (Abb. 5.18). Die Einschlüsse sind mehrphasig und enthalten saline Lösung und eine Wasserdampfblase mit ca. 0 bis 11 Prozent Volumanteil. Ca. 23 % der Einschlüsse enthalten zusätzlich noch ein bis zwei winzige opake Phasen, welche aber aufgrund ihrer geringen Größe und der Hintergrundsignale nicht näher bestimmbar sind. Dazu sind in einigen wenigen dieser Einschlüsse kleine, durchsichtige, helle Kristalle vorhanden, welche sich als nicht ramanaktiv herausstellten, was auf Salze hindeutet.

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
 Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen mittels Ramanspektroskopie

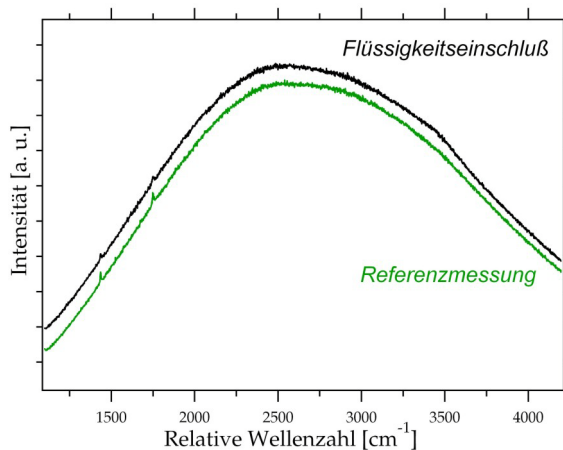


Abb. 5.18, Ramanspektrum der Messung eines Flüssigkeitseinschlusses in Kalzit und des Referenzspektrums von Kalzit, wobei bei Raumtemperatur starke, von Kalzit herrührender Fluoreszenz auftritt

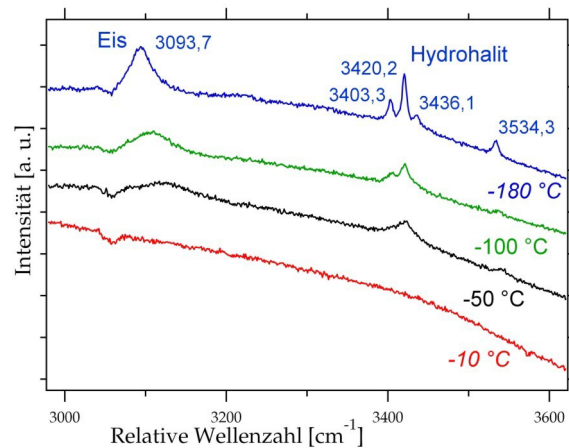


Abb. 5.19, über die Ramanspektren von Eis und Hydrohalit bei tiefen Temperaturen lassen sich Wasser und Halit in Flüssigkeitseinschlüssen in Kalzit nachweisen

Mithilfe der Kombination aus Ramanspektroskopie und Mikrothermometrie konnte nachgewiesen werden, dass in den Einschlüssen von ca. -180 °C bis ca. -30 °C Eis und parallel dazu zwischen ca. -180 °C und -15 °C Hydrohalit vorhanden sind, und es sich somit bei den kleinen durchscheinenden Kriställchen definitiv um Halit handelt (Abb. 5.19). Bei diesen tiefen Temperaturen ergaben sich somit in Kalzit deutlich besser verwertbare Signale und es kann gezeigt werden, dass die Einschlüsse in Kalzit zu einer Gruppe zusammengefasst werden können.

B. Flüssigkeitseinschlüsse in Grossular:

Die vorhandenen Flüssigkeitseinschlüsse können in zwei Gruppen unterteilt werden. Die erste Gruppe enthält lediglich eine wässrige Lösung und bei Raumtemperatur meist eine Blase, bestehend aus Wasserdampf, mit ca. 0 bis 52 Prozent Volumanteil. Die Form der ramanspektren der in diesen Einschlüssen enthaltenen wässrigen Lösung zeigt eine Schulter bei ± 3200 Wellenzahlen, welche nur halb so hoch ist wie der Hauptpeak bei ca. 3446 Wellenzahlen, was auf eine eher hoch saline Lösung deutet (Abb. 5.20)

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen mittels Ramanspektroskopie

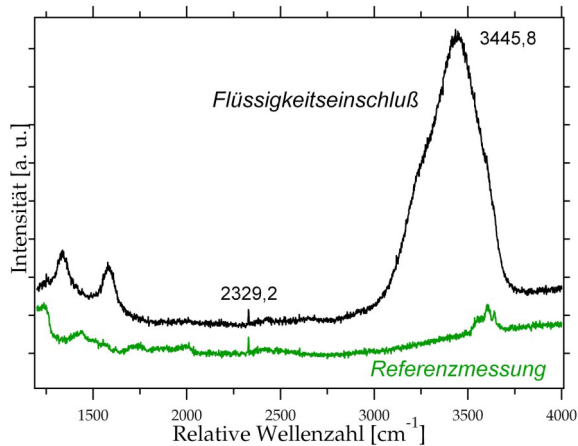


Abb. 5.20, Ramanspektrum des Wasserpeaks eines wasserreichen Flüssigkeitseinschlusses ohne weitere Gase (Hintergrundwert für N₂ aus Luft bei 2329,2 Wellenzahlen) in Granat

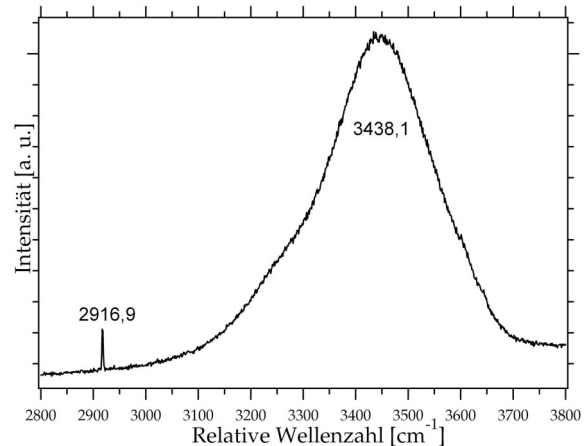


Abb. 5.21, Ramanspektrum des Wasserpeaks eines hochsalinaren Flüssigkeitseinschlusses mit zusätzlich etwas CH₄ (2916,9 Wellenzahlen) in Granat

Die zweite Gruppe enthält eine wässrige Lösung, und bei Raumtemperatur eine Gasblase mit ca. 18 bis 22 Prozent Volumanteil. Diese Gasblase besteht aus Wasserdampf und Methan, welches anhand Ramanspektroskopie mit verschieden stark ausgeprägten Peaks nachweisbar ist (Abb. 5.21). Dazu enthalten diese Einschlüsse Raman-inaktive, helle Salzkristalle, möglicherweise Halit. Die Ramanspektren der wässrigen Phase solcher Einschlüsse weisen eine Schulter bei ± 3200 Wellenzahlen auf, die deutlich weniger als halb so hoch ist wie die des Hauptpeaks bei ca. 3438 Wellenzahlen. Dies lässt neben den bei Raumtemperatur vorhandenen Salzkristallen auf eine hochsalinare Lösung schließen (Abb. cg9D7csalz). Zusätzlich sind in ca. 25 Prozent der Flüssigkeitseinschlüsse kleine opake Phasen vorhanden. Diese zeigen aufgrund ihrer geringen Größen keine verwertbaren Ramanspektren, sie erscheinen jedoch teilweise rötlich durchscheinend und stellen wahrscheinlich Hämatit dar.

CG16:

Klinopyroxen der Diopsid - Hedenbergit Mischungsreihe in erzeichem Skarn

Die in dieser Probe untersuchten primären Flüssigkeitseinschlüsse können zu einer Gruppe zusammengefasst werden. Diese Einschlüsse enthalten salinare, wässrige Lösung, und bei Raumtemperatur eine Gasblase mit ca. 21 bis 71 Prozent Volumanteil, welche Wasserdampf und Methan enthält (Abb. 5.22).

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
 Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen mittels Ramanspektroskopie

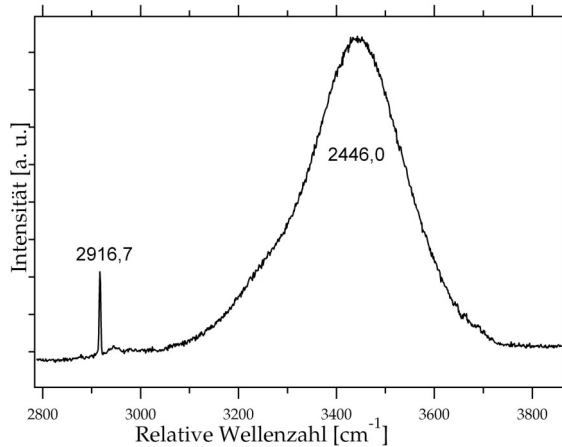


Abb. 5.22, Ramanspektrum des Wasserpeaks eines hochsalinaren Flüssigkeitseinschlusses mit zusätzlich etwas CH₄ (2916,7 Wellenzahlen) in Klinopyroxen

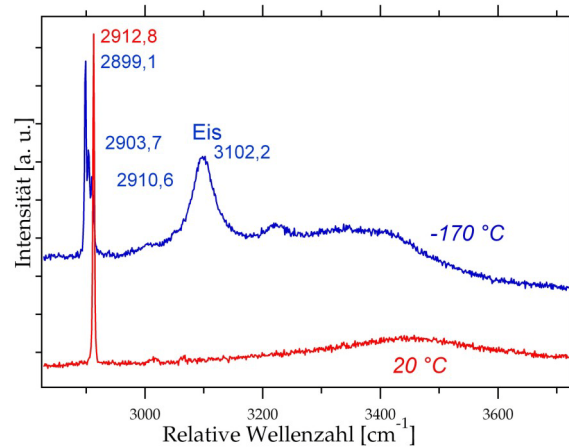


Abb. 5.23, Ramanspektren von CH₄ und Wasser bei Raumtemperatur (rot) und Spektrum bei -170 °C (blau) mit Methan (2910,6 Wellenzahlen), Methanclathrat (2899,1 und 2903,7 Wellenzahlen) und Eispeak (3102,2 Wellenzahlen)

Neben gasförmigem Methan kann mittels Ramanspektroskopie in eingefrorenen Einschlüssen auch Methan- Gashydrat erkannt werden (Abb. 5.23). Dazu sind in diesen Einschlüssen als feste Phasen immer Raman- inaktive, nicht doppelbrechende Salzkristalle vorhanden. Daher und aufgrund der Form der Ramanspektren der wässrigen Lösung dieser Einschlüsse, welche eine Schulter bei ± 3200 Wellenzahlen aufweist, die weniger als halb so hoch wie der Hauptpeak bei ca. 3446 Wellenzahlen ist, kann darauf geschlossen werden, dass die wässrige Lösung dieser Einschlüsse hochsalinar ist (Abb. 5.22).

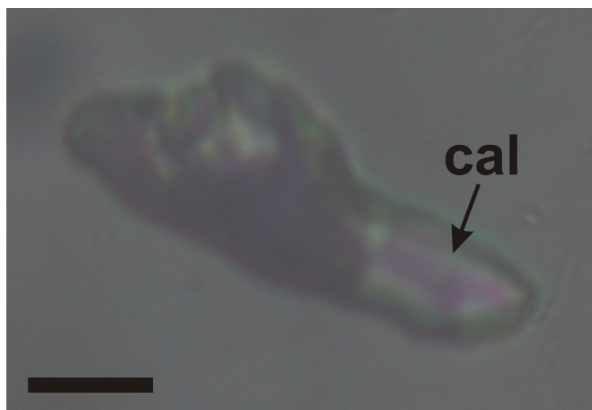


Abb. 5.24, Mikroskopaufnahme im Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren, Flüssigkeitseinschluss in Diopsid mit Kalzit, welcher deutliche Interferenz zeigt, Balkenlänge entspricht 10 μm

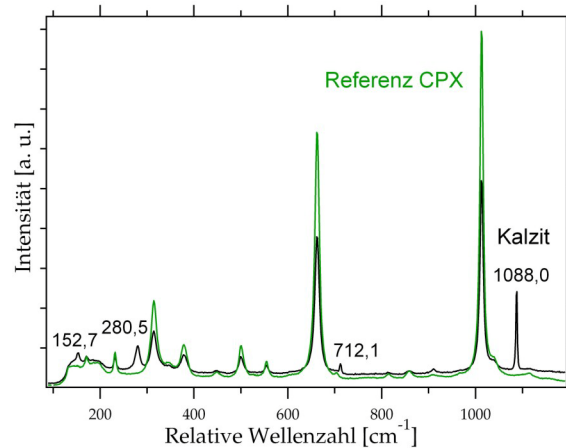


Abb. 5.25, In Flüssigkeitseinschlüssen sind als transluzente, feste Phasen ramaninaktive Salzkristalle und kleine Kalzitkristalle vorhanden, welche hingegen ein deutliches Ramanspektrum (152,7; 280,5; 712,1 und 1088,0 Wellenzahlen) aufweisen

Außerdem können in ca. 25 Prozent dieser Flüssigkeitseinschlüsse kleine, deutlich doppelbrechende Kalzitkristalle erkannt werden (Abb. 5.24), welche mittels Ramanspektroskopie bestätigt wurden (Abb. 5.25).

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
 Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen mittels Ramanspektroskopie

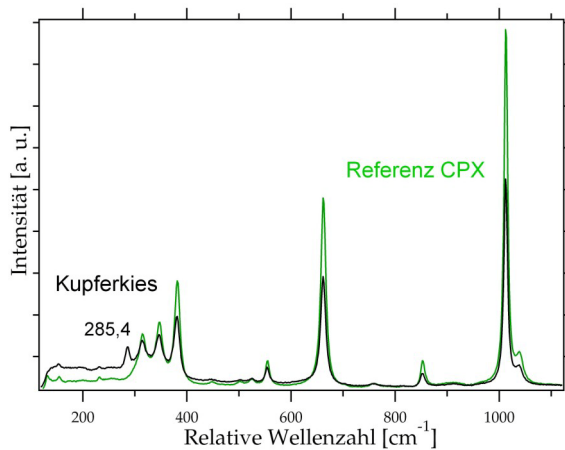


Abb. 5.26, schwaches Ramanspektrum von Kupferkies, gemessen an einer opaken Phase in einem Flüssigkeitseinschluß

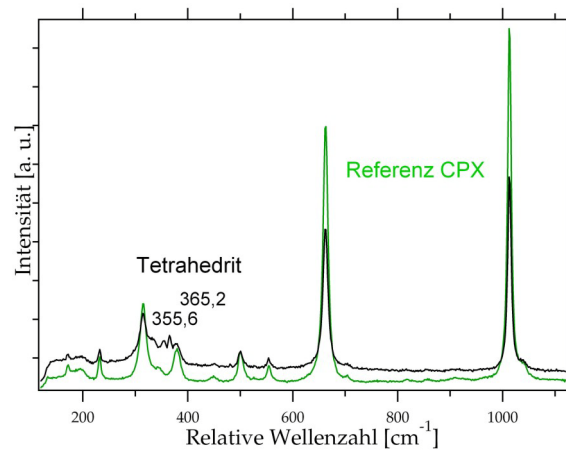


Abb. 5.27, schwaches Ramanspektrum von Tetrahedrit, gemessen an einer opaken Phase in einem Flüssigkeitseinschluß

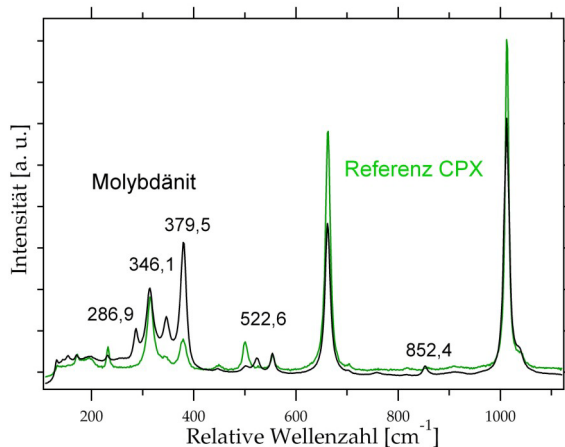


Abb. 5.28, schwaches Ramanspektrum von Molybdänit, gemessen an einer opaken Phase in einem Flüssigkeitseinschluß

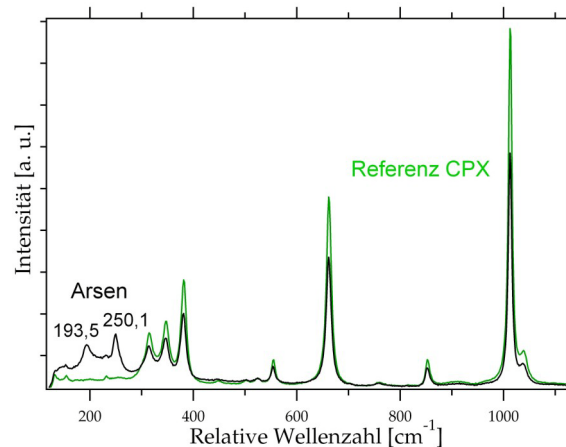


Abb. 5.29, schwaches Ramanspektrum von gediegen Arsen, gemessen an einer opaken Phase in einem Flüssigkeitseinschluß

Ein Großteil dieser Flüssigkeitseinschlüsse enthält auch ein bis zwei kleine feste, opake Phasen. Anhand einiger größerer dieser opaken Phasen konnten schwache Ramanspektren von Kupferkies (Abb. 5.26), Tetrahedrit (Abb. 5.27), Molybdänit (Abb. 5.28) und wahrscheinlich gediegen Arsen (Abb. 5.29) gemessen werden.

CG19:

Quarzader in Meta-Arkose

Aufgrund von Ramanspektrometrie können die Flüssigkeitseinschlüsse in dieser Probe in zwei Hauptgruppen eingeteilt werden. Die erste Hauptgruppe (Gruppen 1.a. und 1.b.) enthält neben wässriger Lösung eine mehr oder weniger große Gasblase, welche aus Wasserdampf und zusätzlich Kohlendioxid, Stickstoff, Methan und teilweise Spuren von Schwefelwasserstoff besteht, wobei Kohlendioxid bei den zusätzlichen Gasen überwiegt (Abb. 5.30).

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
 Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen mittels Ramanspektroskopie

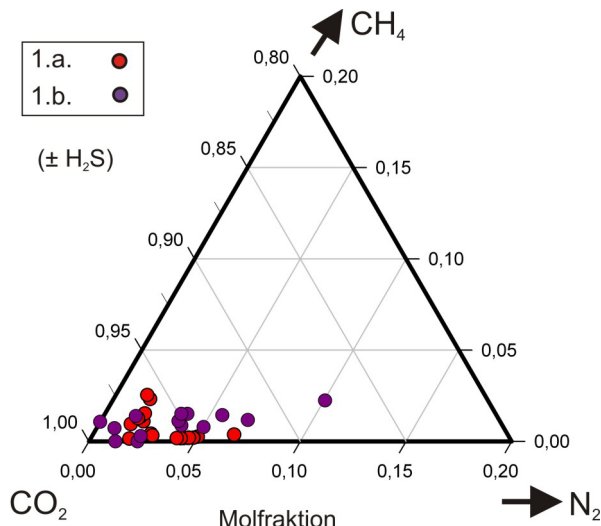


Abb. 5.30, Darstellung der gemessenen Molfraktionen von CO₂, N₂ und CH₄ von gashaltigen Flüssigkeitseinschlüssen (Gruppen 1.a. und 1.b.) im Dreiecksdiagramm, wobei H₂S nicht berücksichtigt wurde

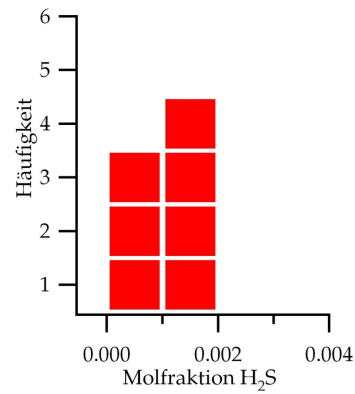
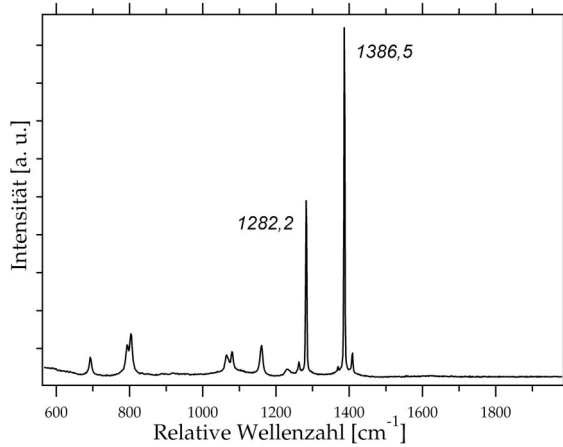


Abb. 5.31, Histogramm der in gasreichen Flüssigkeitseinschlüssen der Gruppe 1.a. gemessenen Konzentrationen von H₂S in der Dampfphase

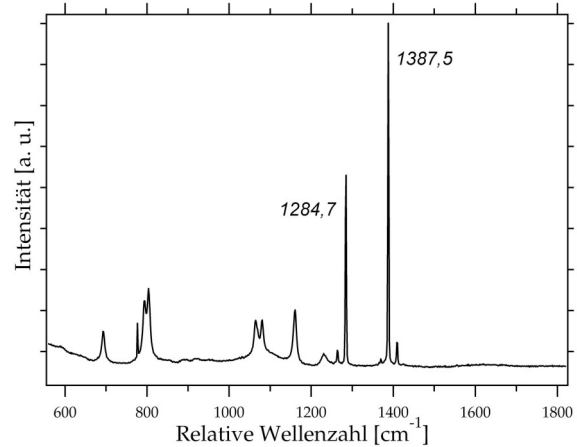
In ca. 35 Prozent der gasreichen Flüssigkeitseinschlüsse mit großer Blase (Gruppe 1.a.) ist Schwefelwasserstoff nachweisbar, wobei die Konzentrationen unter 0,2 Molprozent bleiben (Abb. 5.31, Abb. 5.32). Die zweite gashaltige Untergruppe mit kleiner Blase (Gruppe 1.b.) hat eine der ersten Gruppe ähnliche Zusammensetzung der Gasblase (Abb. 5.32), jedoch ist in dieser Untergruppe, möglicherweise auch aufgrund der geringeren Blasengrößen, in dieser Gruppe kein Schwefelwasserstoff nachweisbar.

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
 Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen mittels Ramanspektroskopie

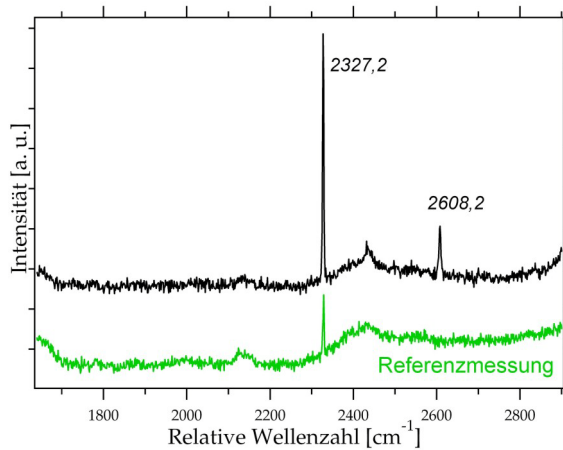
Abb. 5.32, Gegenüberstellung der Ramansignale der fluiden Phase von Flüssigkeitseinschluss der Gruppe 1.a. mit relativ großer (ca. 52 Volumsprozent) und Einschluss der Gruppe 1.b. mit kleiner Blase (ca. 9 Volumsprozent)



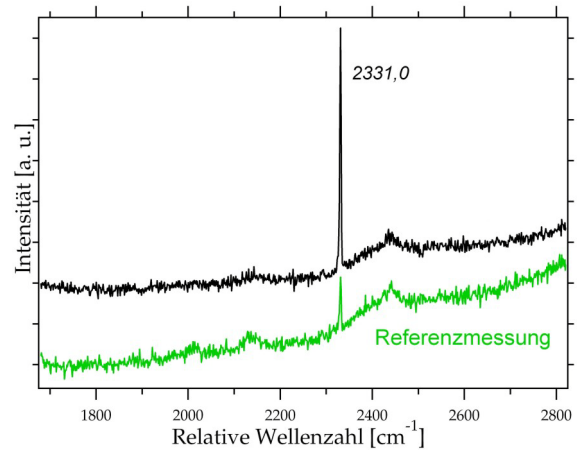
a, starke Ramanpeaks von CO₂ (1282,2 und 1386,5 Wellenzahlen) von gasreichem Flüssigkeitseinschluss der Gruppe 1.a., mit großer Blase, in Quarz



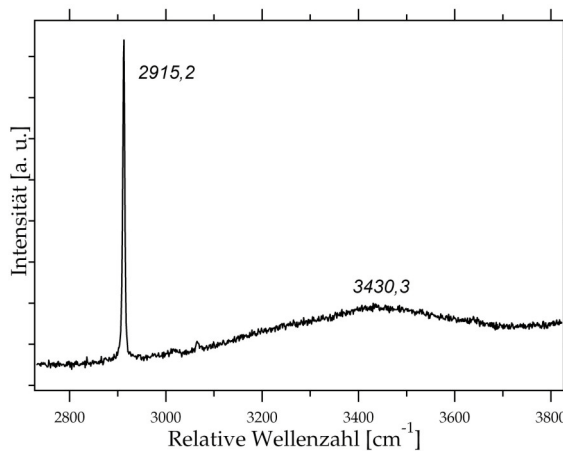
b, Ramanpeaks von CO₂ (1284,7 und 1387,5 Wellenzahlen) eines gashältigen Flüssigkeitseinschlusses mit kleiner Blase (Gruppe 1.b.) in Quarz



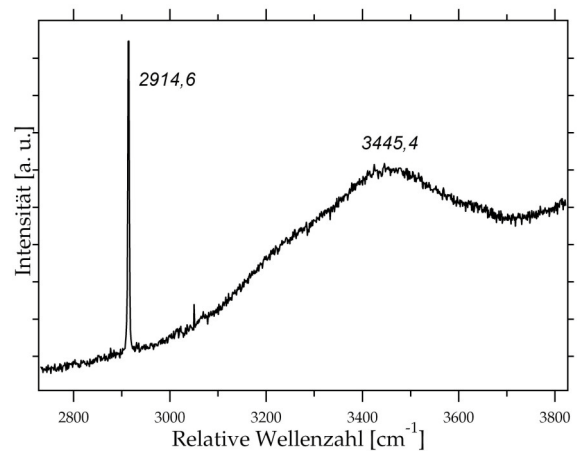
c, Ramanpeaks von N₂ (2327,2 Wellenzahlen) und H₂S (2608,2 Wellenzahlen) eines gasreichen Flüssigkeitseinschlusses (Gruppe 1.a.) in Quarz



d, Ramanpeak von N₂ (2331,0 Wellenzahlen) eines gashältigen Flüssigkeitseinschlusses der Gruppe 1.b., mit kleiner Blase, in Quarz



e, Ramanspektrum mit starkem CH₄ Peak (2915,2 Wellenzahlen) und wässriger Lösung von gasreichem Flüssigkeitseinschluss (Gruppe 1.a.) in Quarz



f, Ramanspektrum mit CH₄ Peak (2914,6 Wellenzahlen) und wässriger Lösung von gashältigem Flüssigkeitseinschluss mit kleiner Blase (1.b.) in Quarz

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen mittels Ramanspektroskopie

Die zweite Hauptgruppe (Gruppe 2.) stellen Flüssigkeitseinschlüsse dar, welche lediglich wässrige Lösung und eine Wasserdampfblase, ohne zusätzliche Gase, enthalten. Abb. 5.33

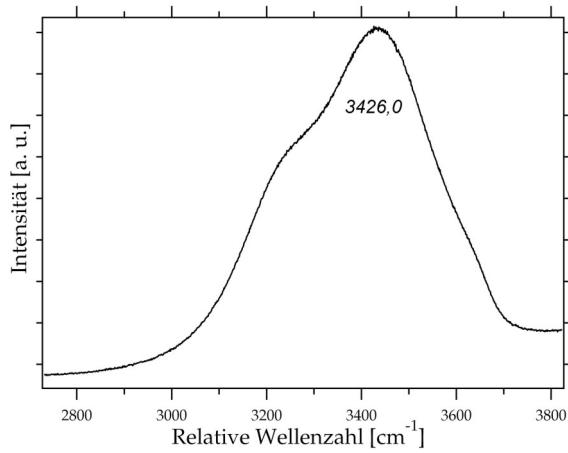


Abb. 5.33, Ramanspektrum der wässrigen Lösung eines wasserreichen Flüssigkeitseinschlusses der Gruppe 2. in Quarz

Sowohl bei Flüssigkeitseinschlüssen der Gruppen 1.a. und 1.b. als auch bei Einschlüssen der Gruppe 2. ist bei Ramanspektren der wässrigen Phase erkennbar, dass die Intensität der Schulter bei ± 3200 Wellenzahlen generell etwas mehr als die Hälfte der Intensität des Hauptpeaks bei ca. 3430 Wellenzahlen beträgt, was auf eine vergleichsweise geringe salinare Lösung deutet.

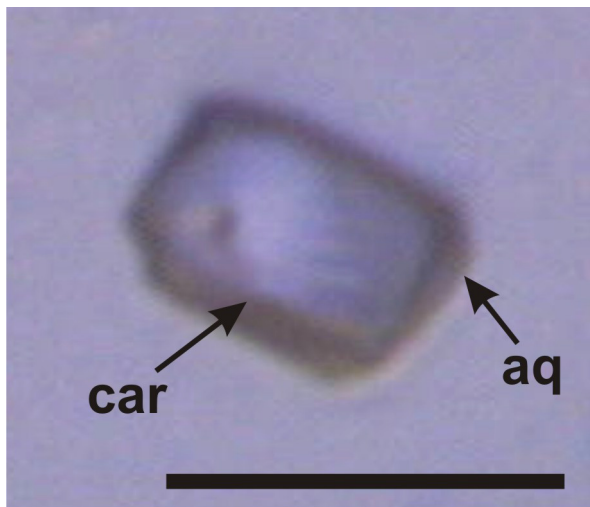
5.3 Mikrothermometrie

Die einzelnen Flüssigkeitseinschlüsse wurden auf ca. -180 °C bis -190 °C abgekühlt, während der anschließenden Erwärmungsphase wurden die Temperaturen von auftretenden Phasenübergängen ermittelt.

CG2:

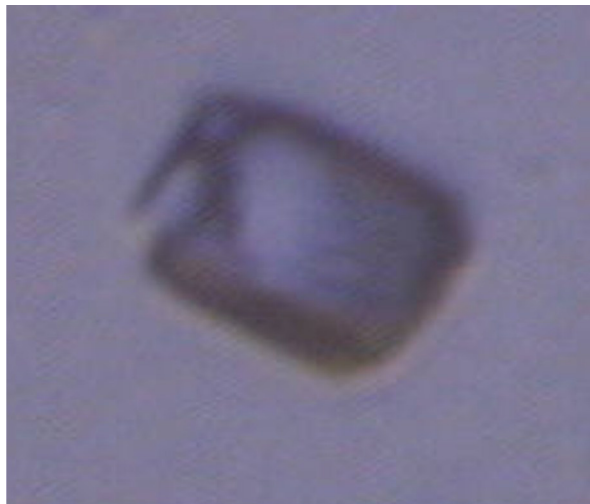
Quarzader in alteriertem Granitoid

Gruppe 1.:



a, Einschluss bei $20,0\text{ °C}$

Abb. 5.34, gashaltiger Flüssigkeitseinschluss der Gruppe 1. mit, bei Raumtemperatur, ca. 66 % Blasengröße. Während des Abkühlvorgangs ist bei ca. -97 °C Nukleation zu beobachten, die dann flüssige und gasförmige Blase homogenisiert bei ca. -143 °C in die Gasphase. Danach schmilzt die Blase bei $-61,5\text{ °C}$ (aq = wässrige Lösung, car = Gasmischung von H_2O , CO_2 , N_2 , CH_4 und $\pm \text{H}_2\text{S}$), Balkenlänge entspricht $10\text{ }\mu\text{m}$



b, Einschluss bei $-141,5\text{ °C}$



c, Einschluss bei $-190,1\text{ °C}$

Die gashaltigen Flüssigkeitseinschlüsse der 1. Hauptgruppe (Abb. 5.34) enthalten relativ kleine und größere Blasen, mit fließenden Übergängen bei der Blasengröße. Bei diesen Einschlüssen, schmilzt die hauptsächlich Kohlendioxid, Stickstoff, und Methan enthaltende Blase zwischen $-67,6\text{ °C}$ und $-53,3\text{ °C}$ (Abb. 5.35), wobei diese Schmelztemperaturen analog zu den Ramanspektrometer-Untersuchungen auf eine CO_2 -reiche Gasmischung hindeuten. Bei höheren Temperaturen ist in der Blase nur eine Gasphase anwesend und kann flüssiges CO_2 nicht nachgewiesen werden.

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
Mikrothermometrie

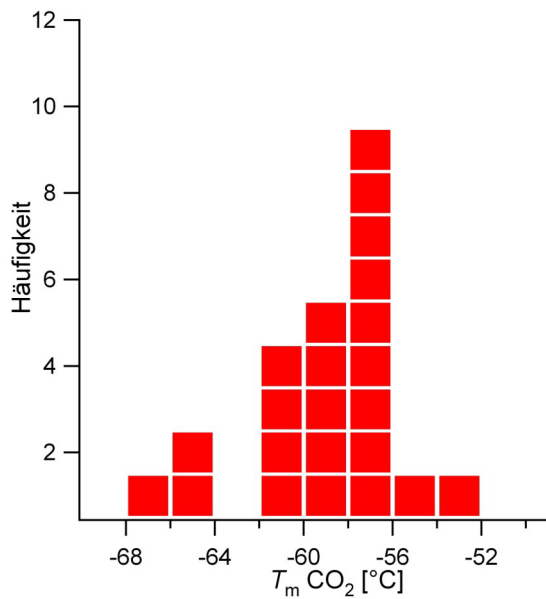


Abb. 5.35, Histogramm, Schmelzpunkt der CO₂-reichen Blase bei gasreichen Einschlüssen der Gruppe 1.

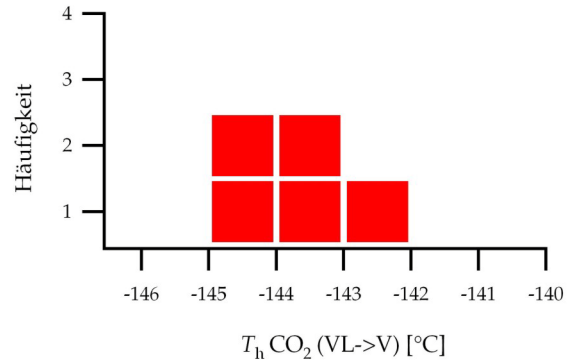


Abb. 5.36, Histogramm, Homogenisierungstemperatur von CO₂ und N₂ reichen Gasblasen in die Gasphase, unter Anwesenheit einer festen Phase, bei Flüssigkeitseinschlüssen der Gruppe 1.

Daneben zeigen einige Einschlüsse dieser gasreichen Gruppe, bei welchen der Volumsanteil der Blase zwischen 49 und ca. 100 Prozent beträgt, zwischen -144,6 °C und -142,0 °C innerhalb der Blase ein Homogenisieren von flüssiger und gasförmiger Phase zu gasförmig, jeweils in Anwesenheit auch einer festen, gefrorenen Gasphase, was unabhängig von Ramanspektrometer- Messungen auf CH₄- und N₂-reiche Gasmischungen deutet (Abb. 5.34). Anschließend, kann bei diesen Einschlüssen bei Temperaturen zwischen -65,9 °C und -60,5 °C ein gänzlicher Übergang in die gasförmige Phase beobachtet werden (Abb. 5.36). Anhand der bei gashaltigen Flüssigkeitseinschlüssen der Gruppe 1. auftretenden, recht einheitlichen Schmelztemperaturen der festen, CO₂-reichen Phase lässt sich erkennen, dass ein nur leicht negativer Trend in der Beziehung zwischen der Größe der Blase und dem Schmelzpunkt von CO₂, welcher die Zusammensetzung der Blase widerspiegelt, vorhanden ist (Abb. 5.37).

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
Mikrothermometrie

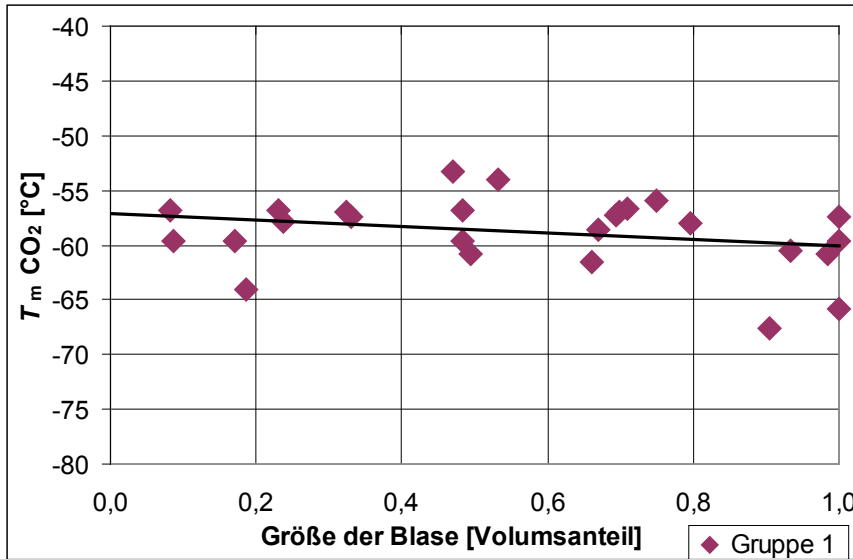


Abb. 5.37, Diagramm, Anteil der Blase gegen Schmelzpunkt der CO_2 -reichen Blase bei gasreichen Flüssigkeitseinschlüssen der Gruppe 1.. Es gibt keine starke Beziehung zwischen Blasengröße und Zusammensetzung der Blase, dargestellt als Schmelztemperatur der festen CO_2 -Phase

Wo die Gasblase nicht zu groß ist, können die Schmelzpunkte der wässrigen Lösung bei Temperaturen zwischen $-14,1 \text{ °C}$ und $-4,2 \text{ °C}$ bestimmt werden (Abb. 5.39), wobei es sich um das Schmelzen von Eis handeln dürfte (Abb. 5.38).

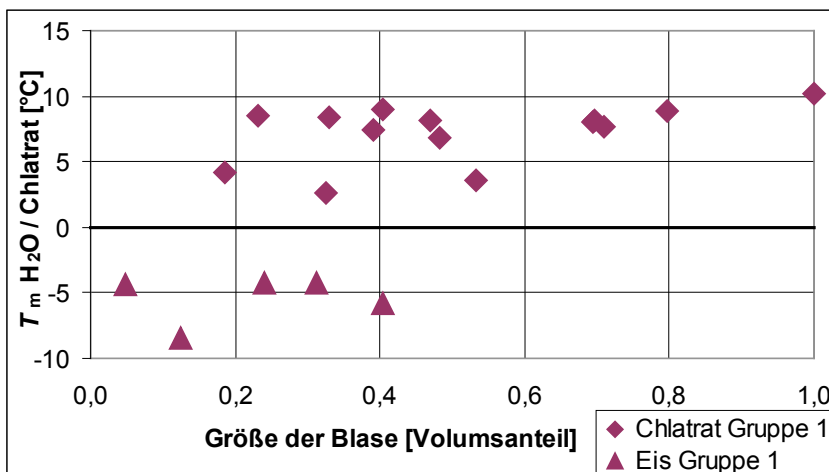


Abb. 5.38, Diagramm, Anteil der Blase gegen Schmelztemperaturen von Eis (Dreiecke) und Gashydraten (Karo) bei gashaltigen Flüssigkeitseinschlüssen der Gruppe 1.

Danach kann bei vielen gashaltigen Einschlüssen, besonders bei solchen mit eher größeren Blasen, zwischen $2,6 \text{ °C}$ und $10,2 \text{ °C}$ ein Schmelzen festgestellt werden (5.39), was auf Gashydrate hindeutet (Abb. 5.38).

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
Mikrothermometrie

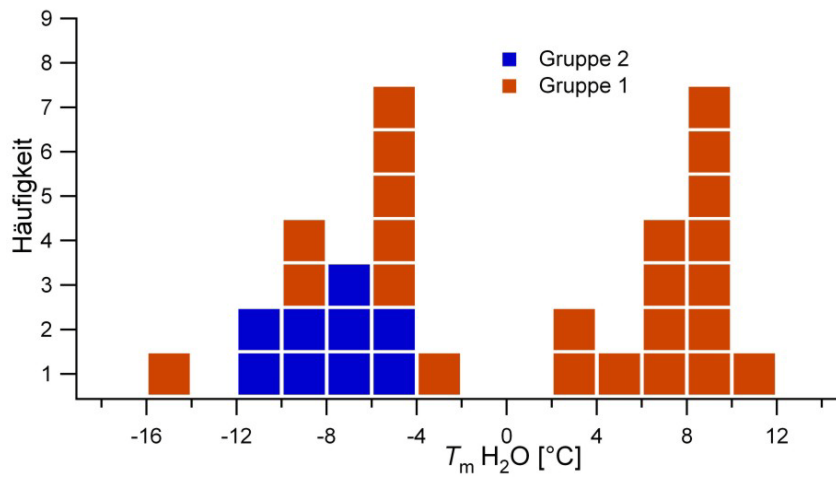
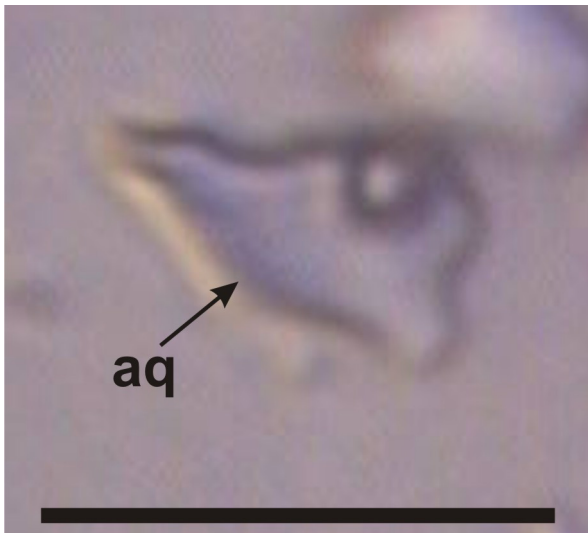


Abb. 5.39, Histogramm, Schmelztemperaturen von wässriger Lösung bzw. Gashydrat der verschiedenen Typen von Flüssigkeitseinschlüssen (Gruppen 1. und 2.)

Gruppe 2.:

Abb. 5.40, wasserreicher Flüssigkeitseinschluss der Gruppe 2. (aq = wässrige Lösung), Balkenlänge entspricht 10 μm



a, Aufnahme bei 28,5 °C, dieser Einschluss hat bei Raumtemperatur ca. 12% Blasengröße, die Nukleationstemperatur der wässrigen Phase liegt während des Abkühlvorganges bei ca. -41,8 °C



b, gefrorener Einschluss bei -190,0 °C, während des Aufwärmvorgangs tritt finales Schmelzen bei -11,1 °C auf

Bei den wasserreichen Flüssigkeitseinschlüssen der 2. Hauptgruppe (Abb. 5.40) ist das Schmelzen der salinaren Lösung bei Temperaturen zwischen -11,1 °C und -4,3 °C zu beobachten (Abb. 5).

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
Mikrothermometrie

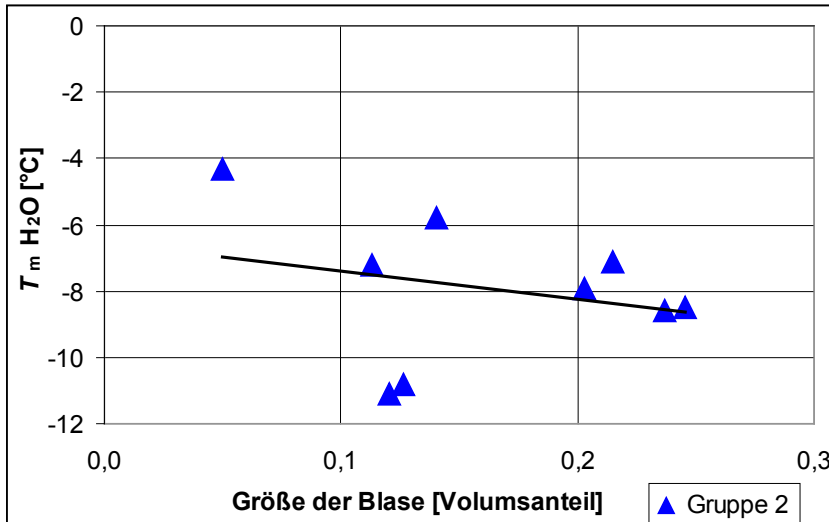
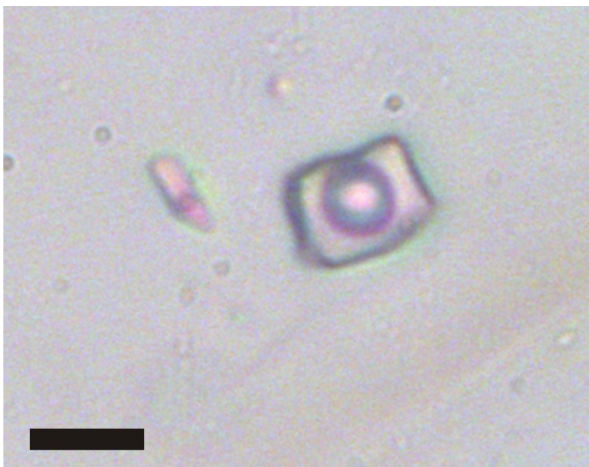


Abb. 5.41, Diagramm, Anteil der Blase aufgetragen gegen Schmelztemperaturen von Eis bei wasserreichen Flüssigkeitseinschlüssen der Gruppe 2, wobei ein negativer Trend mit zunehmenden Blasengrößen vorhanden ist

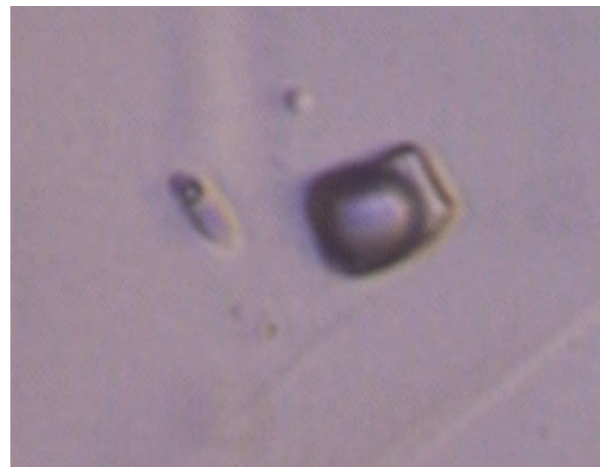
Bei den Schmelztemperaturen von Eis ist ein negativer Trend mit zunehmender Größe der Blase leicht angedeutet (Abb. 5.41).

Im Zuge der mikrothermometrischen Bearbeitung dieser Probe stellte sich heraus, dass sich die enthaltenen Flüssigkeitseinschlüsse bei Temperaturen über ca. 350 °C zu verändern beginnen. Dabei ist festzustellen, dass generell die Größen der Blasen irreversibel zunehmen und somit diese Einschlüsse für weitere Untersuchungen nicht zu verwenden sind (Abb. 5.42).

Abb. 5.42, dargestellt ist die irreversible Zunahme der Blasengröße aufgrund Überhitzung von Flüssigkeitseinschlüssen, Balkenlänge entspricht 10 µm



a, ursprünglicher Flüssigkeitseinschluss der Gruppe 1. bei Raumtemperatur (Blasengröße ca. 32 %)



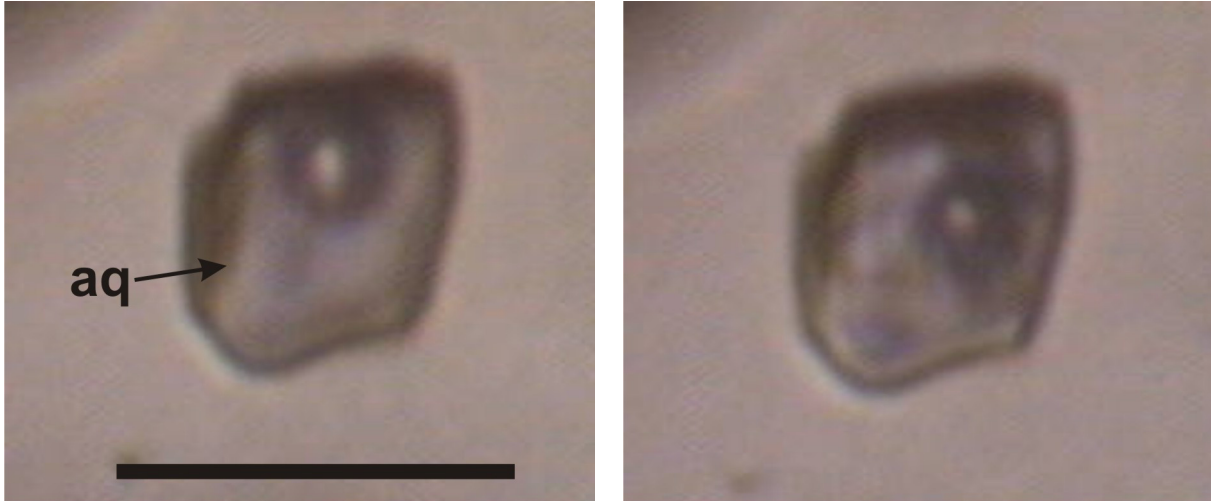
b, Flüssigkeitseinschluss bei Raumtemperatur, mit deutlich größerer Blase nach Überhitzung

Dieses Phänomen ist auf das bevorzugte Entweichen von Wasser, aufgrund eines starken Überdruckes innerhalb der Blasen zurückzuführen, was sowohl durch Diffusion als auch durch neu gebildete Wegigkeiten entlang von feinen Rissen bedingt ist. Demgegenüber wurden aufgrund von Abkühlung, auch auf Temperaturen auf -190 °C, keinerlei nachhaltige Veränderungen, wie etwa Frostsprengung, an Flüssigkeitseinschlüssen festgestellt.

CG9:

A. Flüssigkeitseinschlüsse in Kalzit:

Abb. 5.43, Flüssigkeitseinschluss mit ca. 11 % Blasengröße (aq = wässrige, saline Lösung), Balkenlänge entspricht 10 μm



a, vollständig geschmolzener Einschluss bei $-1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, bei Erwärmung homogenisiert der Einschluss bei $179,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ in die flüssige Phase, bei Abkühlung auf $131\text{ }^{\circ}\text{C}$ nukleiert die Blase wieder

b, gefrorener Einschluss bei $-65,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, dieser Einschluss nukleiert bei ca. $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$, bei der darauffolgenden Erwärmung ist bei $-26,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ das Schmelzen von Eis und bei $-14,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ finales Schmelzen von Hydrohalit festzustellen

Die in diesem Kalzit vorkommenden Flüssigkeitseinschlüsse, welche saline Lösung und eine Wasserdampfblase enthalten, zeigen bei der mikrothermometrischen Untersuchung nach Abkühlung, während des darauf folgenden Aufwärmvorganges zwei deutlich voneinander unterscheidbare schmelzende Phasen (Abb. 5.43).

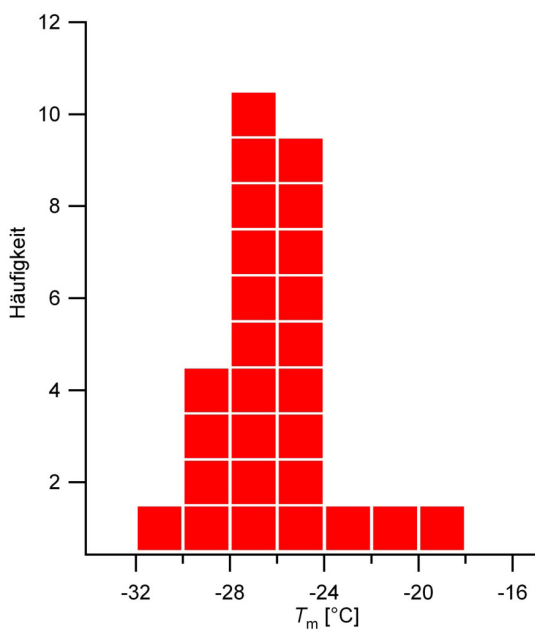


Abb. 5.44, Histogramm, finale Schmelztemperaturen von Eis in salinärer Lösung

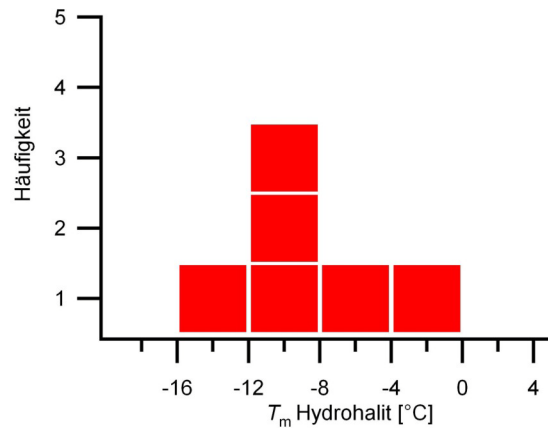


Abb. 5.45, Histogramm, Schmelztemperaturen von Hydrohalit in salinärer Lösung

Bei der ersten handelt es sich um Eis (siehe Ramanspektroskopie, Abb. 5.19), welches zwischen $-31,4\text{ °C}$ und $-19,4\text{ °C}$ schmilzt (Abb. 5.44, Abb. 5.46).

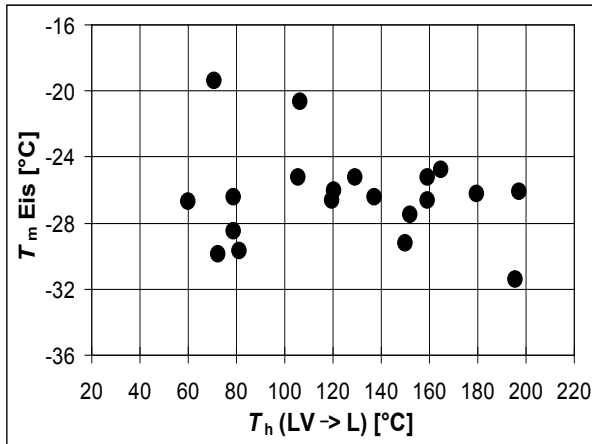


Abb. 5.46, Temperatur bei Homogenisierung in die flüssige Phase aufgetragen gegen Schmelztemperatur von Eisphase

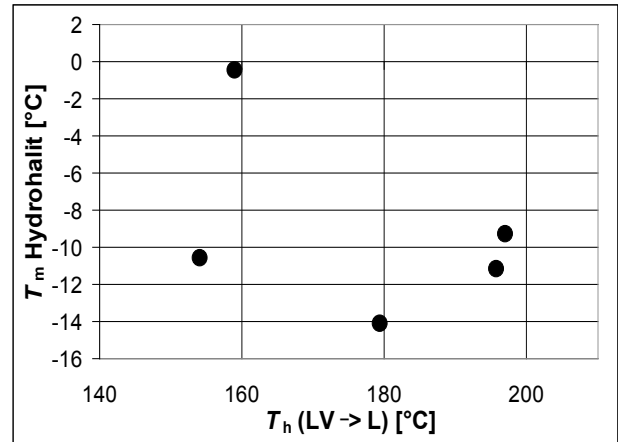


Abb. 5.47, Temperatur bei Homogenisierung in die flüssige Phase gegen finale Schmelztemperatur von Hydrohalit aufgetragen

Danach ist noch Hydrohalit (siehe Ramanspektroskopie, Abb. 5.19) vorhanden, welcher zwischen $-14,1\text{ °C}$ und $-0,5\text{ °C}$ schmilzt (Abb. 5.45, Abb. 5.47). Aufgrund dieser Werte ist zu vermuten, dass in der salinaren Lösung neben Natriumchlorid noch andere Salze vorhanden sind, wie z. B. CaCl_2 .

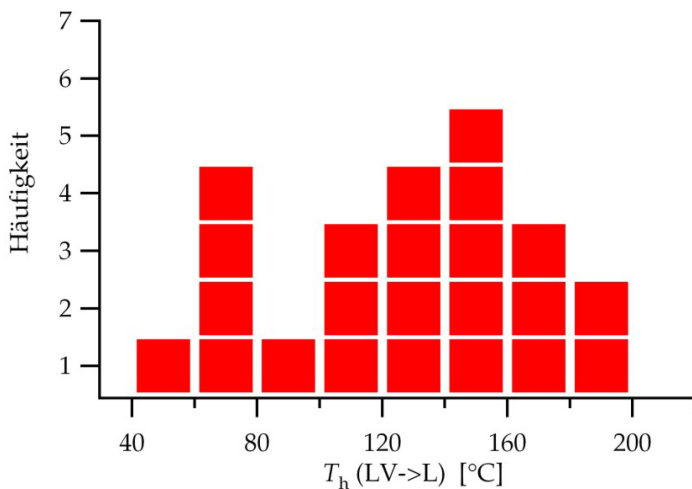


Abb. 5.48, Histogramm, Homogenisierungstemperaturen der Flüssigkeitseinschlüsse in die Flüssigphase

Die fluiden Phasen dieser Einschlüsse homogenisieren bei Temperaturen zwischen $59,9\text{ °C}$ und $197,0\text{ °C}$ in die flüssige Phase (Abb. 5.48).

B. Flüssigkeitseinschlüsse in Grossular:

Erste Gruppe:

Bei Einschlüssen der ersten Gruppe, welche wässrige Lösung und meist eine kleine Wasserdampf-Blase enthalten, ist ein Schmelzen der wasserreichen Phase zwischen $-19,9\text{ °C}$ und $-6,0\text{ °C}$ zu beobachten (Abb. 5.49). Mit Zunahme der Blasengrößen ist ein negativer Trend bei den Schmelztemperaturen von Eis erkennbar (Abb. 5.50).

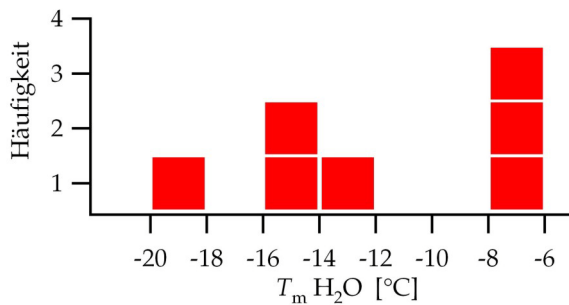


Abb. 5.49, Histogramm, Schmelzpunkte der wässrigen Phase bei gefrierbaren Flüssigkeitseinschlüssen (1. Gruppe)

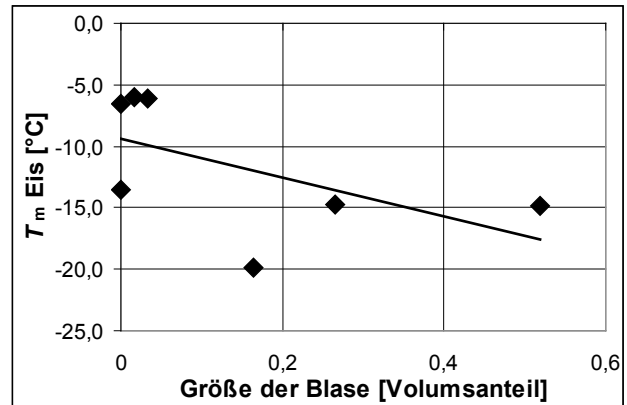


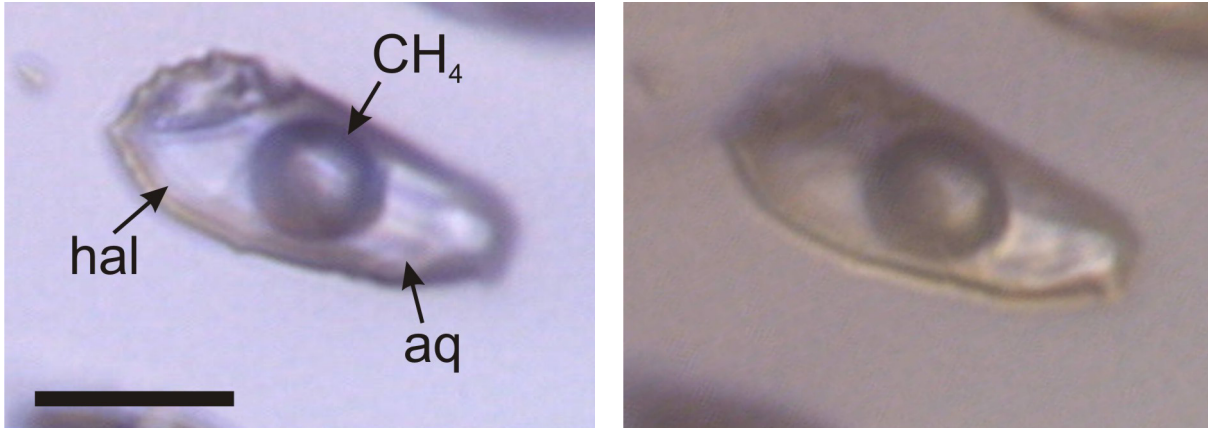
Abb. 5.50, Diagramm, Anteil der Blase gegen Schmelztemperatur von Eis bei gefrierbaren Flüssigkeitseinschlüssen der 1. Gruppe. Die Schmelztemperaturen zeigen einen negativen Trend mit Zunahme der Blasengrößen

Einschlüsse dieser Gruppe homogenisieren deutlich unter 540 °C , entsprechend vor jenen der zweiten Gruppe, und verhalten sich bei hohen Temperaturen instabil, wobei hier keine genaueren Daten gewonnen wurden.

Zweite Gruppe:

Die hochsalinaren Flüssigkeitseinschlüsse der zweiten Gruppe, welche aus hochsalinärer Lösung mit verschiedenen festen Phasen und einer methanhältigen Gasblase bestehen, verhalten sich beim Abkühlvorgang metastabil und sind auch bei -180 °C nicht zum Gefrieren zu bringen (Abb. 5.51).

Abb. 5.51, hochsalinärer Flüssigkeitseinschluss der 2. Gruppe mit ca. 24 % Blasengröße Granat (aq = hochsalinare, wässrige Lösung, hal = Halit), Balkenlänge entspricht $10\text{ }\mu\text{m}$



a, Einschluss mit Halit als fester Phase bei $24,1\text{ °C}$ Bei Erwärmung auf 333 °C löst sich der Salzkristall vollständig auf, bei anschließender Abkühlung auf ca. 155 °C nukleiert dieser wieder. Die Gasblase homogenisiert bei 579 °C in die flüssige Phase und nukleiert bei darauf folgender Abkühlung bei ca. 510 °C wieder

b, Einschluss bei $-189,9\text{ °C}$, dieser hochsalinare Einschluss ist auch bei diesen tiefen Temperaturen nicht zum Gefrieren zu bringen

Beim Erhitzen ist zu beobachten, dass sich die enthaltenen farblosen Salzkristalle, wahrscheinlich Halitkristalle, bei Temperaturen zwischen 320 °C und 343 °C auflösen (Abb. 5.52).

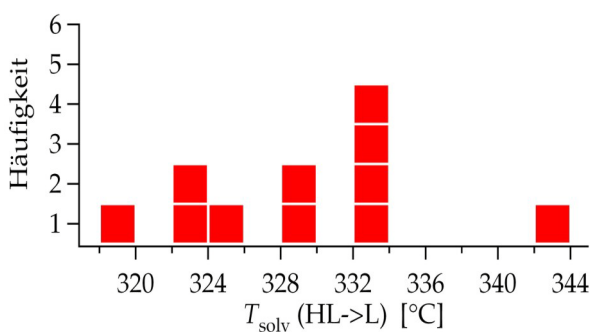


Abb. 5.52, Histogramm, finale Auflösetemperaturen der Halitkristalle in hochsalinaren, nicht gefrierbaren, hochsalinaren Flüssigkeitseinschlüssen der 2. Gruppe

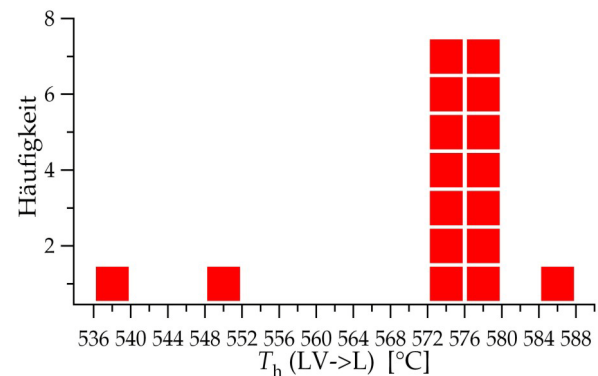


Abb. 5.53, Histogramm, Homogenisierungstemperaturen der hochsalinaren Einschlüsse (2. Gruppe) in die Flüssigphase

Diese Einschlüsse homogenisieren in die flüssige Phase, bei Temperaturen zwischen 540 °C und 587 °C (Abb. 5.53, Abb. 5.54).

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
Mikrothermometrie

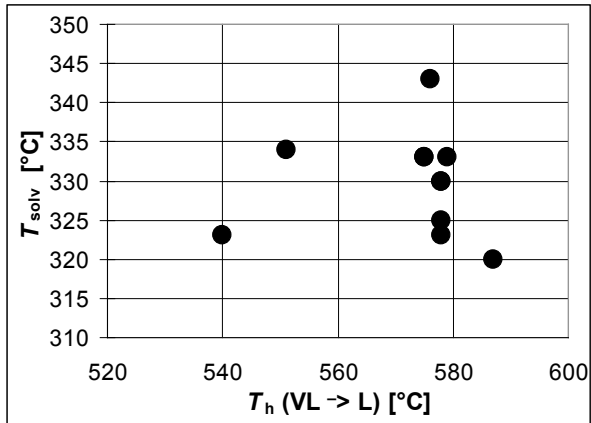


Abb. 5.54, Temperatur bei Homogenisierung in die flüssige Phase aufgetragen gegen Auflösetemperatur von Salzkristall in hochsalinaren Einschlüssen (2. Gruppe)

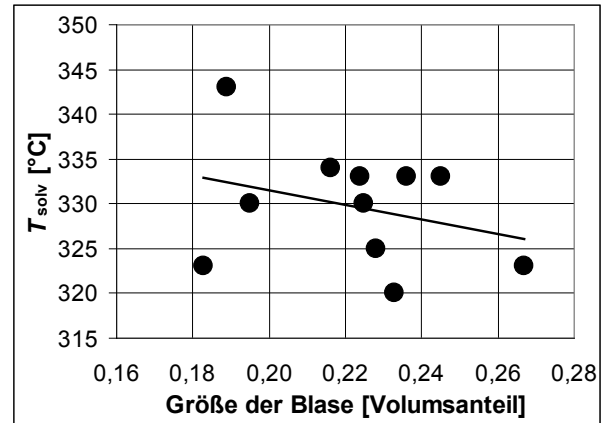


Abb. 5.55, Diagramm, Anteil der Blase gegen Auflösetemperatur von Salzkristall bei hochsalinaren, nicht gefrierbaren Flüssigkeitseinschlüssen (2. Gruppe)

Bei den Auflösetemperaturen der Salzkristalle ist mit zunehmender Größe der Blasen ein leicht negativer Trend vorhanden (Abb. 5.55).

CG16:

Klinopyroxen der Diopsid - Hedenbergit Mischungsreihe in erzreichem Skarn

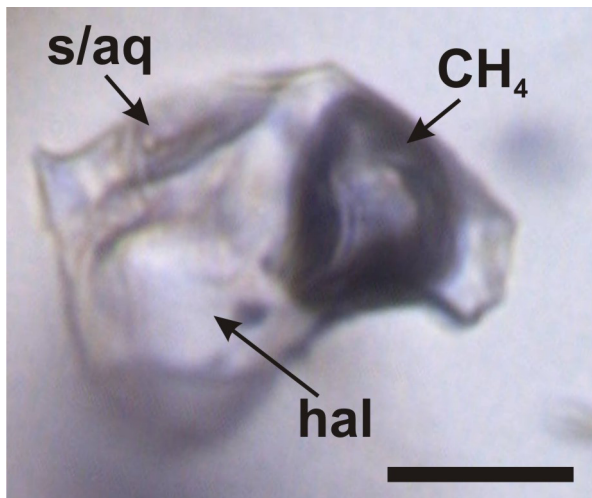
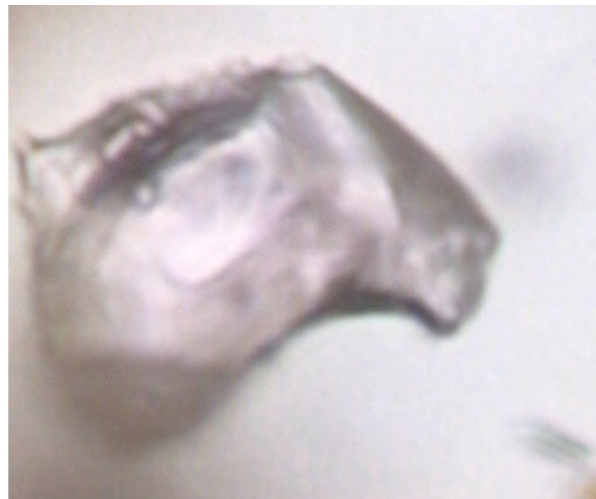


Abb. 5.56, hochsalinärer Flüssigkeitseinschluss mit ca. 24 % Blasengröße. Bei Abkühlung ist bei diesem Einschluss kein Gefrieren zu erkennen. Der Salzkristall löst sich bei Erwärmung auf 346 °C vollständig auf und nukleiert danach bei ca. 240 °C wieder. Bei weiterer Erhitzung auf 560 °C homogenisiert die Gasblase vollständig in die flüssige Phase und nukleiert bei anschließender Abkühlung bei ca. 520 °C wieder (s/aq = Mischung aus festen Phasen (teilweise Kalzit) und einer hochsalinaren wässrigen Lösung, hal = Halit), Balkenlänge entspricht 10 µm

a, Einschluss mit verformter Gasblase bei 27,5 °C



b, deutlich kleinere Blase bei 501,9 °C



c, fast vollständig homogenisierte, kreisrund erscheinende Gasblase bei 548,5 °C

Bei diesen hochsalinaren, methanhaltigen Flüssigkeitseinschlüssen ist teilweise ein Gefrieren nicht deutlich zu erkennen, bei anderen wieder sind in der gefrorenen Phase Eis und Methan- Hydrat festzustellen (siehe Ramanspektroskopie). Die in diesen Einschlüssen bei Raumtemperatur enthaltenen Salzkristalle (Abb. 5.56), wahrscheinlich Halit, haben zwischen 303 °C und 346 °C ihre finalen Auflösetemperaturen (Abb. 5.57).

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
Mikrothermometrie

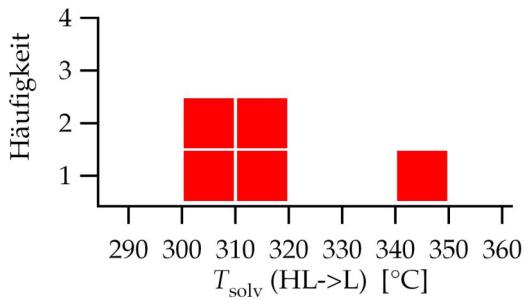


Abb. 5.57, Histogramm, finale Auflösetemperaturen von Salzkristallen in hochsalinaren Flüssigkeitseinschlüssen

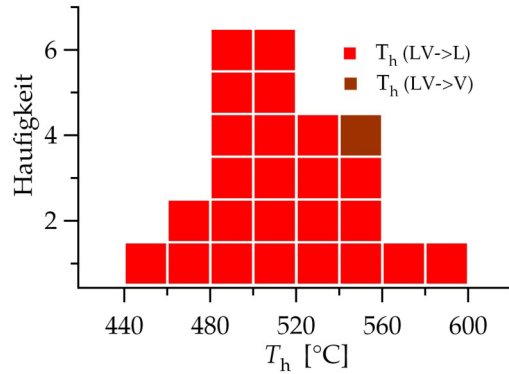


Abb. 5.58, Histogramm, Totale Homogenisierungstemperaturen von hochsalinaren Flüssigkeitseinschlüssen in die flüssige und gasförmige Phase

Bei Temperaturen zwischen 440 °C und 585 °C können Homogenisierungen der fluiden Bestandteile dieser Einschlüsse in die flüssige Phase beobachtet werden und bei 550 °C bis über 590 °C finden vereinzelt Homogenisierungen auch in die gasförmige Phase statt (Abb. 5.58).

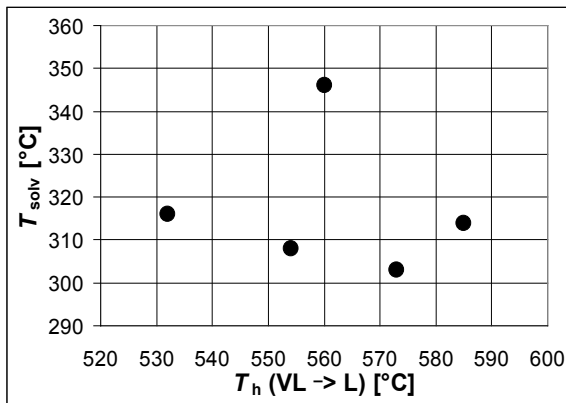


Abb. 5.59, Diagramm, totale bei unterschiedlichen Homogenisierungstemperaturen treten relativ einheitliche finale Auflösetemperaturen von Salzkristallen auf

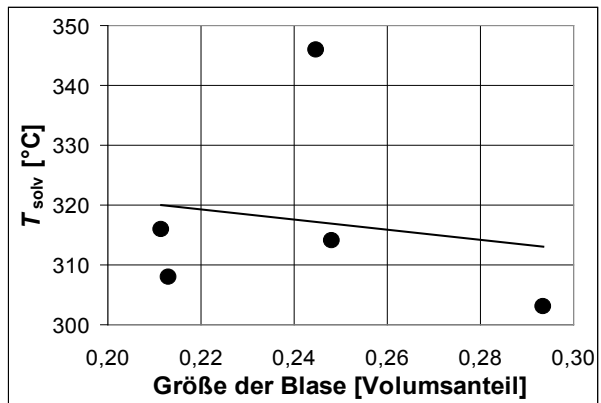


Abb. 5.60, Diagramm, Anteil der Blase gegen Auflösetemperatur von Salzkristall. Es ist ein negativer Trend mit Zunahme der Blasengröße vorhanden

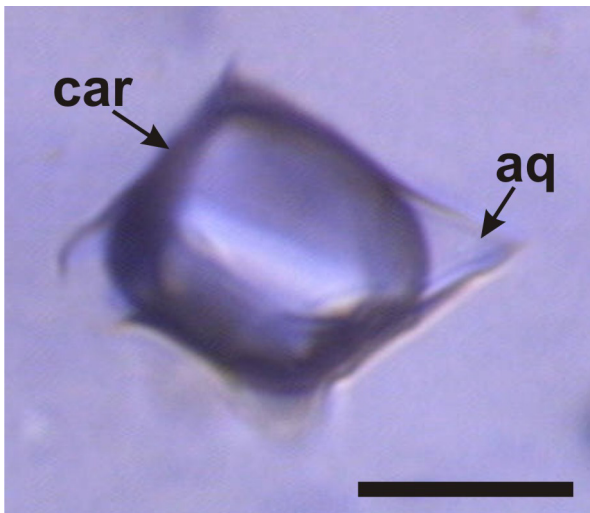
Anhand der über einen relativ schmalen Bereich verteilten finalen Auflösetemperaturen von Salzkristallen lässt sich erkennen, dass die Salinität der Einschlüsse bei unterschiedlichen Homogenisierungstemperaturen mehr oder weniger konstant ist (Abb. 5.59). Bei den Auflösetemperaturen der Salzkristalle ist ein leicht negativer Trend erkennbar (Abb. 5.60).

CG19:

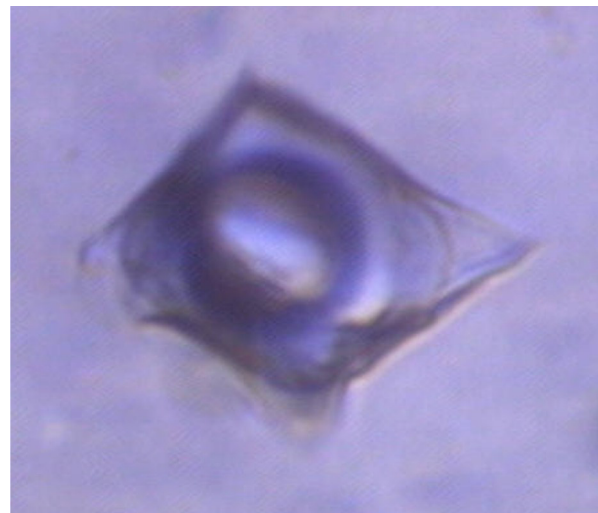
Quarzader in Meta-Arkose

Gruppe 1.a.:

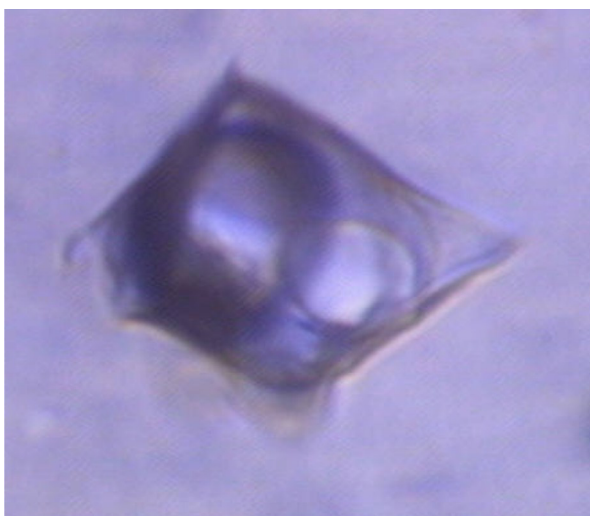
Abb. 5.61, gasreicher Flüssigkeitseinschluss der Gruppe 1.a. mit großer Gasblase von ca. 72 % Volumsprozent. Nach Abkühlung dieses Einschlusses treten zwischen ca. -190 °C und -169 °C entlang eines schmalen streifenförmigen Kanals Rekristallisationserscheinungen auf. Bei -57,5 °C Schmilzt die CO₂- reiche Blase, welche von da an 2- phasig, in flüssiger (dunkler Kern) und gasförmiger Form vorhanden ist (diese Blase gefriert bei ca. -94 °C). Bei 7,0 °C ist finales Schmelzen der wässrigen Lösung (Gashydrat) feststellbar (die wässrige Lösung gefriert bei ca. -31 °C). Bei 17,8 °C homogenisiert die bis da 2- phasige CO₂- reiche Blase in die flüssige Phase. Der gesamte Flüssigkeitseinschluss ist aufgrund der Größe der Blase bis 600 °C nicht vollständig homogenisierbar (r = schmaler Kanal mit Rekristallisation bei tiefen Temperaturen, aq = wässrige Lösung, car = Gasmischung von H₂O, CO₂, N₂, CH₄ und H₂S), Balkenlänge entspricht 10 µm



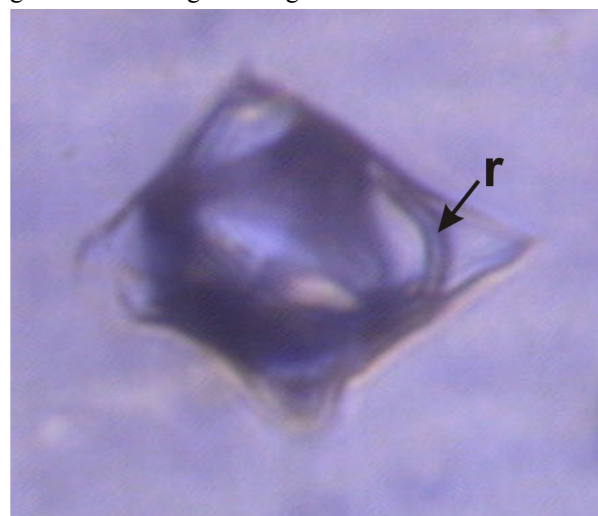
a, Einschluss bei 50,0 °C mit wässriger Phase und CO₂- reicher Gasblase, aufgrund der Größe ist diese Blase bis 600 °C nicht vollständig homogenisierbar



b, 3- phasiger Einschluss bei -57,5 °C: Im Zentrum dunkle, flüssige CO₂- reiche Phase, umgeben von gasförmiger, CO₂- reicher Phase und randlich gefrorene wässrige Lösung



c, 4-Phasiger Einschluss bei -57,7 °C: im Zentrum 2-phasige Blase bestehend aus flüssiger und gasförmiger CO₂- reicher Mischung, mit ovalem Eiskristall (hell), und randlich gefrorener wässriger Lösung mit Gashydrat



d, gefrorener Einschluss bei -179,4 °C, während der Erwärmungsphase zwischen ca. -190 °C bis ca. -169 °C treten entlang eines schmalen Kanals (r) sich streifenförmig ausbreitende Rekristallisations-Erscheinungen auf

Bei der ersten, gasreichen Untergruppe 1.a. mit vergleichsweise größerer Blase (Abb. 5.61), schmilzt die eingefrorene Blase zwischen ca. -58 °C bis $-57,1\text{ °C}$, was auf ein Kohlendioxid-reiches Gas deutet (Abb. 5.63).

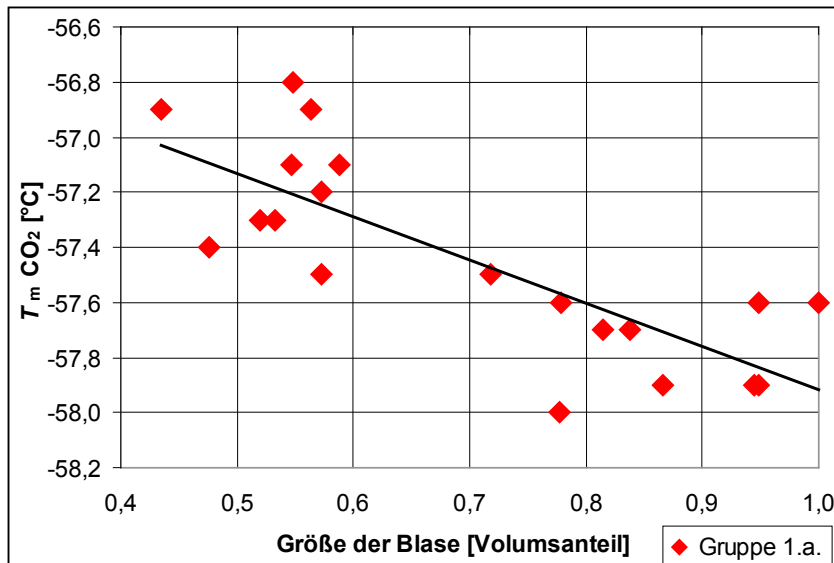


Abb. 5.62, Diagramm, Anteil der Blase gegen Schmelzpunkt der CO_2 -reichen Blase bei gasreichen Flüssigkeitseinschlüssen der Gruppe 1.a. Es gibt eine deutliche Beziehung zwischen Blasengröße und Zusammensetzung der Blase, dargestellt als T_m der festen CO_2 -Phase

Bei den Schmelzpunkten dieser CO_2 -reichen Phasen ist ein negativer Trend mit zunehmenden Blasengrößen erkennbar (Abb. 5.62).

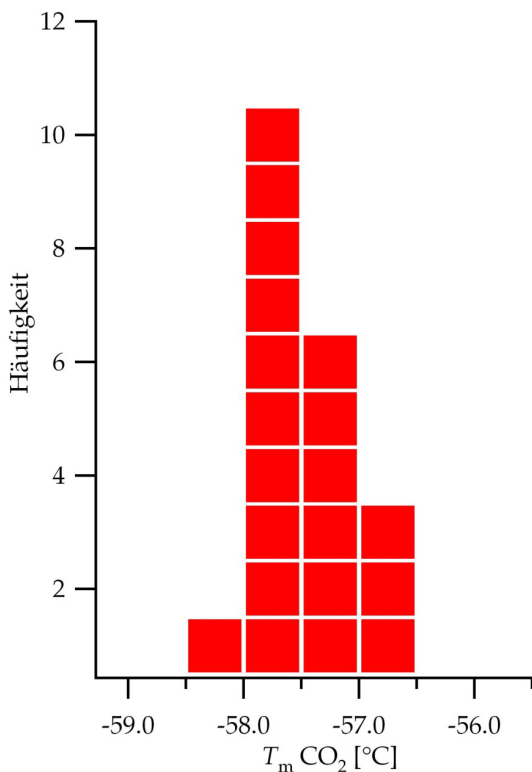


Abb. 5.63, Histogramm, Schmelztemperaturen von CO_2 bei gasreichen Einschlüssen mit großer Blase (Gruppe 1.a.)

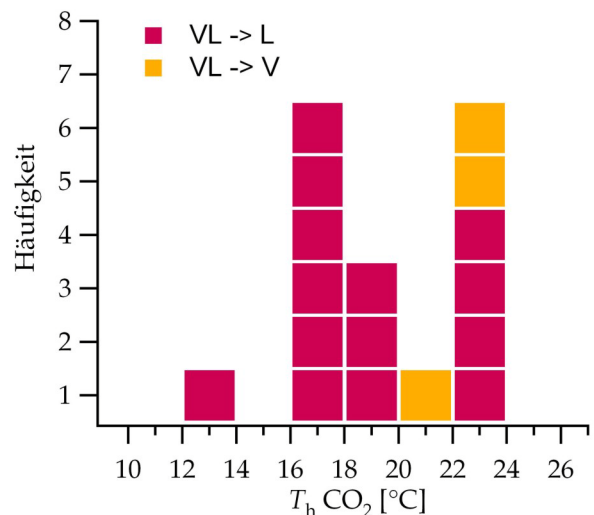


Abb. 5.64, Histogramm, Homogenisierungstemperaturen von CO_2 bei gasreichen Einschlüssen mit großer Blase (Gruppe 1.a.), in die flüssige (VL -> L) oder in die gasförmige (VL -> V) Phase

Die Blasen treten ab deren Schmelztemperatur meist zweiphasig, in flüssiger und gasförmiger Form auf. Zwischen 12,4 °C und 23,9 °C homogenisieren ca. 70 Prozent dieser zweiphasigen Gasblasen in die Flüssigphase und zwischen 21,9 °C und 23,0 °C homogenisieren die übrigen Gasblasen in die Gasphase, was eine große Spannbreite in den Dichten von CO₂ widerspiegelt (Abb. 5.64). Die wässrige Phase bildet bei tiefen Temperaturen Gashydrate, welche zwischen 6,4 °C und 9,4 °C schmelzen (Abb. 5.65).

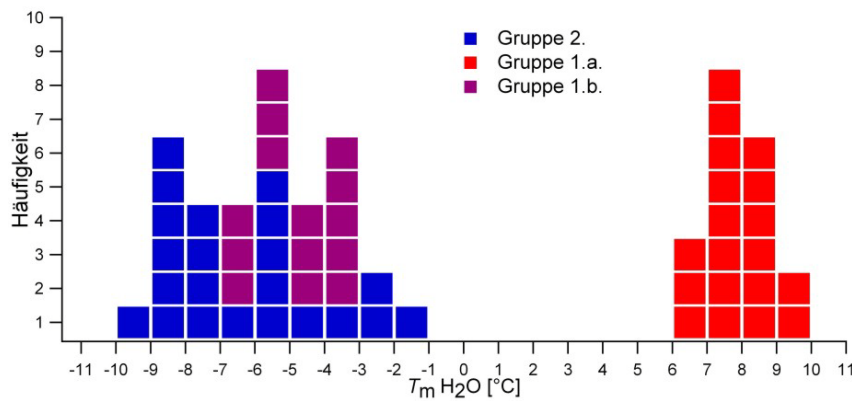
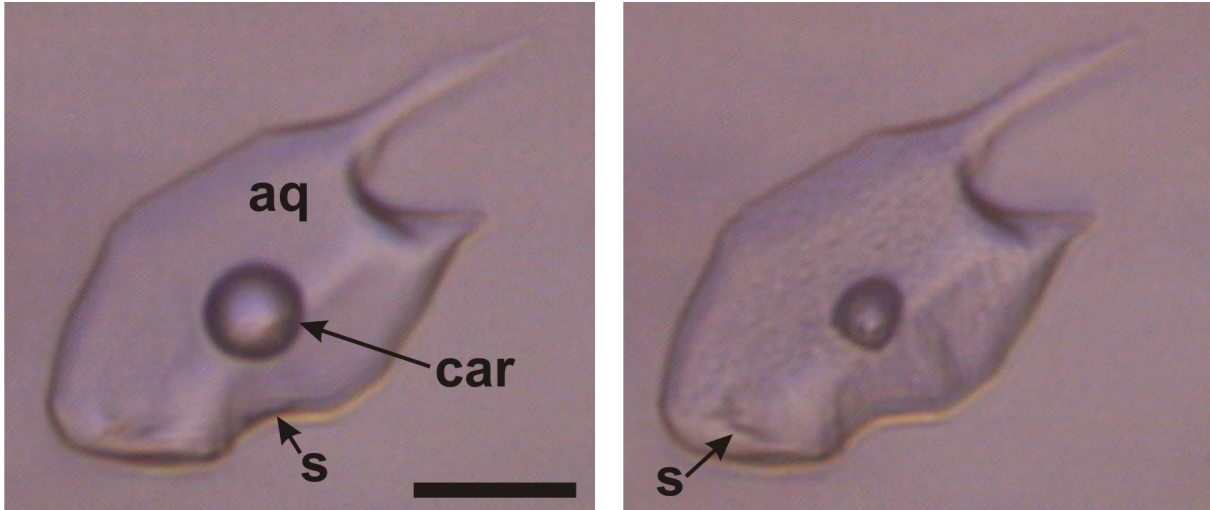


Abb. 5.65, Histogramm, Schmelztemperaturen von H₂O (gashältige Gruppe 1.b. mit kleiner Blase; und wasserreiche Gruppe 2. ohne weitere Gase), bzw. von Gashydrat (gasreiche Gruppe 1.a. mit großer Blase) in den verschiedenen Typen von Einschlüssen

Aufgrund der großen Blasen der Flüssigkeitseinschlüsse der Gruppe 1.a. sind diese bis 600°C (Limit der Mikrothermometrie-Apparatur) nicht als Ganze homogenisierbar. Außerdem ist bei einigen dieser Einschlüsse während des Aufwärmvorganges von ca. -190°C beginnend, eine kleine zapfenförmige Entmischung feststellbar, welche sich mit weiterer Erwärmung bis zu Temperaturen zwischen -181,9 °C und -156,1 °C entlang eines schmalen Kanals ausbreitet (Abb. 5.61).

Gruppe 1.b.:

Abb. 5.66, gashaltiger Flüssigkeitseinschluss der Gruppe 1.b. mit ca. 9 % Blasengröße. Während des Abkühlvorganges gefriert die wässrige Phase bei ca. $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$, wobei die sich dabei bildenden Eiskristalle die in diesem Einschluss vorhandene, nadelförmige opake Phase deutlich bewegen können. Ein Gefrieren der kleinen Gasblase kann nicht erkannt werden. Während der Erwärmung kann kein Schmelzen der CO_2 -haltigen Blase festgestellt werden, die wässrige Lösung schmilzt bei $-6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Anschließend homogenisiert die Gasblase bei $184,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ in die Flüssigphase. (s = feste, nadelförmige opake Phase; aq = wässrige Lösung; car = Gasmischung von H_2O , CO_2 , N_2 , und CH_4), Balkenlänge entspricht $10\text{ }\mu\text{m}$



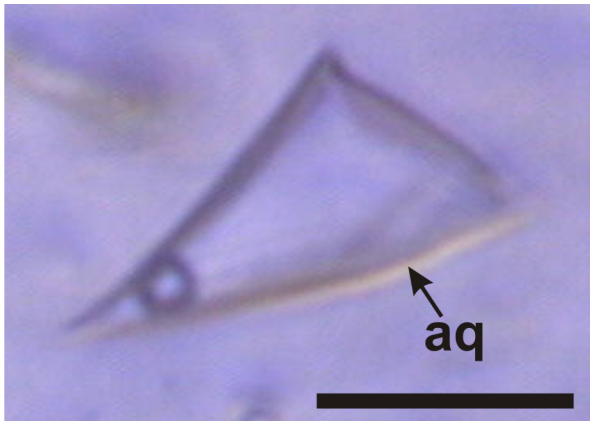
a, Einschluss bei $50,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, mit randlich befindlicher, nadelförmiger opaker Festphase

b, gefrorener Einschluss bei $-190,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, mit gesprenkelt erscheinender wässriger Lösung, deformierter Blase opaker Phase

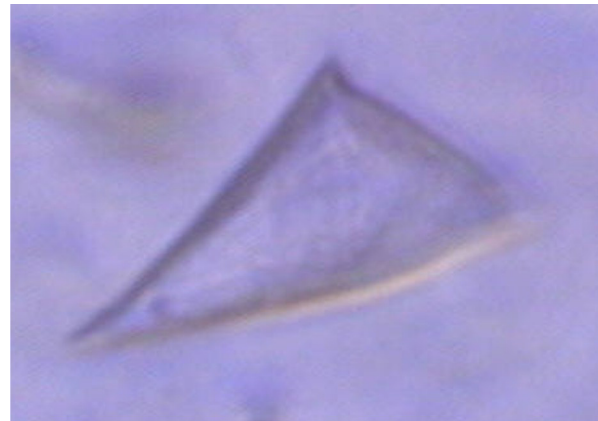
Demgegenüber ist bei Flüssigkeitseinschlüssen der zweiten gashaltigen Gruppe 1.b. mit relativ kleinerer Blase (Abb. 5.66) kein Schmelzen der Gasblase feststellbar. Der bei Raumtemperatur flüssige, wasserreiche Anteil schmilzt zwischen $-9,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $-1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Abb. 5.65). Zwischen $131,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $188,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ homogenisieren diese Einschlüsse in die flüssige Phase (Abb. 5.68).

Gruppe 2.:

Abb. 5.17, wasserreicher Flüssigkeitseinschluss ohne weitere Gase der Gruppe 2. mit ca. 5 % Blasengröße. Dieser Einschluss gefriert bei ca. -41 °C , die wässrige Lösung schmilzt bei $-7,3\text{ °C}$. Die Wasserdampf enthaltende Blase homogenisiert bei $105,4\text{ °C}$ in die flüssige Phase (aq = wässrige Lösung), Balkenlänge entspricht $10\text{ }\mu\text{m}$



a, Einschluss bei $50,0\text{ °C}$



b, gefrorener Einschluss bei $-41,1\text{ °C}$ mit gespränkelter Erscheinung und stark verkleinerter Blase

Die wasserreichen Flüssigkeitseinschlüsse ohne weitere Gase der 2. Hauptgruppe (Abb. 5.17) schmelzen zwischen $-9,8\text{ °C}$ und $-1,6\text{ °C}$ (Abb. 5.65). Diese Einschlüsse homogenisieren zwischen $105,4\text{ °C}$ und $171,1\text{ °C}$ in die flüssige Phase (Abb. 5.68).

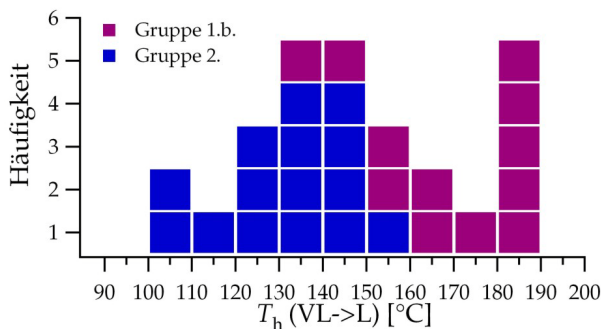


Abb. 5.68, Histogramm, Homogenisierungstemperaturen in die Flüssigphase von Flüssigkeitseinschlüssen mit relativ kleinen Blasen (Gruppen 1.b und 2)

Wasserreiche Flüssigkeitseinschlüsse der Gruppen 1.b. und 2. haben recht ähnliche Blasengrößen und Schmelztemperaturen von Eis, dagegen besitzen Einschlüsse der Gruppe 1.a. bei verschiedenen großen Blasen recht einheitliche Gashydrat- Schmelztemperaturen.

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
Mikrothermometrie

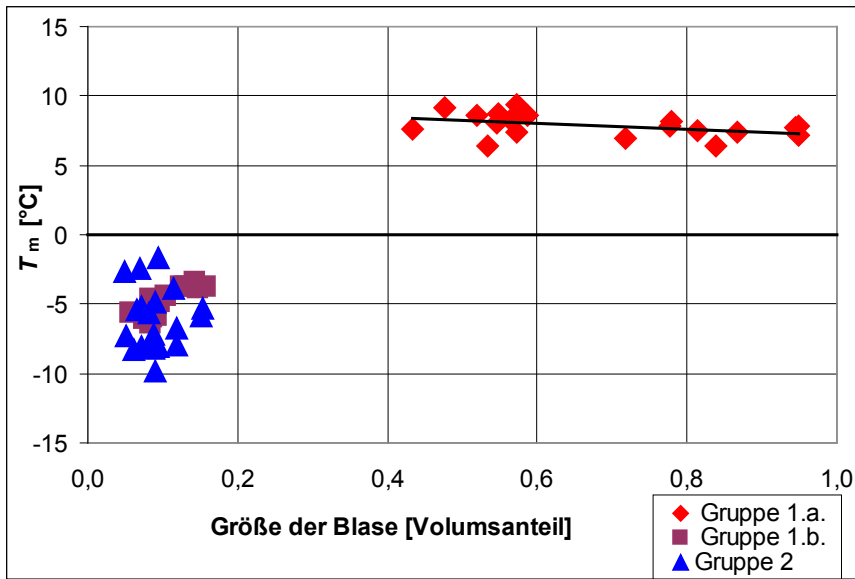


Abb. 5.69, Diagramm, Anteil der Blase gegen Schmelzpunkt von H_2O (Gruppen 1.b. und 2.) und von Gashydrat (Gruppe 1.a.) bei den verschiedenen Typen von Flüssigkeitseinschlüssen

Bei den Schmelztemperaturen von Gashydrat ist lediglich ein leicht ausgeprägter negativer Trend mit zunehmender Größe der Blase erkennbar (Abb. 5.69).

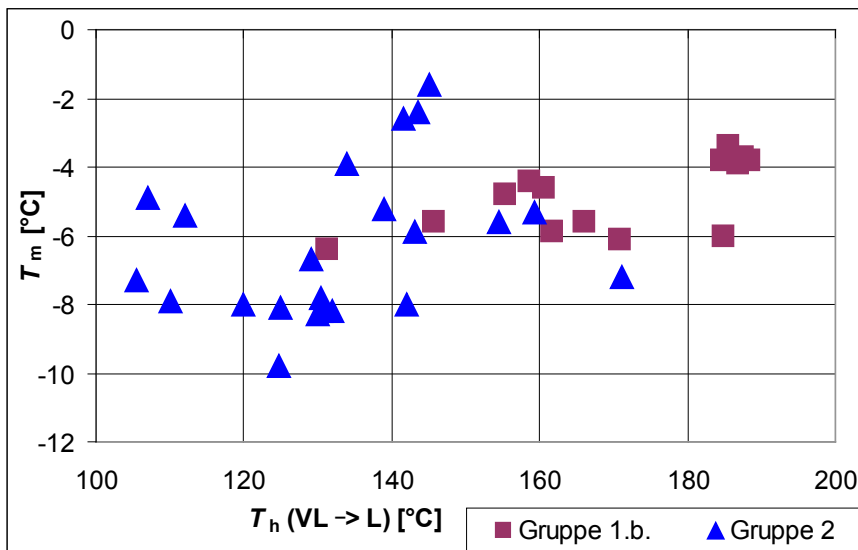


Abb5.70, Diagramm, totale Homogenisierungstemperatur in die flüssige Phase gegen Schmelztemperatur von H_2O bei Flüssigkeitseinschlüssen der Gruppen 1.b. und 2.

Daneben fällt auf, dass bei ähnlichen Salinitäten, Flüssigkeitseinschlüsse der Gruppe 1.b. bei höheren Temperaturen homogenisieren als Einschlüsse der Gruppe 2. (Abb. 5.70).

5.4 Berechnungen

CG2:

Quarzader in alteriertem Granitoid

Gruppe 1.:

fi. Nr.	Blase [Vol. %]	V_m [cm ³ /mol]	Dichte [g/cm ³]	P_h [MPa]
1	99	7214,1	0,0049	0,147
2	66	7350,6	0,0048	0,143
3	49	7779,1	0,0045	0,134
4	93	7293,5	0,0047	0,143
5	98	7467,3	0,0047	0,141

Tab. 5.1, Mittels der Software Loner W berechnete Größen bezogen auf die Gasphase von Flüssigkeitseinschlüssen der Gruppe 1. mit relativ großen Gasblasen

Mithilfe der Software Loner W wurden auf Basis von gemessener Homogenisierungstemperatur der flüssigen und gasförmigen Gasblase in die Gasphase und der mittels Ramanspektroskopie bestimmten Molanteile der Zusammensetzung der homogenen Gasblase die molaren Volumina, die Dichten und die Homogenisierungsdrücke der Gasphase von Flüssigkeitseinschlüssen der Gruppe 1., mit relativ großen Gasblasen, berechnet (Tab. 5.1). Dabei reichen die berechneten Werte bei den molaren Volumina von ca. 7214 cm³/mol bis ca. 7779 cm³/mol, die berechneten Dichten von ca. 0,0045 g/cm³ bis ca. 0,0049 g/cm³, wobei diese Werte jeweils für die Gasphase innerhalb der Flüssigkeitseinschlüsse ermittelt wurden. Bei den Homogenisierungsdrücke von der flüssigen in die gasförmige Phase wurden für diese Gasblasen Werte zwischen ca. 0,14 MPa und ca. 1,48 MPa berechnet.

fi. Nr.	V_m [cm ³ /mol]	Dichte [g/cm ³]	x H ₂ O [Molanteil]	x CO ₂ [Molanteil]	x CH ₄ [Molanteil]	x N ₂ [Molanteil]	x H ₂ S [Molanteil]
1	1447,3	0,0148	0,800	0,096	0,005	0,098	0,0000
2	52,9	0,3428	0,994	0,003	0,000	0,002	0,0000
3	35,3	0,5117	0,997	0,002	0,001	0,001	0,0000
4	4054,5	0,0065	0,483	0,219	0,013	0,285	0,0000
5	807,3	0,0246	0,893	0,048	0,003	0,055	0,0003

Tab. 5.2, mittels des Programms Bulk für Flüssigkeitseinschlüsse der Gruppe 1. berechnete Werte, bezogen auf den Gesamteinschluss

Unter Verwendung des Programms Bulk wurden weiterführend für Einschlüsse der Gruppe 1. mit großen Gasblasen mittels Eingabe der Werte der Homogenisierungstemperatur in die Dampfphase, der Größe der Gasblase und der mittels Ramanspektroskopie bestimmten Gaszusammensetzung der Gasblase das molare Volumen, die Dichte und die molare Zusammensetzung, jeweils bezogen auf den gesamten Einschluss, berechnet (Tab. 5.2). Die mögliche Anwesenheit von Salz in diesen Einschlüssen wurde dabei bei der Berechnung vernachlässigt. Die ermittelten Werte reichen bei den molaren Volumina von ca. 35 cm³/mol, für Einschlüsse mit relativ kleiner Blase, bis ca. 4055 cm³/mol, für Einschlüsse mit relativ großer Gasblase. Das stimmt mit den für gasreiche Einschlüsse berechneten, niedrigen Dichten überein. Diese berechneten Dichten reichen von ca. 0,0065 g/cm³ bis ca. 0,5117 g/cm³ (siehe Abb. Tab. CG2Gas1-61-6Bulk). Diese Einschlüsse beinhalten ca. 48

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
Berechnungen

Molprozent bis annähernd 100 Molprozent Wasser, ca. 0,2 Molprozent bis ca. 22 Molprozent Kohlendioxid, annähernd 0 Molprozent bis ca. 1 Molprozent Methan, annähernd 0 Molprozent bis ca. 29 Molprozent Stickstoff und keinen Schwefelwasserstoff bis höchstens Spuren mit maximal ca. 0,03 Molprozent davon. Es fällt auf, dass auch Einschlüsse mit einer Gasblase von 99 Volumsprozent zu 80 Molprozent aus Wasser bestehen.

fi. Nr.	Blase [Vol. %]	T_m H ₂ O [°C]	T_m Chlratrat [°C]	NaCl [Massen %]	NaCl [mol/kg]	V_m [cm ³ /mol]	Dichte [g/cm ³]
32	40	-5,8	9,0	3,5	0,62	29,6	0,680
45	24	-4,2	10,0	3,5	0,62	29,6	0,680
64	39	-3,6	7,4	2,6	0,46	28,8	0,676

fi. Nr.	x H ₂ O [Molanteil]	x CO ₂ [Molanteil]	x CH ₄ [Molanteil]	x N ₂ [Molanteil]	x Na ⁺ [Molanteil]	x Cl ⁻ [Molanteil]
32	0,902	0,073	0,002	0,003	0,010	0,010
45	0,929	0,045	0,000	0,001	0,013	0,013
64	0,935	0,048	0,001	0,001	0,008	0,008

Tab. 5.3, mittels der Software ICE für Einschlüsse der Gruppe 1. berechnete Salinitäten der wässrigen Phase, übrige Werte, bezogen auf den Gesamt- Flüssigkeitseinschluss

Als Beispiel wurden für drei Einschlüsse der Gruppe 1. mit Blasengrößen von 24 Volumsprozent bis 40 Volumsprozent mittels des Programms ICE unter Eingabe der gemessenen Schmelztemperatur von Eis und Gashydrat, der mittels Ramanspektroskopie bestimmten Gaszusammensetzung der Blase und des Volumsanteils von Wasser im Einschluss die Salinität, das molare Volumen, die Dichte und die Zusammensetzung, jeweils bezogen auf den Gesamteinschluss, berechnet (Tab. 5.3). Die dabei erhaltenen Werte für die Salinität reichen, NaCl äquivalent berechnet, von ca. 2,6 Massenprozent bis ca. 4,2 Massenprozent, beziehungsweise reichen die Molalitäten von ca. 0,46 mol/kg bis ca. 0,76 mol/kg, jeweils bezogen auf die wässrige Phase im Einschluss. Die nachfolgend für diese Einschlüsse mittels des Programms ICE berechneten Werte beziehen sich jeweils auf den gesamten Flüssigkeitseinschluss. Die so bestimmten molaren Volumina reichen von ca. 24 cm³/mol bis ca. 30 cm³/mol, demgegenüber reichen die Dichten von ca. 0,68 g/cm³ bis ca. 0,81 g/cm³. Die berechneten Zusammensetzungen reichen für Wasser von ca. 90 Molprozent bis ca. 94 Molprozent, für Kohlendioxid von ca. 5 Molprozent bis ca. 7 Molprozent, für Methan von annähernd 0 Molprozent bis ca. 0,1 Molprozent, für Stickstoff von ca. 0,1 Molprozent bis ca. 0,3 Molprozent und liegen für Na⁺ und Cl⁻ bei ca. 1 Molprozent, jeweils bezogen auf den Gesamtflüssigkeitseinschluss.

fi. Nr.	Pos. Peak 1 [rel. Wellenz.]	Pos. Peak 2 [rel. Wellenz.]	Pos. Peak 3 [rel. Wellenz.]	Salinität Peak 1 [Massen %]
32	3228,0	3440,8	3617	3,08
45	3230,4	3441,5	3617	4,50
64	3223,9	3436,2	3617	0,65

Tab. 5.4, mittels der Software Peakfit den Ramanspektren von einschlüssen der Gruppe 1. zugeordnete Peaks und anhand des Peaks 1 berechnete, NaCl äquivalente Salinitäten (Baumgartner u. Bakker, 2009)

Im Vergleich dazu wurden für die zuvor erwähnten drei Flüssigkeitseinschlüsse der Gruppe 1. den im Bereich der OH- Banden von Wasser gemessenen Ramanspektren, bei ca. 2900 Wellenzahlen bis ca. 3800 Wellenzahlen, mittels der Software Peakfit jeweils drei Peaks zugeordnet (Baumgartner u.

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
Berechnungen

Bakker, 2009) und anhand des ersten Peaks die Salinität berechnet (Tab. 5.4). Die so ermittelten, NaCl äquivalenten, Salinitäten reichen von ca. 0,7 bis ca. 4,5 Massenprozent. Die mittels Ramanspektroskopie ermittelten Werte für die Salinität stimmen dabei gut mit den Werten überein, welche mittels des Programms ICE berechnet wurden.

fi. Nr.	Blase [Vol. %]	V_m [cm ³ /mol]	Dichte [g/cm ³]	x H ₂ O [Molanteil]	x CO ₂ [Molanteil]	x CH ₄ [Molanteil]	x N ₂ [Molanteil]
12	0,70	57,163	0,362	0,8956	0,1015	0,0008	0,0021
22	0,23	23,935	0,794	0,9615	0,0378	0,0002	0,0004
31	0,69	55,603	0,369	0,9006	0,0966	0,0010	0,0018
32	0,40	30,151	0,644	0,9438	0,0532	0,0010	0,0020
42	0,95	164,788	0,198	0,4269	0,5558	0,0059	0,0113
43	0,71	57,441	0,357	0,9019	0,0970	0,0011	0,0000
45	0,24	24,145	0,796	0,9525	0,0465	0,0007	0,0002
47	0,47	33,939	0,571	0,9436	0,0519	0,0026	0,0018
50	0,48	34,767	0,553	0,9510	0,0463	0,0019	0,0007
62	0,32	27,009	0,691	0,9751	0,0246	0,0002	0,0002
74	0,19	22,122	0,842	0,9760	0,0237	0,0002	0,0001
75	0,53	37,558	0,506	0,9620	0,0374	0,0002	0,0004
77	0,33	27,313	0,702	0,9546	0,0448	0,0003	0,0003
83	0,80	79,277	0,283	0,8255	0,1700	0,0016	0,0020

Tab. 5.5, mithilfe der Software Nosalt berechnete Werte für Einschlüsse der Gruppe 1., bezogen auf den gesamten Flüssigkeitseinschluss

Unter Verwendung der Software Nosalt wurden anhand der finalen Clathrat- Schmelztemperatur, des Volumsanteils der Gasblase und der mittels Ramanspektroskopie ermittelten Gaszusammensetzung Werte berechnet, welche sich auf den jeweiligen gesamten Flüssigkeitseinschluss beziehen (Tab. 5.5). Dabei reichen die berechneten molaren Volumina von ca. 22,1 cm³/mol bis ca. 164,8 cm³/mol, abhängig von der Blasengröße. Verkehrt proportional dazu reichen die berechneten dichten von ca. 0,2 g/cm³ bis ca. 0,8 g/cm³. Die, bezogen auf den Gesamteinschluss berechneten Molenteile reichen für Wasser von ca. 43 Prozent bis ca. 98 Prozent für Kohlendioxid von ca. 2 Prozent bis ca. 56 Prozent liegen für Methan bei annähernd 0 Prozent und reichen für Stickstoff von annähernd 0 Prozent bis ca. 1 Prozent.

Gruppe 2.:

fi. Nr.	Blase [Vol. %]	V_m [cm ³ /mol]	Dichte [g/cm ³]	x H ₂ O [Molanteil]	x Na ⁺ [Molanteil]	x Cl ⁻ [Molanteil]	NaCl [Massen %]	NaCl [mol/kg]
10	0,20	21,78	0,87	0,93	0,04	0,04	11,58	2,24
11	0,12	19,60	0,98	0,90	0,05	0,05	15,07	3,04
52	0,25	23,19	0,82	0,92	0,04	0,04	12,28	2,39
53	0,24	22,87	0,83	0,92	0,04	0,04	12,39	2,42
56	0,21	22,12	0,85	0,93	0,03	0,03	10,61	2,03
57	0,11	19,63	0,96	0,93	0,03	0,03	10,73	2,06
68	0,13	19,85	0,96	0,90	0,05	0,05	14,77	2,96
71	0,14	20,42	0,91	0,94	0,03	0,03	8,95	1,68

Tab. 5.6, mittels des Programms Bulk berechnete Werte von Flüssigkeitseinschlüssen der Gruppe 2., die NaCl-äquivalenten Salinitäten sind auf die wässrige Phase bezogen, die übrigen Werte sind jeweils auf den Gesamteinschluss bezogen

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
Berechnungen

Aufgrund der gemessenen Schmelztemperatur von Eis und des Volumensanteils von Wasser im Flüssigkeitseinschluss wurden mittels der Software BULK bei Einschlüssen der Gruppe 2. das molare Volumen, die Dichte und die Zusammensetzung dieser Einschlüsse berechnet (Tab. 5.6). Die dabei, jeweils für den gesamten Flüssigkeitseinschluss, berechneten molaren Volumina reichen von ca. 20 cm³/mol bis ca. 23 cm³/mol, die Werte für die Dichte reichen von ca. 0,82 g/cm³ bis ca. 0,998 g/cm³. Die, bezogen auf den Gesamteinschluss, ermittelte Zusammensetzung reicht, für Wasser von ca. 90 Molprozent bis ca. 94 Molprozent und für Na⁺, beziehungsweise auch für Cl⁻ von ca. 3 Molprozent bis ca. 5 Molprozent. Die für die wässrige Phase berechneten Salinitäten reichen von ca. 9 Massenprozent bis ca. 15 Massenprozent, entsprechend Molalitäten von ca. 1,7 mol/kg bis ca. 3,0 mol/kg.

fi. Nr.	Pos. Peak 1 [rel. Wellenz.]	Pos. Peak 2 [rel. Wellenz.]	Pos. Peak 3 [rel. Wellenz.]	Salinität Peak 1 [Massen %]
10	3249,3	3454,0	3617	15,68
11	3236,8	3449,9	3617	8,28
52	3235	3447,6	3617	7,22
53	3235,6	3447,4	3617	7,57
56	3235,8	3445,1	3617	7,69
57	3246,6	3451,5	3617	14,08
71	3235,5	3445,5	3617	7,51

Tab. 5.7, mittels der Software Peakfit den Ramanspektren von Flüssigkeitseinschlüssen der Gruppe 2. zugeordnete Peaks und anhand des Peaks 1 berechnete, NaCl- äquivalente Salinitäten (Baumgartner u. Bakker, 2009)

Auch bei Flüssigkeitseinschlüssen der Gruppe 2. wurden den Ramanspektren der durch die wässrige Lösung hervorgerufenen OH- Banden mittels der Software Peakfit jeweils drei Peaks zugeordnet (Tab. 5.7). Anhand des ersten Peaks wurde die Salinität des Einschlusses berechnet (Baumgartner u. Bakker, 2009). Die so ermittelten, NaCl- äquivalenten Salinitäten reichen von ca. 7,2 Massenprozent bis ca. 15,7 Massenprozent (Abb. 5.71).

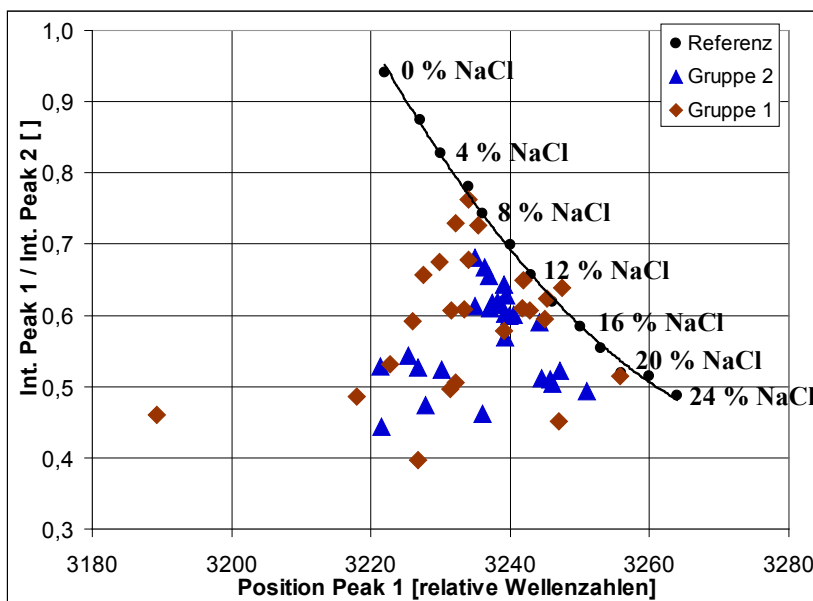


Abb. 5.71, Darstellung von NaCl- äquivalent berechneten Salinitäten von Einschlüssen der Gruppen 1. und 2. mit NaCl äquivalenter Referenzlinie (Baumgartner u. Bakker, 2009)

Es ist zu erkennen, dass die Werte für Einschlüsse der Gruppen 1. und 2. generell links unterhalb der Referenzlinie plotten. Das könnte darauf zurückzuführen sein, dass es sich bei dem vorhandenen Salz nicht um reines NaCl handelt und auf Orientierungseffekte, da sich die untersuchten

Flüssigkeitseinschlüsse in Quarz befinden, wobei C- Achse des Quarzes aufgrund der Schnittlage nicht perfekt parallel zum Laserstrahl lag.

CG9:

A. Flüssigkeitseinschlüsse in Kalzit:

Mit in Wasser gelöstem, reinem NaCl ist eine Schmelzpunktniedrigung einer solchen Salzlösung bis minimal $-21,2\text{ °C}$ möglich. Da bei Flüssigkeitseinschlüssen dieser Probe jedoch bedeutend niedrigere Schmelzpunkte, bis zu $-31,4\text{ °C}$, festzustellen sind (siehe Mikrothermometrie), muss von einem, zumindest auch zusätzlichem, Vorhandensein weiterer Salze ausgegangen werden. Da sich die betreffenden Einschlüsse in Kalzit befinden, wurde davon ausgegangen, dass diese neben NaCl auch CaCl_2 enthalten, wobei mit reinem, in Wasser gelöstem CaCl_2 Schmelzpunkte von $-50,4\text{ °C}$ erreicht werden könnten.

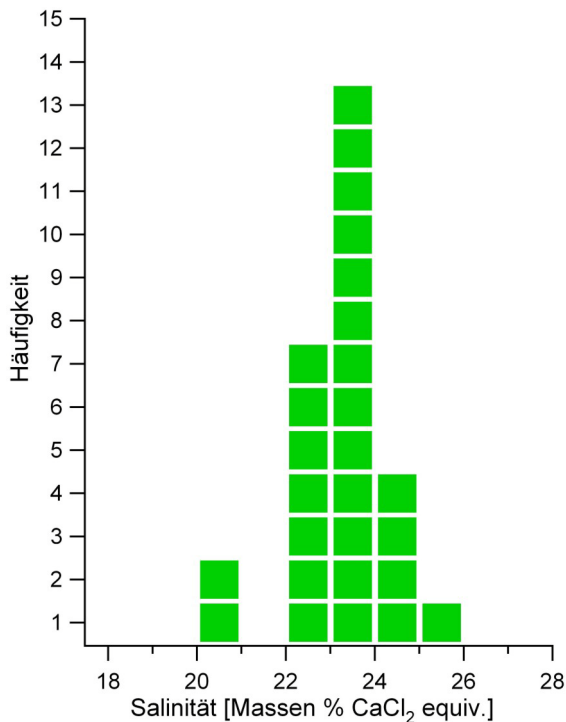


Abb. 5.72, Darstellung der Verteilung von mittels der Software AqSo2e berechneten, CaCl_2 - äquivalenten, auf die wässrige Lösung von Flüssigkeitseinschlüssen bezogenen Salinitäten

Mittels der Software AqSo2e wurden unter Eingabe der jeweils gemessenen Schmelztemperaturen von Eis und der totalen Homogenisierungstemperaturen der betreffenden Flüssigkeitseinschlüsse reinem CaCl_2 - äquivalente Salinitäten der in diesen Einschlüssen vorhandenen wässrigen Lösung berechnet. Diese Salinitäten reichen von ca. 20,3 Massenprozent bis ca. 25,3 Massenprozent CaCl_2 , entsprechend Molalitäten von ca. 2,3 mol/kg bis 3,1 mol/kg (Abb. 5.72).

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
Berechnungen

fi. Nr.	NaCl [Massen %]	NaCl [mol/kg]	CaCl ₂ [Massen %]	CaCl ₂ [mol/kg]
16	14,98	3,01	13,60	1,42
17	12,18	2,37	15,35	1,63
25	14,24	2,84	12,80	1,32
31	7,81	1,45	19,98	2,25
32	14,98	3,01	12,69	1,31

Tab. 5.8, mittels der Software AqSo2e berechnete, auf NaCl und CaCl₂ basierende Salinitäten der wässrigen Lösung

Es ist zusätzlich möglich, mithilfe der Software AqSo2e unter Eingabe der gemessenen Schmelztemperaturen von Eis und Hydrohalit und der jeweiligen totalen Homogenisierungstemperatur die Salinitäten der wässrigen Lösung von Flüssigkeitseinschlüssen kombiniert aus NaCl und CaCl₂ zu berechnen. Dabei reichen die NaCl- Gehalte bei den verschiedenen Einschlüssen von ca. 7,8 Massenprozent bis ca. 15 Massenprozent entsprechend Molalitäten von ca. 1,5 mol/kg bis ca. 3,0 mol/kg. Die dazugehörigen Gehalte an CaCl₂ reichen von ca. 12,7 Massenprozent bis ca. 20 Massenprozent, entsprechend Molalitäten von ca. 1,3 mol/kg bis ca. 2,3 mol/kg (Tab. 5.8). Dabei betragen die Massenanteile von NaCl gegenüber CaCl₂ zwischen ca. 28 Prozent und 54 Prozent NaCl.

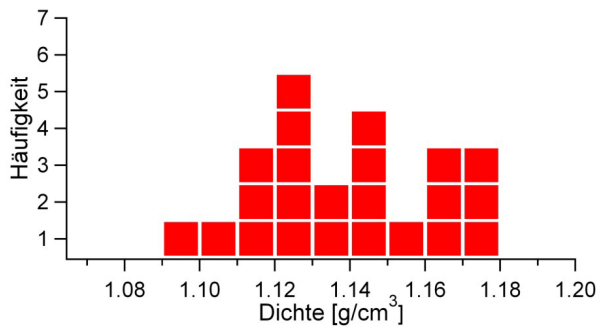


Abb. 5.73, mit dem Programm Loner 38 berechnete Dichten, bezogen auf die jeweiligen Gesamteinschlüsse

Mittels der Software Loner 38 wurden, anhand der Formel von Zhang und Frantz, unter Eingabe der totalen Homogenisierungstemperaturen und der auf NaCl und CaCl₂ bezogenen Salinitäten die molaren Volumina und die Dichten der Gesamteinschlüsse berechnet. Dabei wurden für die Salinitäten, wo vorhanden, die für den jeweiligen Einschluss berechneten Werte eingegeben, für die übrigen Einschlüsse wurde für NaCl ein mittlerer Wert von 13 Massenprozent und für CaCl₂ ein Wert von 14 Massenprozent angenommen. Die so berechneten molaren Volumina reichen von ca. 18,7 cm³/mol bis ca. 20,1 cm³/mol, die Dichten reichen von ca. 1,098 g/cm³ bis ca. 1,179 g/cm³ (Abb. 5.73).

B. Flüssigkeitseinschlüsse in Grossular:

Erste Gruppe:

fi. Nr.	NaCl [Massen %]	NaCl [mol/kg]
1	9,98	1,90
2	9,32	1,76
3	9,19	1,73
19	22,29	4,91
20	17,34	3,59
21	18,54	3,89
22	18,38	3,85

Tab. 5.9, mittels der Software AqSoVir berechnete NaCl- äquivalente Salinitäten von gefrierbaren Flüssigkeitseinschlüssen der ersten Gruppe, bezogen auf die wässrige Phase

Bei gefrierbaren Flüssigkeitseinschlüssen der ersten Gruppe wurden mithilfe der Software AqSoVir unter Verwendung der gemessenen Schmelztemperaturen von Eis die auf die wässrige Phase bezogenen, NaCl- äquivalenten Salinitäten berechnet (Abb. 5.74). Diese reichen von ca. 9,2 Massenprozent bis ca. 22,3 Massenprozent, entsprechend Molalitäten von ca. 1,7 mol/kg bis ca. 4,9 mol/kg (Tab. 5.9).

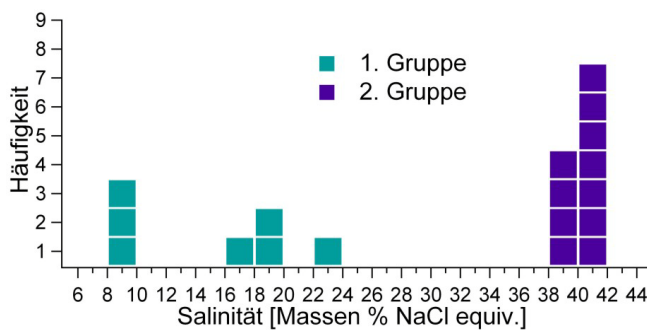


Abb. 5.74, Vergleichende Darstellung der berechneten Salinitäten von Flüssigkeitseinschlüssen der ersten und der zweiten Gruppe

Zweite Gruppe:

Für hochsalinare Einschlüsse der zweiten Gruppe, welche auch Methan enthalten, wurden die auf die wässrige Lösung bezogenen Salinitäten mittels der Software AqSoVir unter Eingabe der gemessenen finalen Auflösetemperaturen der enthaltenen Salzkristalle NaCl- äquivalent berechnet (Abb. 5.74).

fi. Nr.	NaCl [Massen %]	P_h [MPa]	V_m [cm ³ /mol]	Dichte [g/cm ³]
4	40,67	70,67	27,95	0,90
5	40,38	71,84	28,04	0,89
6	40,38	71,84	28,04	0,89
7	39,92	72,13	28,12	0,88
8	40,66	71,99	28,01	0,90
9	39,47	75,38	28,34	0,87
10	39,74	59,83	27,49	0,90
11	39,74	72,24	28,16	0,88
12	40,66	70,67	27,95	0,90
16	41,62	70,46	27,83	0,91
23	40,76	62,77	27,53	0,91

Tab. 5.10, berechnete Werte von hochsalinaren Einschlüssen der zweiten Gruppe. Die NaCl- äquivalenten Salinitäten der Flüssigphase wurden mithilfe der Software AqSoVir berechnet. Homogenisierungsdruck, molares Volumen und Dichte beziehen sich auf den Gesamteinschluss wurden mit dem Programm Loner AP berechnet

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
Berechnungen

Diese Salinitäten reichen von ca. 39,5 Massenprozent bis ca. 41,6 Massenprozent. Zusätzlich wurde für diese hochsalinaren Flüssigkeitseinschlüsse mittels des Programms Loner AP die Homogenisierungsdrücke, die molaren Volumina und die Dichten, bezogen auf die Gesamteinschlüsse berechnet. Dabei reichen diese minimalen Homogenisierungsdrücke, welche dem minimalen Bildungsdruck entsprechen, von ca. 59,8 MPa bis ca. 72,1 MPa (bei 60 MPa einem lithostatischen Druck von rund 2,0 km Tiefe entsprechend, bei einer angenommenen mittleren Gesteinsdichte von 3 g/cm³), die molaren Volumina von ca. 27,5 cm³/mol bis ca. 28,3 cm³/mol und die Dichten von ca. 0,87 g/cm³ bis ca. 0,91 g/cm³ (Tab. 5.10).

CG16:

Klinopyroxen der Diopsid - Hedenbergit Mischungsreihe in erzeichem Skarn

Auf Basis der gemessenen finalen Auflösetemperaturen des Salzkristalles, welcher in diesen hochsalinaren Flüssigkeitseinschlüssen vorhandenen ist, wurden mittels des Programms AqSoVir NaCl- äquivalente Salinitäten, bezogen auf die wässrige Lösung, berechnet. Diese Salinitäten liegen im Mittel bei ca. 39,6 Massenprozent NaCl und reichen von ca. 38,4 Massenprozent bis ca. 42,0 Massenprozent, entsprechend Molalitäten von ca. 10,7 mol/kg bis ca. 12,4 mol/kg.

fi. Nr.	pos. Peak CH ₄ [rel. Wellenz.]	Druck [bar]	V _m [cm ³ /mol]	Dichte [g/cm ³]
1	2914,3	154,6	41,76	0,38
2	2914,3	154,6	41,76	0,38
3	2914,3	154,6	41,76	0,38
4	2916,7	45,5	60,41	0,27
5	2914,3	154,6	41,76	0,38
6	2916,7	45,5	60,41	0,27
7	2914,7	135,7	43,09	0,37
8	2913,6	193,9	39,62	0,40
9	2917,1	25,6	82,42	0,19
10	2917,1	25,6	82,42	0,19
11	2917,1	25,6	82,42	0,19
12	2914,7	135,7	43,09	0,37
13	2914,7	135,7	43,09	0,37
14	2916,7	48,3	58,96	0,27
15	2913,9	173,4	40,65	0,39
16	2912,7	255,9	37,26	0,43
17	2913,9	173,4	40,65	0,39
18	2913,9	173,4	40,65	0,39
19	2913,3	213,2	38,78	0,41
20	2913,8	177,3	40,44	0,40

Tab. 5.11, korrigierte Position des Ramanpeakes von CH₄, mit daraus ermitteltem (Lin, 2007) Druck bei Raumtemperatur innerhalb des Flüssigkeitseinschlusses und daraus mittels der Software Loner 19 berechnetem molarem Volumen und entsprechender Dichte der Gasblase

Anhand der in diesen Flüssigkeitseinschlüssen gemessenen und korrigierten Ramanpeak- Positionen von CH₄ wurden entsprechende Drücke für die CH₄- enthaltende Gasblase bei Raumtemperatur berechnet (Lin, 2007), wobei davon ausgegangen wurde, das sich innerhalb der Blase nur CH₄ befindet. Dabei liegen die ermittelten Ramanpeakpositionen von CH₄ zwischen 2912,7 und 2917,1 Wellenzahlen, die daraus berechneten Drücke reichen von ca. 25,6 bar bis ca. 255,9 bar (Tab. 5.11). Anschließend wurden mithilfe des Programms Loner 19, anhand der Formel von Setzmann und Wagner (1991), unter Eingabe der für CH₄ berechneten Drücke die molaren Volumina und die Dichten

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
Berechnungen

für die CH₄ enthaltenden Gasblasen der jeweiligen Flüssigkeitseinschlüsse bei Raumtemperatur berechnet (Tab. 5.11). Die dabei berechneten molaren Volumina reichen von ca. 37,3 cm³/mol bis ca. 82,4 cm³/mol, die entsprechenden Dichten von ca. 0,19 g/cm³ bis ca. 0,43 g/cm³.

fi. Nr.	V _m [cm ³ /mol]	Dichte [g/cm ³]	x H ₂ O [Molanteil]	x CH ₄ [Molanteil]	x Na ⁺ [Molanteil]	x Cl ⁻ [Molanteil]
1	17,79	1,16	0,64	0,10	0,13	0,13
2	18,34	1,12	0,63	0,12	0,13	0,13
3	17,53	1,18	0,65	0,09	0,13	0,13
4	17,44	1,19	0,65	0,09	0,13	0,13
5	17,76	1,18	0,62	0,10	0,14	0,14
6	19,41	1,05	0,59	0,17	0,12	0,12
7	19,25	1,06	0,61	0,14	0,12	0,12
8	26,87	0,70	0,37	0,48	0,07	0,07
9	17,98	1,15	0,64	0,11	0,13	0,13
10	18,09	1,14	0,63	0,12	0,13	0,13
11	28,01	0,67	0,36	0,50	0,07	0,07
12	17,67	1,18	0,65	0,09	0,13	0,13
13	17,80	1,17	0,65	0,09	0,13	0,13
14	20,40	0,99	0,57	0,21	0,11	0,11
15	20,89	0,96	0,55	0,23	0,11	0,11
16	24,49	0,80	0,47	0,34	0,10	0,10
17	17,93	1,15	0,63	0,11	0,13	0,13
18	18,55	1,10	0,63	0,13	0,12	0,12
19	17,22	1,20	0,65	0,09	0,13	0,13
20	17,39	1,19	0,65	0,09	0,13	0,13

Tab. 5.12, Mittels des Programms Bulk berechnete Werte, bezogen auf den gesamten Flüssigkeitseinschluss

Mittels des Programms Bulk wurden unter Eingabe der berechneten Dichte von CH₄, des Volumensanteils der Gasblase und der NaCl- äquivalenten Salinitäten das molare Volumen, die Dichte und die Zusammensetzung von Gesamtflüssigkeitseinschlüssen berechnet (Tab. 5.12). Wo vorhanden, wurden die direkt mittels der Software AqSoVir berechneten Salinitäten verwendet, bei den übrigen Flüssigkeitseinschlüssen wurde die durchschnittliche Salinität von ca. 39,6 Massenprozent NaCl herangezogen. Die so berechneten molaren Volumina reichen von ca. 17,2 cm³/mol bis 28,0 cm³/mol und die Dichten von ca. 0,70 g/cm³ bis ca. 1,20 g/cm³. Die Zusammensetzung dieser Einschlüsse reicht für Wasser von ca. 36 Molprozent bis ca. 65 Molprozent, für Methan von ca. 9 Molprozent bis ca. 50 Molprozent und für Na⁺ sowie Cl⁻ jeweils von ca. 7 Molprozent bis ca. 14 Molprozent.

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
Berechnungen

fi. Nr.	T_h [°C]	P_h [MPa]	V_m [cm ³ /mol]	Dichte [g/cm ³]
5	560	262,22	27,57	0,889
6	514	X		
7	475	X		
9	585	246,03	28,38	0,833
10	512	369,90	25,37	0,933
15	514	X		
16	550 gas.	0,00	34,40	1,700
17	497	416,91	24,54	0,964
18	573	306,14	27,76	0,838
19	554	217,50	27,79	0,853
20	532	227,13	27,03	0,882

Tab. 5.13, mittels der Software Loner AP berechnete Werte für Flüssigkeitseinschlüssen, anhand genau ermittelter molarer Zusammensetzungen und der gemessenen totalen Homogenisierungstemperaturen in die meist flüssige Phase (gas. = in die Gasphase), X = gemessene Homogenisierungstemperatur für Berechnung zu gering

T_h zu fl. [°C]	P_h [MPa]	V_m [cm ³ /mol]	Dichte [g/cm ³]
440	X		
470	X		
490	484,64	23,88	0,993
500	400,89	24,74	0,958
490	484,64	23,88	0,993
507	363,59	25,24	0,939
510	351,05	25,43	0,932
518	324,63	25,88	0,916
527	303,34	26,32	0,901
532	294,16	26,54	0,893
545	276,13	27,05	0,876

Tab. 5.14, Werte mittels der Software Loner Ap berechnet, wobei für diese Einschlüsse nur die anhand anderer Einschlüsse berechnete durchschnittliche molare Zusammensetzung verfügbar ist, X = gemessene Homogenisierungstemperatur für Berechnung zu gering

Unter Verwendung der Software Loner AP wurden, anhand der gemessenen totalen Homogenisierungstemperaturen und der mittels des Programms Bulk berechneten molaren Zusammensetzungen der Gesamteinschlüsse die Homogenisierungsdrücke, welche dem minimalen Bildungsdruck entsprechen, die molaren Volumina und die entsprechenden Dichten der jeweiligen Flüssigkeitseinschlüsse berechnet. Dabei ergeben nur Berechnungen, welche auf gemessenen Homogenisierungstemperaturen in die flüssige Phase beruhen nachvollziehbare Werte, die Werte, welche anhand einer Homogenisierungstemperatur in die Gasphase berechnet wurden, erscheinen inadäquat. Es stellte sich heraus, dass sich für Homogenisierungstemperaturen von weniger als ca. 480 °C bei der verwendeten Berechnungsmethode viel zu hohe Werte ergeben. Dies wird anhand der Isopleth deutlich, welche für die durchschnittliche, mittels der Software Bulk ermittelt molare Zusammensetzung (72,5 Molprozent H₂O, 12,8 Molprozent CH₄, 14,7 Molprozent NaCl) dieser Einschlüsse konstruiert ist (Abb. Isopleth), wobei bei relativ niedriger Temperatur entlang einer asymptotischen Kurve ein sehr steiler Anstieg des Druckes zu erkennen ist. Dabei wurden, wo vorhanden die mittels des Programms Bulk für die jeweiligen Gesamteinschlüsse direkt berechneten molaren Zusammensetzungen verwendet (Tab. 5.13), für weitere Flüssigkeitseinschlüsse wurden durchschnittliche Molanteile herangezogen (Tab. 5.14). Bei den direkt berechneten Homogenisierungsdrücken, reichen die Werte von ca. 218 MPa bis ca. 417 MPa, die molaren Volumina von ca. 24,5 cm³/mol bis ca. 34,4 cm³/mol und die entsprechenden Dichten von ca. 0,8 g/cm³ bis ca. 1,7 g/cm³. Bei den übrigen Einschlüssen reichen die Homogenisierungsdrücke von ca. 276 MPa bis ca. 485 MPa, die molaren Volumina von ca. 23,9 cm³/mol bis ca. 27,1 cm³/mol und die entsprechenden Dichten von ca. 0,88 g/cm³ bis ca. 1,00 g/cm³. Das $P - T$ Diagramm zeigt, dass in diesem Fluidsystem die Homogenisierungsdrücke minimal bei ca. 230 MPa liegen (Abb. 5.75). Unabhängig von der Homogenisierungstemperatur beträgt die entsprechende minimale Bildungstiefe (Gradient 30 MPa/km) entsprechend rund 7,7 km.

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
Berechnungen

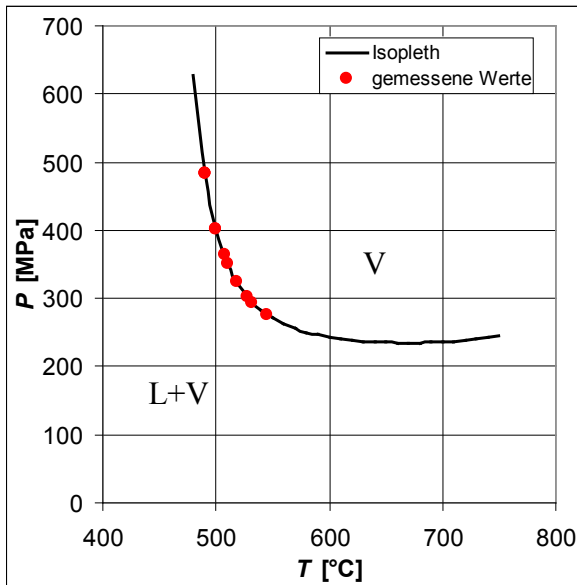


Abb. 5.75, für durchschnittliche molare Zusammensetzung ermittelte Isopleth mit für selbe Zusammensetzung berechneten Werte von Flüssigkeitseinschlüssen (V = Dampfphase, L = Flüssigphase)

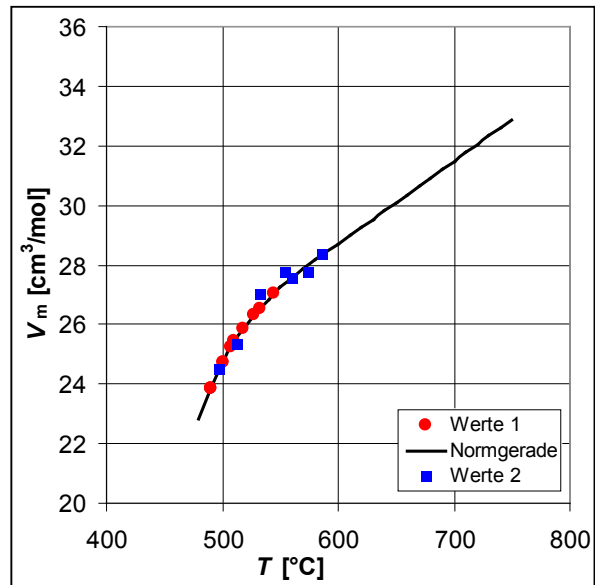


Abb. 5.76, Normgerade = für durchschnittliche molare Zusammensetzung berechnete Kurve, Werte 1 = für durchschnittliche molare Zusammensetzung berechnete Einschlüsse, Werte 2 = Einschlüsse für ermittelte molare Zusammensetzung berechnet

Anhand der Darstellung dieser Werte in einem V_m - T - Diagramm zeigt sich bei Werten, welche für eine spezielle molare Zusammensetzung berechnet wurden, im Gegensatz zu Werten, welche anhand der durchschnittlichen molaren Zusammensetzung berechnet wurden, ein Abweichen von der für die durchschnittliche molare Zusammensetzung berechneten Normgeraden (Abb. 5.76).

Bei Vergleich der Berechnungsmethode mittels der Software Bulk mit jener der Software Loner Ap ist erkennbar, dass mittels Loner AP das molaren Volumina durchschnittlich etwas höher und die Dichten etwas niedriger berechnet werden.

CG19

Quarzader in Meta-Arkose

Für die in dieser Probe vorkommenden, verschiedenen Typen von Flüssigkeitseinschlüssen konnten mithilfe unterschiedlicher Berechnungsmethoden Parameter bestimmt werden.

Gruppe 1.a.:

fi. Nr.	NaCl [Mass. %]	V_m [cm ³ /mol]	Dichte [g/cm ³]
16	6,99	36,98	0,79
18	8,27	44,01	0,77
20	5,93	26,82	0,86
22	6,10	42,97	0,76
23	4,72	40,09	0,79
24	6,58	53,45	0,74
25	6,22	31,04	0,83
50	7,12	29,97	0,83
51	4,92	56,89	0,69
53	2,73	36,93	0,58
55	2,86	28,26	0,84
56	2,54	31,22	0,82
58	5,60	52,91	0,74
59	6,11	45,89	0,77
60	1,85	39,29	0,80
61	3,51	29,67	0,83

Tab. 5.15, mittels der Software Q2 berechnete, NaCl-äquivalente Salinitäten bezogen auf die wässrige Lösung, und molare Volumina mit entsprechenden Dichten von Flüssigkeitseinschlüssen der Gruppe 1.a.

Bei Einschlüssen der Gruppe 1.a. wurden mittels der Software Q2 unter Eingabe der gemessenen, finalen Clathrat- Schmelztemperatur, der mittels Ramanspektroskopie bestimmten molaren Zusammensetzung der Gasblase (ohne Berücksichtigung von Schwefelwasserstoff), der Homogenisierungstemperatur der Gasblase, und des Anteils der wässrigen Lösung bei Raumtemperatur verschiedene Werte berechnet. Dabei ergaben sich für die wässrige Lösung NaCl-äquivalente Salinitäten zwischen ca. 1,9 und ca. 8,3 Massenprozent. Für die molaren Volumina ergaben sich, bezogen auf den Gesamteinschluss, Werte von ca. 28,3 cm³/mol bis ca. 56,9 cm³/mol mit entsprechenden Dichten von ca. 0,58 g/cm³ bis ca. 0,86 g/cm³ (Tab. 5.15).

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
Berechnungen

fi. Nr.	x H ₂ O [Molanteil]	x CO ₂ [Molanteil]	x CH ₄ [Molanteil]	x N ₂ [Molanteil]	x Na ⁺ [Molanteil]	x Cl ⁻ [Molanteil]
16	0,52	0,436	0,001	0,020	0,012	0,012
18	0,35	0,596	0,002	0,031	0,010	0,010
20	0,76	0,201	0,000	0,009	0,015	0,015
22	0,40	0,555	0,001	0,028	0,008	0,008
23	0,45	0,515	0,001	0,023	0,007	0,007
24	0,14	0,819	0,002	0,038	0,003	0,003
25	0,66	0,295	0,001	0,013	0,014	0,014
50	0,69	0,268	0,000	0,005	0,016	0,016
51	0,15	0,820	0,003	0,024	0,002	0,002
53	0,85	0,131	0,001	0,002	0,007	0,007
55	0,76	0,221	0,005	0,004	0,007	0,007
56	0,68	0,295	0,007	0,004	0,005	0,005
58	0,15	0,809	0,001	0,036	0,003	0,003
59	0,31	0,654	0,001	0,027	0,006	0,006
60	0,45	0,506	0,002	0,035	0,003	0,003
61	0,72	0,253	0,003	0,004	0,008	0,008

Tab. 5.16, Mittels der Software Q2 berechnete Zusammensetzung von Einschlüssen der Gruppe 1.a., ohne Berücksichtigung von H₂S

Die mittels der Software Q2 für Flüssigkeitseinschlüsse der Gruppe 1.a. berechneten, auf die Gesamteinschlüsse bezogenen Zusammensetzungen, reichen für Wasser von ca. 14 Molprozent bis ca. 85 Molprozent, für Kohlendioxid von ca. 13 Molprozent bis ca. 82 Molprozent, für Methan von annähernd 0 Molprozent bis ca. 1 Molprozent, für Stickstoff von annähernd 0 Molprozent bis ca. 4 Molprozent und für Na⁺ und Cl⁻ jeweils von annähernd 0 Molprozent bis ca. 2 Molprozent (Tab. 5.16).

Gruppe 1.b.:

fi. Nr.	NaCl [Mass. %]	V _m [cm ³ /mol]	Dichte [g/cm ³]
1	8,80	18,71	1,01
4	9,34	19,25	0,99
5	7,11	19,77	0,95
6	9,87	19,20	0,99
7	7,40	19,35	0,97
8	7,69	19,59	0,96
13	8,80	19,29	0,98
14	9,48	19,04	1,00
15	9,21	19,41	0,98
26	5,63	20,74	0,91
46	6,08	21,07	0,89
47	6,23	20,31	0,93
48	6,38	20,78	0,91
49	6,23	20,47	0,92

Tab. 5.17, mittels des Programms Bulk ermittelte, NaCl- äquivalente Salinitäten bezogen auf die wässrige Lösung, dazu molare Volumina und entsprechende Dichten von Flüssigkeitseinschlüssen der Gruppe 1.b.

Mittels der Software Bulk wurden für Einschlüsse der Gruppe 1.b. Werte berechnet, wobei dazu die Eingabe der mittels Ramanspektroskopie bestimmten molaren Zusammensetzung, der gemessenen finalen Schmelztemperatur von Eis, der Größe der Blase und des molaren Volumens erforderlich sind. Bei Einschlüssen der Gruppe 1.b. fällt auf, dass ein Homogenisieren der Gasblase mittels

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
Berechnungen

Mikrothermometrie nicht festgestellt werden konnte, was darauf schließen lässt, dass diese Blasen eine relativ geringe Dichte aufweisen müssen. Anhand dieser Beobachtungen wurde für das Molare Volumen für die Berechnung mittels des Programms Bulk ein entsprechender Wert von $1000 \text{ cm}^3/\text{mol}$ angenommen. Dabei ergaben sich für die wässrige Lösung NaCl- äquivalente Salinitäten zwischen ca. 5,6 Massenprozent und ca. 9,9 Massenprozent. Die für die Gesamteinschlüsse berechneten molaren Volumina liegen zwischen ca. $28,7 \text{ cm}^3/\text{mol}$ und ca. $21,1 \text{ cm}^3/\text{mol}$, die Entsprechenden Dichten zwischen ca. $0,89 \text{ g/cm}^3$ und ca. $1,01 \text{ g/cm}^3$ (Tab. 5.17).

fi. Nr.	x H ₂ O [Molanteil]	x CO ₂ [Molanteil]	x CH ₄ [Molanteil]	x N ₂ [Molanteil]	x Na ⁺ [Molanteil]	x Cl ⁻ [Molanteil]
1	0,9326	0,0119	0,0000	0,0000	0,0277	0,0277
4	0,9290	0,0119	0,0000	0,0001	0,0295	0,0295
5	0,9432	0,0120	0,0001	0,0002	0,0223	0,0223
6	0,9256	0,0118	0,0000	0,0001	0,0312	0,0312
7	0,9414	0,0120	0,0000	0,0001	0,0232	0,0232
8	0,9389	0,0129	0,0000	0,0000	0,0241	0,0241
13	0,9325	0,0119	0,0000	0,0001	0,0277	0,0277
14	0,9283	0,0117	0,0000	0,0001	0,0299	0,0299
15	0,9297	0,0121	0,0000	0,0001	0,0291	0,0291
26	0,9510	0,0139	0,0000	0,0002	0,0175	0,0175
46	0,9476	0,0145	0,0001	0,0001	0,0189	0,0189
47	0,9473	0,0138	0,0000	0,0001	0,0194	0,0194
48	0,9460	0,0142	0,0000	0,0001	0,0199	0,0199
49	0,9471	0,0141	0,0000	0,0000	0,0194	0,0194

Tab. 5.18, Mittels der Software Bulk berechnete molare Zusammensetzung von Einschlüssen der Gruppe 1.b.

Die bei Flüssigkeitseinschlüssen der Gruppe 1.b. mittels der des Programms Bulk, für die Gesamteinschlüsse berechneten molaren Zusammensetzungen, reichen für Wasser von ca. 93 Molprozent bis ca. 95 Molprozent, liegen für Kohlendioxid bei ca. 1 Molprozent, für Methan bei annähernd 0 Molprozent, für Stickstoff bei annähernd 0 Molprozent und reichen für Na⁺ und Cl⁻ jeweils von ca. 2 Molprozent bis ca. 3 Molprozent (Tab. 5.18).

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
Berechnungen

Gruppe 2.:

fi. Nr.	NaCl [Mass. %]	V_m [cm ³ /mol]	Dichte [g/cm ³]	P_h [MPa]	x H ₂ O [Molanteil]	x Na ⁺ [Molanteil]	x Cl ⁻ [Molanteil]
17	10,73	20,02	0,97	0,676	0,923	0,039	0,039
19	10,86	19,18	1,02	0,501	0,930	0,035	0,035
21	11,46	19,49	1,00	0,448	0,926	0,037	0,037
27	11,70	19,64	1,00	0,462	0,925	0,038	0,038
28	11,93	19,52	1,01	0,448	0,923	0,039	0,039
29	7,73	19,11	1,00	0,495	0,951	0,025	0,025
30	10,11	19,44	1,00	0,449	0,935	0,032	0,032
31	13,72	19,46	1,02	0,452	0,911	0,045	0,045
32	6,30	19,39	0,97	0,449	0,960	0,020	0,020
33	12,05	19,49	1,01	0,449	0,922	0,039	0,039
34	11,81	19,43	1,01	0,452	0,924	0,038	0,038
35	11,93	19,50	1,01	0,448	0,923	0,039	0,039
36	11,70	19,36	1,01	0,460	0,925	0,038	0,038
37	11,58	19,25	1,02	0,486	0,925	0,037	0,037
38	2,74	19,48	0,94	0,471	0,983	0,009	0,009
39	4,34	19,45	0,95	0,460	0,973	0,014	0,014
40	4,03	19,47	0,95	0,466	0,975	0,013	0,013
41	8,68	19,74	0,97	0,517	0,945	0,028	0,028
42	8,14	19,51	0,98	0,455	0,948	0,026	0,026
43	8,28	19,80	0,97	0,552	0,947	0,026	0,026
44	8,41	19,19	1,00	0,480	0,946	0,027	0,027
45	9,08	19,59	0,98	0,464	0,942	0,029	0,029

Tab. 5.19, mittels des Programms Bulk ermittelte, NaCl- äquivalente Salinitäten bezogen auf die wässrige Lösung, dazu molare Volumina, entsprechende Dichten, Homogenisierungsdrücke und molare Zusammensetzungen von Gesamtflüssigkeitseinschlüssen der Gruppe 2.

Für Flüssigkeitseinschlüsse der Gruppe 2. wurden mittels der Software Bulk unter Eingabe der gemessenen finalen Schmelztemperatur von Eis und der totalen Homogenisierungstemperatur in die flüssige Phase Parameter berechnet (Tab. 5.19). Die ermittelten, NaCl- äquivalenten Salinitäten der wässrigen Phase reichen von ca. 2,7 Massenprozent bis ca. 13,7 Massenprozent. Die auf den Gesamteinschluss bezogenen molaren Volumina reichen von ca. 19,1 cm³/mol bis ca. 20,0 cm³/mol und die entsprechenden Dichten von ca. 0,94 g/cm³ bis ca. 1,02 g/cm³. Die für die jeweiligen Homogenisierungstemperaturen berechneten Homogenisierungsdrücke reichen für diese Flüssigkeitseinschlüsse von ca. 0,45 MPa bis ca. 0,68 MPa (für 0,5 MPa entsprechend 50 m Tiefe). Bei den für die Gesamteinschlüsse berechneten molaren Zusammensetzungen reichen die Werte für Wasser von ca. 91 Molprozent bis ca. 98 Molprozent und für Na⁺ und Cl⁻ jeweils von ca. 1 Molprozent bis ca. 5 Molprozent.

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen
Berechnungen

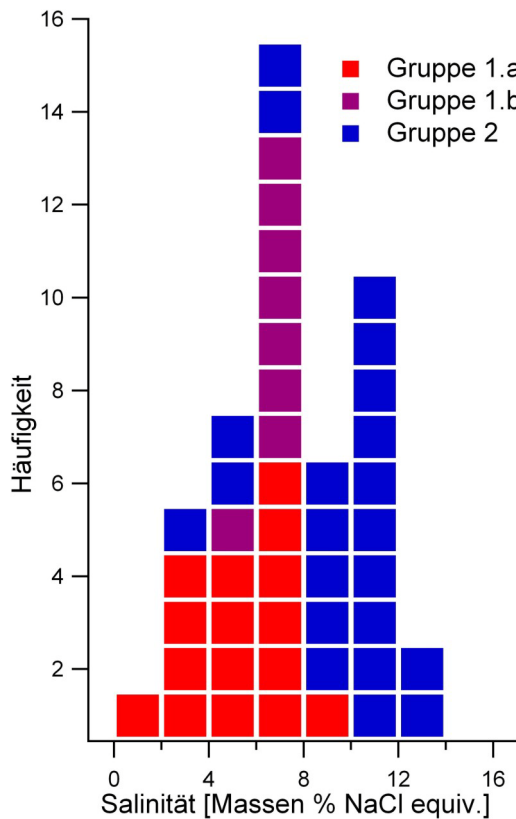


Abb. 5.77, Histogramm, NaCl- äquivalente Salinitäten der verschiedenen Typen von Flüssigkeitseinschlüssen (Gruppen 1.a., 1.b. und 2.)

Im Vergleich der NaCl- äquivalent berechneten Salinitäten aller in dieser Probe vorkommender Typen von Einschlüssen sind Einschlüsse der Gruppe 2., welche nur wässrige Lösung ohne weitere Gase enthalten, gegenüber gashaltigen Einschlüssen der Gruppen 1.a. und 1.b. im Mittel etwas salzreicher. Trotzdem Befinden sich die Salinitäten aller dieser Gruppen von Flüssigkeitseinschlüssen in einem miteinander vergleichbaren, als niedrigsalinär zu bezeichnenden Bereich (Abb. 5.77).

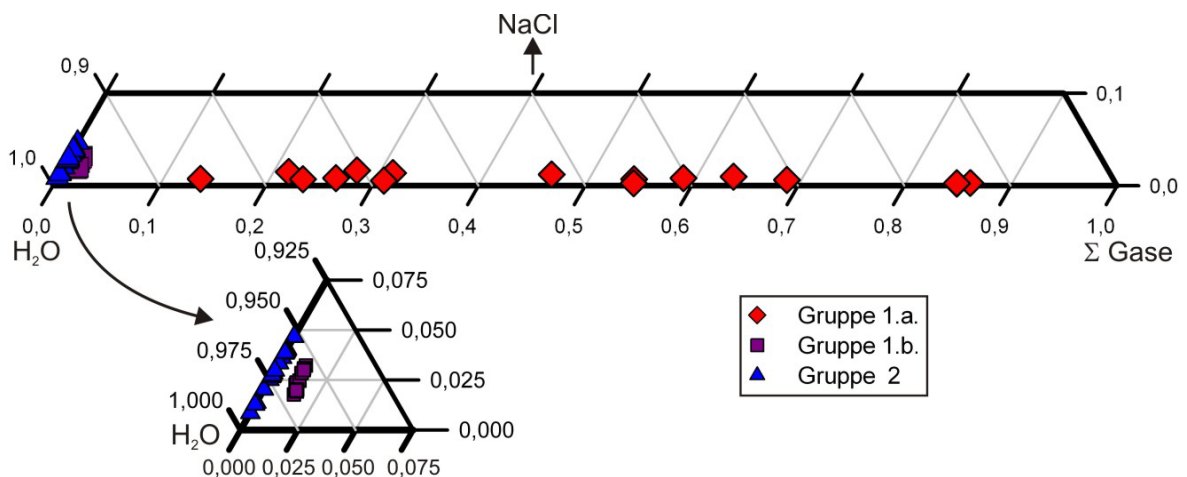


Abb. 5.78, Vergleichende Darstellung der mittels des Programms Bulk berechneten molaren Zusammensetzung der verschiedenen Typen von Flüssigkeitseinschlüssen im Dreiecksdiagramm ($\Sigma \text{Gase} = \text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{N}_2 + \text{H}_2\text{S}$)

Bei der vergleichenden Darstellung der molaren Zusammensetzung der verschiedenen Gruppen von Flüssigkeitseinschlüssen in einem Dreiecksdiagramm zeigt sich der sehr variable Gasgehalt von Einschlüssen der Gruppe 1.a. gegenüber Einschlüssen der übrigen Gruppen (Abb. 5.78).

Es ist generell bei Flüssigkeitseinschlüssen der Probe CG19 eine gute Übereinstimmung mit Einschlüssen der Probe CG2 festzustellen. Die unterschiedlichen Gruppen von

Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen Berechnungen

Flüssigkeitseinschlüssen weisen einen einander entsprechenden, ähnlichen Chemismus auf, dazu sind auch bei den berechneten Dichten deutliche Analogien vorhanden.

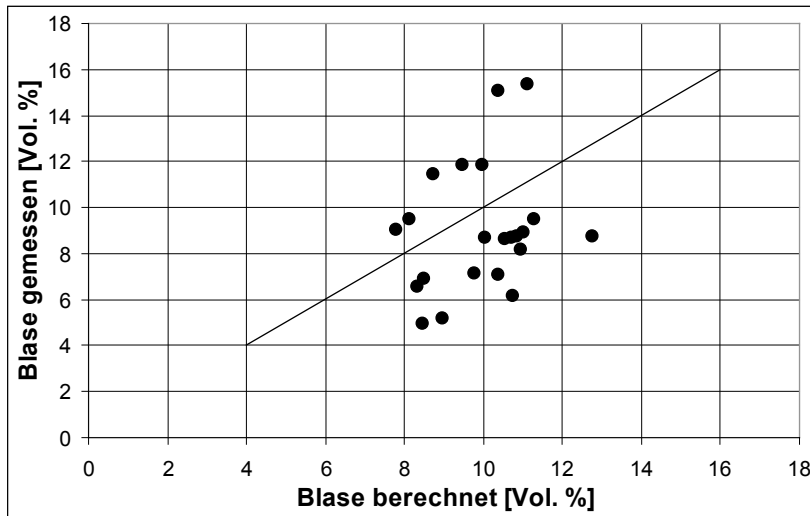


Abb. 5.79, Diagramm, optisch gemessene Blasengröße und daraus berechnetes Blasenvolumen aufgetragen gegen mittels der Software Bulk berechnetem Blasenvolumen anhand von Flüssigkeitseinschlüssen der Gruppe 2.

Beispielhaft wurde für Flüssigkeitseinschlüsse der Gruppe 2. der Schätzfehler bestimmt, welcher bei der Ermittlung des Volumens der Gasblase bei Verwendung der optischen Bestimmungsmethode mittels der Software ImageJ gegenüber mittels der Software Bulk berechneten Blasenvolumina auftritt. Dabei ergaben sich bei der optischen Messung im Schnitt um rund 0,9 Volumsprozent kleinere Werte gegenüber der Berechnung mittels der Software Bulk (Abb. 5.79). Der Unterschied der ermittelten Blasengrößen reicht von ca. -4,6 Volumsprozent bis ca. -1,3 Volumsprozent (Blase mittels optischer Methode kleiner geschätzt), bis von ca. 1,2 Volumsprozent bis ca. 4,7 Volumsprozent (Blase mittels optischer Methode größer geschätzt).

Die breite Variation in der Zusammensetzung dieser Flüssigkeitseinschlüsse kann nicht durch „fluid unmixing“ oder „boiling“ erklärt werden. Diese beiden Prozesse führen zum Entstehen von zwei gut definierten Gruppen von Fluiden. Die hier vorhandenen Daten zeigen aber eine sehr variable Zusammensetzung, welche nur durch „post entrapment change“, also Reäquilibration nach erster Bildung der Flüssigkeitseinschlüsse verursacht werden kann.

5.5 Literaturvergleich

Aus Literaturangaben von vier verschiedenen Quellen können vergleichende Überlegungen mit der vorliegenden Arbeit gemacht werden.

Rua – Figueroa et al. (Rua – Figueroa et al., 1987):

In der Publikation von Rua – Figueroa et al. werden Flüssigkeitseinschlüsse von mineralisierten Quarzgängen bearbeitet. Es werden dabei vier Typen von Einschlüssen (Typen A bis D) unterschieden:

Typ A: Diese 2-phasigen Einschlüsse, bestehend hauptsächlich aus wässriger Lösung und Wasserdampf, mit regelmäßiger Größenverteilung von 10 µm bis 15 µm und einer Gasblase von ca. 10 Volumsprozent bis ca. 15 Volumsprozent werden als der häufigste Typ bezeichnet. Für Einschlüsse dieses Typs werden Eisschmelztemperaturen von -15 °C bis 0 °C, teilweise Chlathratschmelztemperaturen (Somit sollten auch weitere Gase vorhanden sein) von 7,8 °C bis 8,4 °C und totale Homogenisierungstemperaturen von 100°C bis 380 °C angegeben. Dieser Typ entspricht in etwa den Gruppen CG2 Gruppe 2. und CG19 Gruppe 2., sowie aufgrund der angeführten Chlathratschmelztemperaturen auch CG19 Gruppe 1.b..

Typ B: Es handelt sich um kohlenstoffhaltige 2-phasige Einschlüsse, welche bei Raumtemperatur eine flüssige und eine gasförmige CO₂-Phase enthalten. Diese Einschlüsse haben Größen von 20 µm bis 30 µm und Gasblasen mit 25 Volumsprozent bis 30 Volumsprozent Größe. Ein Schmelzen von CO₂ ist bei Temperaturen von -59,2 °C bis -56 °C und eine Homogenisation von CO₂, entweder in die flüssige oder gasförmige Phase, ist zwischen 21 °C und 26 °C zu beobachten. Dieser Typ entspricht in etwa den Gruppen CG19 Gruppe 1.b und teilweise Einschlüssen von CG2 Gruppe 1..

Typ C: Dieser Typ tritt sehr selten auf, es handelt sich um 3-phasige Einschlüsse, welche bei Raumtemperatur aus einem Halitkristall, wässriger Lösung und aus einer Wasserdampfblase bestehen. Diese haben Größen von 10 µm bis 30 µm mit Blasen von ca. 10 Volumsprozent bis 15 Volumsprozent. Die Halitkristalle lösen sich bei Temperaturen zwischen 230 °C und 380 °C auf, wobei diese Temperaturen gleichzeitig der totalen Homogenisierung entsprechen.

Typ D: Es handelt sich dabei um häufig auftretende, CO₂-reiche Einschlüsse, welche bei Raumtemperatur 3-phasig sind und aus flüssigem Wasser, flüssigem CO₂ und einer hauptsächlich CO₂-haltigen Dampfphase bestehen. Deren Größe reicht von 10 µm bis 30 µm und die Blasen haben Größen von ca. 4 Volumsprozent bis 70 Volumsprozent. Die Schmelztemperaturen von CO₂ reichen von -58,9 °C bis -56,8 °C; die Eisschmelztemperaturen reichen von -5 °C bis 0°C, Clathratschmelztemperaturen von 8,1 °C bis 8,7 °C, Homogenisierungstemperaturen von CO₂, in die flüssige oder gasförmige Phase, von 22 °C bis 26 °C und die totalen Homogenisierungstemperaturen reichen von 280 °C bis 380 °C. Dieser Typ entspricht in etwa den Gruppen CG2 Gruppe 1 und CG19 Gruppe 1.a..

Garcia Iglesias u. Loredó (Garcia Iglesias u. Loredó, 1990):

In der Publikation von Garcia Iglesias u. Loredó werden Flüssigkeitseinschlüsse von mineralisierten Quarzgängen beschrieben, welche generell als primäre Flüssigkeitseinschlüsse eingestuft werden. Es

werden dabei fünf Typen von Einschlüssen (Typen A, B, C, D1, D2) unterschieden, wobei teilweise deutliche Anleihen an Rua – Figueroa et al. vorhanden zu sein scheinen:

Typ A: Diese Einschlüsse bestehen aus wässriger Lösung und einer Wasserdampfblase. Die Schmelztemperatur von Eis liegt zwischen -17 °C und -8 °C und die totale Homogenisierungstemperatur zwischen 100 °C und 380 °C . Dieser Typ entspricht in etwa den Gruppen CG2 Gruppe 2 und CG19 Gruppe 2..

Typ B: Es handelt sich um 3-phasige Einschlüsse, bestehend aus einem Halitkristall, wässriger Lösung und einer Wasserdampfblase. Diese Einschlüsse weisen finale Auflösetemperaturen von Halit zwischen 230 °C und 380 °C auf, welche gleichzeitig den totalen Homogenisierungstemperaturen entsprechen.

Typ C: Diese 2-phasigen Einschlüsse bestehen aus flüssigem CO_2 und einer CO_2 -Blase mit wahrscheinlich Gehalten von CH_4 . Die Schmelztemperaturen von CO_2 liegen zwischen $-59,2\text{ °C}$ und -56 °C und die Homogenisierungstemperaturen von CO_2 zwischen 21 °C und 26 °C . Dieser Typ entspricht in etwa den Gruppen CG2 Gruppe 1 und CG19 Gruppe 1.b..

Typen D1 und D2: Einschlüsse des Typs D1 sind bei Raumtemperatur 3-phasig und bestehen aus wässriger Lösung, flüssigem CO_2 und gasförmigem CO_2 . Einschlüsse des Typs D2 sind bei Raumtemperatur 4-phasig und enthalten zusätzlich noch eine kleine undefinierte 4. Phase. Einschlüsse dieses Typs D weisen Schmelztemperaturen von CO_2 zwischen $-58,9\text{ °C}$ und $-56,8\text{ °C}$, Schmelztemperaturen von Eis zwischen -5 °C und 0 °C und Clathratschmelztemperaturen von $7,8\text{ °C}$ bis $8,7\text{ °C}$ auf. Die angegebenen Homogenisierungstemperaturen von CO_2 liegen zwischen 22 °C und 26 °C und die totalen Homogenisierungstemperaturen zwischen 280 °C und 380 °C . Der Typ D1 entspricht in etwa den Gruppen CG2 Gruppe 1 und CG19 Gruppe 1.a..

Arcos et al. (Arcos et al., 1996):

In der Publikation von Arcos et al. werden Flüssigkeitseinschlüsse in Granat (Typ I) und in Quarz (Typen II und III) beschrieben.

Typ I: Diese Einschlüsse werden als primär beschrieben und sind bei Raumtemperatur 3-phasig, bestehend aus salinärer Lösung, einer Dampfblase und einem Halitkristall, mit weniger als $10\text{ }\mu\text{m}$ Größe und unregelmäßigen Formen. Die Auflösetemperaturen von Halit reichen von 320 °C bis 410 °C und die totalen Homogenisierungstemperaturen in die flüssige Phase reichen von 540 °C bis 615 °C . Dieser Typ entspricht in etwa Einschlüssen der 2. Gruppe der Probe CG9 B.

Typ II: Einschlüsse dieses Typs erreichen bis $10\text{ }\mu\text{m}$ Größe und sind bei Raumtemperatur 3-phasig, bestehend aus wässriger Lösung, einer Gasblase und einem Halitkristall. Die finale Auflösetemperatur von Halit liegt zwischen 320 °C und 410 °C die totalen Homogenisierungstemperaturen in die flüssige Phase liegen zwischen 540 °C und 616 °C . Dazu wurde in wenigen Fällen die Anwesenheit von Clathraten beobachtet, was auch auf die Anwesenheit von CO_2 deutet.

Typ III: Es handelt sich um wahrscheinlich primäre, bei Raumtemperatur 3-phasige Einschlüsse, bestehend aus wässriger Lösung und aus einer kohlenstoffhaltigen, flüssigen und gasförmigen Phase. Diese kohlenstoffhaltige Phase besteht hauptsächlich aus CO_2 mit 1 Molprozent bis 12 Molprozent CH_4 , dazu 0 Molprozent bis 8 Molprozent N_2 und manchmal bis 0,1 Molprozent H_2S . Diese Einschlüsse weisen Schmelztemperaturen von CO_2 zwischen $-61,5\text{ °C}$ und $-56,5\text{ °C}$ und Clathratschmelztemperaturen zwischen 7 °C und $9,5\text{ °C}$ auf. Die CO_2 -reiche Blase homogenisiert zwischen 20 °C und 26 °C in die Dampfphase. Die totalen Homogenisierungstemperaturen liegen, bei Homogenisierung in die Gasphase zwischen 330 °C und 390 °C , bei Homogenisierung in die flüssige

Phase zwischen 320 °C und 340 °C, und bei Homogenisierung in die kritische Phase bei 330 °C bis 360 °C. Dieser Typ entspricht in etwa den Gruppen CG2 Gruppe 1 und CG19 Gruppe 1.a..

Martin – Izard, Paniagua et al. (Martin –Izard, Paniagua et al., 2000):

In der Publikation von Martin – Izard, Paniagua et al. werden Flüssigkeitseinschlüsse in idiomorphem und zoniertem Quarz, assoziiert mit Karbonaten, bearbeitet. Es werden dabei zwei Haupttypen von Einschlüssen (Typen A und D) unterschieden:

Typ A: Es handelt sich um primäre und sekundäre Einschlüsse bestehend aus wässriger Lösung und einer Wasserdampfblase. Die Schmelztemperaturen von Eis liegen zwischen -4,3 °C und 0 °C und die totalen Homogenisierungstemperaturen in die flüssige Phase zwischen 135 °C und 319 °C. Dieser Typ entspricht in etwa den Gruppen CG2 Gruppe 2. und CG19 Gruppe 2..

Typ D: Bei diesem Typ handelt es sich um primäre niedrigsalinare Lösung und kohlenstoffhaltige Gase enthaltende Einschlüsse. Diese Einschlüsse werden weiter unterteilt. Einschlüsse des Typs D1 mit einer niedrigen Dichte sind bei Raumtemperatur 2- phasig und bestehen aus wässriger Lösung und einer kohlenstoffhaltigen Gasblase. Dabei reichen die Schmelztemperaturen von CO₂ von -57,8 °C bis -57 °C, von Eis von -2 °C bis 0 °C und von Clathrat von 8,2 °C bis 9 °C. Die Homogenisierungstemperaturen von CO₂ liegen zwischen 23,7°C und 25,9 °C und die totalen Homogenisierungstemperaturen liegen zwischen 362 °C und 425 °C, wobei diese Homogenisierungen hauptsächlich in die gasförmige Phase stattfinden, dazu treten einige Homogenisierungen in die kritische Phase auf. Demgegenüber sind Einschlüsse des Typs D2 mit einer hohen Dichte sind bei Raumtemperatur 3- phasig und bestehen aus wässriger Lösung, und einer flüssigen und gasförmigen, kohlenstoffhaltigen Phase. Dabei liegt die Schmelztemperatur von CO₂ bei -57,2 °C, von Eis bei -1 °C und von Clathrat 8,5 °C. Die Homogenisierungstemperaturen von CO₂ liegen zwischen 23,7°C und 25,9 °C und die totalen Homogenisierungstemperaturen in die flüssige Phase liegen zwischen 330 °C und 397 °C. Dieser Typ entspricht in etwa den Gruppen CG2 Gruppe 1 und CG19 Gruppen 1.a. und 1.b..

Gegenüberstellung mit im Zuge dieser Arbeit ermittelter Daten:

Bei Flüssigkeitseinschlüssen in Quarz ist somit erkennbar, dass die Einschlusstypen CG2 Gruppen 1. und 2. sowie CG19 Gruppen 1.a, 1.b. und 2., Typen aus den Erwähnten Arbeiten entsprechen. Dies sind jedoch als niedrigsalinar anzusprechende Gruppen von Flüssigkeitseinschlüssen und es fehlen darin gänzlich Halitkristalle, wie in manchen zuvor erwähnten Typen von Einschlüssen.

Dazu wurden Flüssigkeitseinschlüsse in, aderförmig in Skarn eingelagertem, Kalzit bearbeitet, welche hochsalinare Lösung enthalten und neben NaCl zusätzlich noch weitere Salze wie etwa CaCl₂ enthalten müssen.

Bei Flüssigkeitseinschlüssen in Granat wurde zusätzlich zur hochsalinaren zweiten Gruppe noch die mittelsalinare erste Gruppe erkannt.

Die in Diopsid enthaltenen Flüssigkeitseinschlüsse wurden erst im Zuge dieser Arbeit beschrieben und ähneln Einschlüssen der zweiten Gruppe in Granat.

6 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Gesteinsproben von einer Au-Cu-Mo Lagerstätte nahe der Ortschaft Carlés in Asturien, NW- Spanien, ca. 30 km westlich von Oviedo, wurden mineralogisch-petrographisch untersucht. Zusätzlich wurden Fluid- Phasen dieser Mineralisationen bearbeitet. Diese Lokalität befindet sich in der Cantabrischen Zone des Variszisch Iberischen Massives. Im Karbon intrudierte der sich aus Monzogranit zusammensetzende Carlés Pluton in eine Synklinalstruktur im Übergang zwischen Devonischen Karbonatgesteinen und Silurischen Quarziten. Der resultierende Skarn tritt am Kontakt zwischen Monzogranit und den kalzitischen, untergeordnet auch dolomitischen Karbonatgesteinen auf. Es handelt es sich um einen proximalen Skarn in Form einer unregelmäßig ausgebildeten Umhüllung um den Intrusionskörper, welcher hauptsächlich Exoskarn darstellt, Endoskarn tritt nur untergeordnet auf. Die dazu bearbeiteten Proben des granitoiden Intrusivgesteins bestehen hauptsächlich aus Plagioklas, Alkalifeldspat, Biotit, und Quarz, wobei teilweise starke Chloritisierung festzustellen ist. Akzessorisch sind Apatit, Zirkon, Klinopyroxen, Amphibol, Titanit, Ilmenit, Magnetit und Pyrit vorhanden. Dieser Granitoid wird von Quarzadern durchzogen, welche wiederum eine feine Äderung, bestehend aus Kalzit und untergeordnet Dolomit aufweisen und als Erzminerale hauptsächlich Arsenkies mit Einlagerungen von Bismuth, untergeordnet Molybdänit, Titanoxide und Kupferkies enthalten.

Kontaktmetamorph rekrystallisierter Marmor im Nahbereich zu Skarn ist meist rein kalzitisch, es sind teilweise auch Dolomit- reiche Partien vorhanden, welche akzessorisch fast reinen Forsterit enthalten können. In diesen Marmor ragen immer wieder massive Erzbänder, welche teilweise mit etwas Quarz vergesellschaftet sein können und hauptsächlich aus Arsenkies, Pyrit, Tetrahedrit, Magnetkies und Kupferkies sowie weiteren selteneren Erzmineralen bestehen.

Die Skarnmineralisationen zeigen sehr unterschiedliche Zusammensetzungen in Bezug auf Korngrößenverteilungen und Mineralinhalt. Es treten dabei an Klinopyroxen reiche Lagen auf, Diopsid überwiegt meist Hedenbergit, und Bereiche, welche reich an Grant, meist Grossular, seltener Andradit, sind, wobei Granat häufig Klinopyroxen überwächst. Zusätzlich sind Bereiche von Skarn vorhanden, welche hauptsächlich aus verschiedenen Amphibolen aufgebaut sind. Daneben sind Vesuvianit, weiters Minerale aus der Epidot - Klinozoisitreihe, Prehnit, Chlorit, Titanit und verschiedene Serpentinminerale vorhanden. Die in diesen Skarn eingelagerten Erze bilden teilweise massive Erzbänder und bestehen hauptsächlich aus Arsenkies, Magnetit, Hämatit, Pyrit, Markasit, Magnetkies, Kupferkies, Tetrahedrit, Zinkblende und untergeordnet weiteren Erzmineralen.

Die bearbeitete Meta-Arkose ist deutlich lagenförmig aufgebaut (sedimentäre Schichtung) und besteht hauptsächlich aus Plagioklas, mit einer Orthoklas entsprechenden Zusammensetzung, Quarz, etwas Kalzit, Hellglimmer und Chlorit. Daneben sind akzessorisch Zirkon und diverse, feinverteilte Erzminerale vorhanden. In diese Meta-Arkose ist eine großteils hypidiomorph auskristallisierte Quarzader eingelagert, welche randlich auch Kalzit und Dolomit führt und Arsenkies mit kleinen Einschlüssen von Bismuth enthält.

Mittels der Elektronenstrahl Mikrosonde wurde eine Reihe von Mineralen analysiert. Bei den im Skarn auftretenden Kalksilikatmineralen zeigen die untersuchten Granate eine weite Spannbreite in ihrer chemischen Zusammensetzung, wobei häufiger grossularreicher (72,6 % bis 83,2 % Grs, 8,6 % bis 23,3 % Adr, 3,8 % bis 10,1 % Alm) Granat als andraditreicher (31,4 % bis 32,6 % Grs, 64,1 % bis 64,6 % Adr, 2,9 % bis 4,5 % Alm) Granat auftritt. Feldspäte aus Skarn, welche analysiert wurden weisen eine, auch innerhalb einer Probe, sehr breit gestreute Zusammensetzung auf. Diese Zusammensetzungen reichen von Albit (97,2 % bis 99,1 % Ab, 0,3 % bis 1,4 % An, 0,2 % bis 1,5 % Kfs) über Oligoklas (71,4 % bis 79,1 % Ab, 19,8 % bis 27,1 % An, 0,9 % bis 1,5 % Kfs) bis zu

Anorthit (1,2 % bis 5,5 % Ab, 94,3 % bis 98,8 % An, 0,1 % bis 1,2 % Kfs). Die gemessenen Zusammensetzungen von Klinopyroxen (48,1 % bis 52,3 % Wo, 18,8 % bis 47,4 % En, 4,4 % bis 29,0 % Fs) liegen innerhalb der Mischungsreihe zwischen Diopsid und Hedenbergit meist im Bereich von Diopsid.

Bei analysierten Erzmineralen ergaben sich zum Teil deutliche Gehalte der Edelmetalle Gold und Silber: Tetraedrit: 0,08 Mass% Au sowie bis 3,82 Mass% Ag; Löllingit: bis 0,13 Mass% Au; Arsenkies: bis 0,10 Mass% Au; Pyrit: bis 0,13 Mass% Au; Magnetkies: bis 0,09 Mass% Au; Markasit: bis 0,05 Mass% Au; Kupferkies: bis 0,08 Mass% Au.

Mithilfe der Elektronenstrahl Mikrosonde wurde dazu eine Reihe von seltenen und großteils sehr feinkörnigen oder als Verwachsungen auftretenden Erzmineralen bestimmt, wie etwa Bismuth, Antimon, Stibarsen, Zinnkies, Bismuthinit, Antimonit, Pääkkönenit, Löllingit, Bourmonit, Tetraedrit, Chalkostibit, Füllöppit, Stibioclaudeit oder Uraninit.

Bei der Quarzader in Monzogranit treten zwei Haupttypen von Flüssigkeitseinschlüssen auf. Der erste Typ sind Einschlüsse welche bei Raumtemperatur Blasen mit sehr unterschiedlichen Größen von ca. 5 bis 100 Vol% aufweisen. Diese Einschlüsse bestehen aus niedrigsalinärer Lösung und Gasblasen, welche hauptsächlich Wasserdampf und CO₂, aber auch N₂, CH₄ und teilweise Spuren von H₂S enthalten. Die molaren Zusammensetzungen der Gesamteinschlüsse reichen bis 22 Mol% für CO₂, bis 29 Mol% für N₂, bis 1 Mol% für CH₄, bis 0,03 Mol% für H₂S. Die wässrige Phase enthält NaCl mit Salinitäten bis 3,5 Mass%. Aufgrund der unterschiedlich großen Gasblasen die variieren Gesamtdichten sehr stark (ca. 0,007 bis 0,842 g/cm³). Flüssigkeitseinschlüsse vom zweiten Typ bestehen lediglich aus wässriger Lösung mit Gasblasen, welche bei Raumtemperatur Größen bis ca. 27 Volums% besitzen. Die molaren Zusammensetzungen reichen für H₂O von ca. 90 bis 94 Mol%. Die Salinitäten entsprechen NaCl- äquivalent bis 15,1 Massenprozent. Die für diese Einschlüsse berechneten Dichten liegen zwischen ca. 0,82 und 0,98 g/cm³.

In einer in Meta-Arkose eingelagerten Quarzader treten ähnliche Typen von Fluiden auf, wie in der Quarzader in Monzogranit. Der erste Typ von Wasser- und Gas- reichen Fluiden tritt in zwei Untertypen auf: 1.) niedrigsalinäre (bis ca. 8,3 Mass% NaCl) Einschlüsse mit CO₂- (bis 82 Mol%) reichen Gasblasen mit untergeordnet N₂ (bis 4 Mol%), CH₄ (bis 1 Mol%) und Spuren von H₂S. Der Volumsanteil der Gasblase variiert zwischen 43 und 100 Vol%, die Dichten dieser Einschlüsse reichen von ca. 0,58 bis 0,86 g/cm³. 2.) homogener Untertyp von Flüssigkeitseinschlüssen, niedrigsalinär (bis 9,9 Mass% NaCl), Gasblasen von ca. 6 bis 16 Vol%, welche hauptsächlich CO₂ mit Spuren von N₂ und CH₄ (ohne H₂S) enthalten. Die Dichten dieser Einschlüsse reichen von ca. 0,89 bis 1,01 g/cm³. Der zweite in dieser Quarzader enthaltene Typ von Flüssigkeitseinschlüssen besteht lediglich aus geringsalinarer wässriger Lösung und enthält bei Raumtemperatur Blasen mit ca. 5 bis 15 Volumsprozent Größe. Die berechneten Dichten betragen zwischen ca. 0,94 bis 1,02 g/cm³. Die Zusammensetzungen reichen für H₂O von ca. 91 bis 98 Mol%, die NaCl- äquivalenten Salinitäten von ca. 2,7 bis 13,7 Mass%.

In im Skarn auftretendem Grossular konnten zwei verschiedene Typen von Flüssigkeitseinschlüssen festgestellt werden. Der erste Typ enthält mittelsalinare Lösung mit Salinitäten zwischen ca. 9,2 und 22,3 Mass% und beinhaltet Blasen von 0 bis ca. 52 Vol% Größe. Der zweite Typ besteht aus hochsalinärer Lösung mit NaCl- äquivalenten Salinitäten von ca. 39,5 bis 41,6 Massenprozent und enthält dazu noch CH₄, feste Phasen (Salzkristall, teilweise opaken Hämatit) und bei Raumtemperatur Gasblasen mit ca. 18 bis 27 Vol% Größe. Die Dichten dieser Flüssigkeitseinschlüsse reichen von ca. 0,87 bis 0,91 g/cm³.

Dieser hochsalinäre Typ von Flüssigkeitseinschlüssen wurde auch in Diopsid beobachtet, welcher aus einer Probe stammt, die fast ausschließlich von massivem Erz aufgebaut ist. Diese Einschlüsse

enthalten neben hochsalinärer Lösung mit NaCl- äquivalenten Salinitäten von ca. 38,4 bis 42,0 Mass% noch Methan, verschiedene feste Phasen (Salzkristall, teilweise Kalzit und verschiedene opake Erzmineral- Phasen), wobei die Größe der Gasblasen zwischen ca. 21 und 71 Volumsprozent liegt. Die Dichten dieser Einschlüsse liegen zwischen ca. 0,7 und 1,2 g/cm³, die Zusammensetzungen reichen für H₂O von ca. 36 bis 65 Mol%, für CH₄ von ca. 9 bis 48 Mol% und für Na⁺ und Cl⁻ von jeweils ca. 7 bis 14 Mol%.

Die in einer Kalzitader, welche entlang einer Granat- reichen Lage in Skarn eingelagert ist, auftretenden, verwertbaren Flüssigkeitseinschlüsse haben Blasengrößen zwischen ca. 4 und 11 Vol% und bestehen aus hochsalinärer Lösung. Diese Einschlüsse weisen Dichten zwischen ca. 1,1 und 1,2 g/cm³ auf und haben Salinitäten von ca. 1,5 bis 3,0 Mass% NaCl mit zusätzlich ca. 12,7 bis 20,0 Mass% CaCl₂.

Anhand der gewonnenen Daten lässt sich die Evolution dieser Au-Cu-Mo Lagerstätte mit dem dazugehörigen Fluidsystems rekonstruieren.

Die in den Quarzadern vorkommenden Flüssigkeitseinschlüsse weisen alle ähnlich niedrige Salinitäten und vergleichbare Zusammensetzungen der unterschiedlichen Typen auf. Bei gashältigen Einschlüssen dominiert hier CO₂, gegenüber CH₄, was auf ein eher oxidierendes Milieu deutet. Gashältige Flüssigkeitseinschlüsse innerhalb der Quarzader in granitoidem Gestein enthalten zudem Gasblasen mit einer sehr inhomogenen Größenverteilung. Die breite Variation der Zusammensetzung von Flüssigkeitseinschlüssen in Quarzadern weist auf eine Reäquilibration nach erster Bildung dieser Flüssigkeitseinschlüsse hin. Die Homogenisierungstemperaturen von Flüssigkeitseinschlüssen mit homogenen Blasengrößen in Quarzadern sind deutlich niedriger als im Skarn, weshalb diese Bildungsbedingungen deutlich niedriger anzusetzen sind.

Die Bedingungen bei der Skarnbildung lassen sich von primären Flüssigkeitseinschlüssen in Diopsid und Granat ableiten. Die Bildung von Diopsid, welcher in eine Massive Sulfidverezung (Ccp, Po, Mrc, Mag, Py) eingelagert ist, hat bei minimalen Drücken von etwa 230 MPa in einer Tiefe von etwa 7,7 km (Gradient von 30 MPa/km) und Temperaturen oberhalb von 440 °C, unter Anwesenheit hochsalinärer CH₄- reicher Fluide stattgefunden. Fluide dieses Typs sind auch in Granat anwesend, welcher nach Diopsid, bei niedrigeren Drücken (minimal ca. 60 MPa) und ähnlichen Temperaturen (ca. 500 °C) mineralisiert wurde. Spuren dieser hochsalinären Lösung sind auch in einer Kalzitader in Skarn vorhanden, welche eine spätere Mineralisation darstellt. Mikrothermometrie in diesem Kalzit ermöglichte eine detaillierte Analyse der gelösten Salze, welche sich sowohl aus NaCl als auch CaCl₂ zusammensetzen. Es ist somit ein deutlicher Trend bei den in Skarn befindlichen Flüssigkeitseinschlüssen vorhanden, welcher anhand relativ hoher Bildungsdrücke, Bildungstemperaturen und Salinitäten auf eine frühe Genese dieser Mineralvergesellschaftung weist.

7 Literaturverzeichnis

Ábalos B., Carreras J., Druguet E., Escuder Viruente J., Gomez Pugnairé M. T., Lorenzo Alvarez S., Quesada C., Rodríguez L. R. u. Gil - Ibarra J. I. (2002): Variscian and Pre - Variscian Tectonics. - In: Eds. Gibbons W., Moreno T: The Geology of Spain. - pp. 155 - 183, Geological Society, London

Arcos D., Soler A. u. Delgado J. (1996): Fluid evolution in the Cu- Au deposit related to the Carlés granodiorite (Asturias). – Eur. J. Mineral. – pp. 975 - 985

Arcos D. u. Soler A. (1997): Fluid origin of the copper - gold mineralization of Carlés, NW Spain. - In: Ed. Papunen H.: Mineral Deposits: Research and Exploration. Where do they meet? - pp. 137 - 140, A. A. Balkema / Rotterdam / Brookfield

Bakker R. J. (2003): fluid package of computer programs for fluid inclusion studies - www.fluids.unileoben.ac.at

Baumgartner M. u. Bakker R. J. (2008): Raman spectroscopy of pure H₂O and NaCl – H₂O containing synthetic fluid inclusions in quartz – a study of polarization effects. - Springer – Verlag 2008

Deer W. A., Howie R. A., Zussman J (1992): An introduction to the rock-forming minerals. – pp. 678 – 685, 2nd. Ed. Longman

Burke E. A. J. (2001): Raman microspectrometry of fluid inclusions. – Lithos, vol. 55, pp. 139 - 158

García Iglesias J. u. Loredó J. (1990): Geological, mineralogical, and geochemical characteristics of the Carles gold mineralization, Asturias, Spain. - Mineral. Deposita 25 [Suppl], pp. 53 - 58

Gibbons W. u. Moreno T. (2002): Introduction and overview. - In: Eds. Gibbons W. u. Moreno T: The Geology of Spain. - pp. 155 - 183, Geological Society, London

Jaako S. u. Schmid R (2007): List of Mineral Abbreviations, Recommendations by the IUGS Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks. - Web version 01.02.07, www.bgs.ac.uk/scmr/home.html

Lin F., Bodnar R. J., Becker S. P. (2007): Experimental determination of the Raman CH₄ symmetric stretching (ν_1) band position from 1-650 bar and 0.3-22 °C: Application to fluid inclusion studies. - Geochimica et Cosmochimica Acta 71, pp. 3746 - 3756

Lotze F. (1945): Zur Gliederung der Varisziden der Iberischen Meseta. - Geotek. Forsch. 6, pp. 78 - 92

Martin – Izard A., Boixet L. u. Maldonado C. (1993): The Carlés copper – gold – bearing skarn, Cantabrian Cordillera, Spain. Current Research in Geology Applied to Ore Deposits. - Proceedings of Second Biennial SGA Meeting, pp. 499 - 502

Martin - Izard A., Fuertes-Fuente M., Cepedal A., Moreiras D., Nieto J. G., Maldonado C. u. Pevida L. R. (2000): The Rio Narcea gold belt intrusions: geology, petrology, geochemistry and timing. - Journal of Geochemical Exploration 71, pp. 103 - 117

Martin - Izard A., Paniagua A.; Garcia - Iglesias J., Fuertes M., Boixet Ll., Maldonado C. u. Varela A. (2000): The Carlés copper - gold - molybdenum skarn (Asturias, Spain): geometry, mineral associations and metasomatic evolution. - Journal of Geochemical Exploration 71, pp. 153 - 175

Pavicevic M. K. (2000): Elektronenstrahlmikroanalyse (ESMA) - in: Pavicevic, M. K., Amthauer, G. (eds.). - Physikalisch-chemische Untersuchungsmethoden in den Geowissenschaften (Band 1.) - pp. 132 - 142, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart.

Rua – Figueroa A., Llavona M., Loredó J. u. Garcia Iglesias J. (1987): Fluid inclusions in Quarz from a gold-mineralized granodioritic intrusion at Carlés, Asturias, Spain. - geochemical geology, 61, pp. 217 - 224

Shepherd T. J., Rankin A. H., Alderton D. H. M. (1985): A Practical guide to Fluid Inclusion Studies. - 240 S., Blackie & Son Ltd..

Spiering E. D., Pevida L. R., Maldonado C., Gonzalez S., Garcia J., Varela A., Arias D. u. Martin - Izard A. (2000): The gold belts of western Asturias and Galicia (NW Spain). - Journal of Geochemical Exploration 71, pp. 89 - 101

8 Anhang

Elektronenstrahl Mikrosonde

Alle Mikrosonden- Messergebnisse sind in Massenprozent angegeben.

Probe CG5

Titanit

Messpkt.	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	MnO	Na ₂ O	CaO	Pr ₂ O ₃	FeO	MgO	TiO ₂	Ce ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Total
37	1,58	37,88	b.d.l.	0,08	0,06	20,68	0,15	0,91	b.d.l.	23,26	0,35	0,52	b.d.l.	85,45
38	2,97	37,79	b.d.l.	b.d.l.	0,05	20,60	b.d.l.	1,09	b.d.l.	21,04	0,10	0,06	0,10	83,81
39	2,35	38,10	b.d.l.	b.d.l.	0,03	20,16	0,15	0,92	0,03	21,40	0,30	0,10	0,10	83,66

Probe CG7

Pyrit

Messpkt.	Ag	Ni	S	Fe	As	Cu	Au	Co	Total
24	b.d.l.	b.d.l.	51,24	46,24	1,44	0,05	b.d.l.	0,07	99,05

Messpkt.	As	Cu	Fe	Mo	S	Sb	Bi	Ag	Au	Total
4	0,11	b.d.l.	55,00	0,50	34,63	0,12	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	90,41
9	0,07	b.d.l.	51,12	0,55	41,46	0,26	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	93,50

Markasit

Messpkt.	Ag	Ni	S	Fe	As	Cu	Au	Co	Total
14	b.d.l.	0,04	43,72	39,74	0,19	b.d.l.	b.d.l.	0,10	83,79
15	b.d.l.	0,03	43,94	39,20	0,27	b.d.l.	b.d.l.	0,07	83,51
16	b.d.l.	0,03	52,23	46,90	0,06	0,03	b.d.l.	0,08	99,33
17	b.d.l.	b.d.l.	42,37	41,64	0,21	0,03	b.d.l.	0,09	84,34

Magnetkies

Messpkt.	Ag	Ni	S	Fe	As	Cu	Au	Co	Total
10	b.d.l.	0,03	38,14	60,73	0,06	b.d.l.	b.d.l.	0,12	99,07
11	0,14	b.d.l.	38,27	60,65	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0,11	99,18
12	b.d.l.	b.d.l.	38,10	60,88	0,05	0,05	0,05	0,11	99,24
21	b.d.l.	b.d.l.	38,11	60,32	b.d.l.	b.d.l.	0,06	0,08	98,57
22	b.d.l.	b.d.l.	38,18	60,75	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0,08	99,01
23	b.d.l.	0,03	35,46	55,11	0,14	0,05	b.d.l.	0,07	90,88

Messpkt.	As	Cu	Fe	Mo	S	Sb	Bi	Ag	Au	Total
3	0,16	0,04	59,07	0,61	39,11	b.d.l.	b.d.l.	0,03	0,06	99,06
8	0,11	b.d.l.	59,01	0,61	38,43	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	98,17

Tetrahedrit (ohne Zn)

Messpkt.	As	Cu	Fe	Mo	S	Sb	Bi	Ag	Au	Total
13	6,38	38,15	1,89	0,60	24,64	19,82	b.d.l.	2,05	b.d.l.	93,54
14	6,90	38,47	1,98	0,68	24,70	20,17	b.d.l.	1,97	b.d.l.	94,89
15	9,03	38,99	2,86	0,58	25,32	16,34	b.d.l.	1,58	0,05	94,73
16	0,68	36,99	4,31	0,45	24,33	29,62	b.d.l.	3,36	0,04	99,78
17	0,74	36,62	4,27	0,47	24,38	29,19	b.d.l.	3,82	b.d.l.	99,53
18	7,08	38,69	3,54	0,55	25,38	19,36	b.d.l.	2,13	b.d.l.	96,75
19	7,19	38,70	2,13	0,65	24,85	19,10	b.d.l.	1,82	b.d.l.	94,42

Antimonit

Messpkt.	As	Cu	Fe	Mo	S	Sb	Bi	Ag	Au	Total
10	1,51	0,08	1,17	0,45	27,44	67,81	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	98,46

Anhang
Elektronenstrahl Mikrosonde

Probe CG7

Arsenkies

Messpkt.	Ag	Ni	S	Fe	As	Cu	Au	Co	Total
5	b.d.l.	b.d.l.	20,43	36,05	44,15	b.d.l.	0,09	0,07	100,79
6	b.d.l.	b.d.l.	20,41	36,08	44,06	b.d.l.	b.d.l.	0,07	100,62
7	b.d.l.	b.d.l.	21,11	36,31	43,06	b.d.l.	b.d.l.	0,09	100,57
8	b.d.l.	b.d.l.	21,22	36,06	43,12	b.d.l.	b.d.l.	0,05	100,46
9	0,17	b.d.l.	21,95	36,54	41,66	b.d.l.	b.d.l.	0,05	100,36
18	b.d.l.	0,05	20,64	36,15	43,11	0,06	b.d.l.	0,05	100,06
19	b.d.l.	b.d.l.	20,88	36,66	43,72	0,04	0,06	0,09	101,45
20	b.d.l.	b.d.l.	21,96	36,47	41,97	b.d.l.	0,04	0,06	100,50
37	b.d.l.	b.d.l.	20,73	36,30	43,05	b.d.l.	0,07	0,07	100,22
38	b.d.l.	b.d.l.	20,37	36,06	43,63	b.d.l.	b.d.l.	0,07	100,13
39	b.d.l.	b.d.l.	20,49	36,31	44,06	b.d.l.	0,03	0,06	100,95
40	0,14	b.d.l.	20,89	36,39	43,09	b.d.l.	b.d.l.	0,04	100,54
41	b.d.l.	b.d.l.	21,65	36,61	41,51	b.d.l.	0,04	b.d.l.	99,81
42	b.d.l.	b.d.l.	20,66	36,12	43,71	b.d.l.	b.d.l.	0,05	100,54
43	b.d.l.	b.d.l.	20,49	35,93	42,66	b.d.l.	b.d.l.	0,06	99,14
44	b.d.l.	b.d.l.	20,54	36,10	44,04	0,05	b.d.l.	0,05	100,78
45	0,17	b.d.l.	20,85	36,24	43,20	b.d.l.	b.d.l.	0,06	100,52
46	b.d.l.	0,03	20,92	36,30	42,97	b.d.l.	b.d.l.	0,06	100,27
47	b.d.l.	b.d.l.	21,29	36,28	42,49	b.d.l.	b.d.l.	0,07	100,12
48	b.d.l.	b.d.l.	20,42	36,16	43,52	b.d.l.	b.d.l.	0,06	100,15
49	b.d.l.	b.d.l.	20,75	35,75	42,94	b.d.l.	0,04	0,05	99,53
50	b.d.l.	b.d.l.	21,90	36,45	41,36	b.d.l.	b.d.l.	0,04	99,74
51	b.d.l.	b.d.l.	21,27	36,38	42,10	b.d.l.	b.d.l.	0,08	99,84
52	b.d.l.	b.d.l.	20,61	36,12	43,00	b.d.l.	0,10	b.d.l.	99,83
53	b.d.l.	b.d.l.	20,53	35,86	42,93	b.d.l.	0,03	0,08	99,44
54	b.d.l.	b.d.l.	20,36	35,83	43,38	0,06	b.d.l.	0,05	99,68
55	b.d.l.	b.d.l.	20,57	36,07	43,57	b.d.l.	0,05	0,07	100,32
56	b.d.l.	b.d.l.	21,14	36,28	42,79	b.d.l.	b.d.l.	0,08	100,29
57	b.d.l.	b.d.l.	21,33	36,09	43,10	0,06	0,04	0,06	100,68
58	b.d.l.	b.d.l.	21,43	36,49	42,01	b.d.l.	b.d.l.	0,06	99,98
59	b.d.l.	b.d.l.	20,68	35,79	43,45	0,04	b.d.l.	0,03	100,00
60	b.d.l.	b.d.l.	21,76	36,31	42,42	b.d.l.	0,04	0,07	100,61
61	b.d.l.	b.d.l.	21,07	36,16	42,47	b.d.l.	b.d.l.	0,05	99,74

Messpkt.	As	Cu	Fe	Mo	S	Sb	Bi	Ag	Au	Total
5	44,88	0,06	34,99	0,31	20,61	0,26	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	101,10
7	45,17	b.d.l.	34,62	0,34	20,57	0,40	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	101,12

Fülöppit

Messpkt.	As	Cu	Fe	Mo	S	Sb	Bi	Ag	Au	Total
11	0,97	0,13	0,22	b.d.l.	b.d.l.	43,44	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	67,24
12	0,90	0,20	0,23	b.d.l.	b.d.l.	45,02	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	69,94

Messpkt.	As	Cu	Fe	Bi	S	Sb	Au	Ag	Pb	Zn	Total
1	0,85	0,14	0,19	b.d.l.	22,70	47,01	b.d.l.	b.d.l.	28,93	0,23	100,04
2	0,97	0,16	0,16	b.d.l.	22,83	46,93	b.d.l.	b.d.l.	29,00	0,27	100,32
3	1,00	0,09	0,24	b.d.l.	22,83	47,04	b.d.l.	b.d.l.	28,69	0,21	100,09
4	0,78	b.d.l.	0,15	b.d.l.	22,94	47,11	0,08	b.d.l.	28,45	0,05	99,55

Muskovit

Messpkt.	Na ₂ O	SiO ₂	CaO	K ₂ O	MnO	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	Total
1	0,09	49,03	0,24	10,33	b.d.l.	1,90	31,42	0,10	0,47	93,57

Anhang
Elektronenstrahl Mikrosonde

Probe CG7

Forsterit

Messpkt.	Na ₂ O	SiO ₂	CaO	K ₂ O	MnO	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	Total
2	b.d.l.	42,36	0,06	0,02	0,04	56,29	0,01	b.d.l.	2,08	100,85
3	b.d.l.	41,48	0,15	0,01	0,08	55,97	b.d.l.	0,06	2,07	99,80
4	0,06	42,02	0,11	0,01	0,05	56,76	b.d.l.	b.d.l.	2,06	101,07
5	0,04	41,91	0,05	b.d.l.	0,04	56,38	b.d.l.	b.d.l.	1,98	100,39
6	b.d.l.	41,83	0,09	b.d.l.	0,10	56,56	b.d.l.	0,03	2,01	100,62
7	0,03	42,06	0,12	b.d.l.	0,05	56,48	0,02	0,03	2,14	100,91
8	b.d.l.	42,61	0,10	0,01	0,06	56,62	b.d.l.	b.d.l.	2,04	101,44
9	b.d.l.	42,41	0,36	b.d.l.	0,09	56,16	b.d.l.	b.d.l.	2,06	101,08
10	b.d.l.	41,99	0,32	0,01	0,06	56,40	b.d.l.	b.d.l.	2,12	100,89

Probe CG8

Löllingit

Messpkt.	As	Cu	Fe	Mo	S	Sb	Bi	Ag	Au	Total
28	65,13	0,41	25,11	b.d.l.	1,03	8,44	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	100,14
33	65,47	0,31	25,89	0,06	2,12	8,77	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	102,62
34	66,40	0,13	26,13	b.d.l.	1,02	9,04	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	102,72
35	67,60	0,07	25,75	b.d.l.	0,42	7,97	b.d.l.	b.d.l.	0,04	101,84
36	66,69	0,20	25,70	0,03	1,06	8,09	b.d.l.	b.d.l.	0,07	101,84
37	62,88	0,14	24,80	0,02	1,89	11,00	b.d.l.	b.d.l.	0,13	100,89
41	67,03	0,35	25,41	b.d.l.	0,80	7,69	b.d.l.	0,04	b.d.l.	101,33

Messpkt.	As	S	Zn	Fe	Sb	Pb	Cu	Total
13	66,103	1,247	0,053	26,305	7,430	1,177	0,259	102,574
20	63,309	3,185	b.d.l.	27,234	8,460	0,235	0,356	102,779
32	65,737	1,880	b.d.l.	26,870	7,843	0,165	0,382	102,877
33	67,332	1,135	b.d.l.	26,445	9,639	0,135	0,415	105,119

Stibarsen

Messpkt.	As	Cu	Fe	Mo	S	Sb	Bi	Ag	Au	Total
25	38,67	b.d.l.	b.d.l.	0,03	0,08	61,18	b.d.l.	0,03	b.d.l.	100,00
27	40,09	b.d.l.	b.d.l.	0,05	0,03	60,35	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	100,52
29	39,89	b.d.l.	0,03	b.d.l.	0,11	60,20	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	100,26
30	37,48	b.d.l.	0,03	b.d.l.	0,03	61,92	0,05	0,05	b.d.l.	99,58
31	36,92	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0,17	63,46	b.d.l.	0,04	b.d.l.	100,62
32	40,91	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0,24	58,48	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	99,69
38	39,38	b.d.l.	b.d.l.	0,04	0,05	60,82	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	100,29
39	31,81	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	4,89	43,59	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	80,30

Messpkt.	As	S	Zn	Fe	Sb	Pb	Cu	Total
4	38,26	b.d.l.	0,06	0,03	60,96	0,10	0,30	99,71
14	37,42	0,49	b.d.l.	b.d.l.	57,23	2,68	b.d.l.	97,84
22	37,66	0,06	b.d.l.	0,04	61,43	0,38	b.d.l.	99,63
27	37,49	0,20	b.d.l.	b.d.l.	60,12	1,36	b.d.l.	99,19
28	39,17	0,03	b.d.l.	0,03	60,90	0,22	b.d.l.	100,39
38	37,60	0,02	b.d.l.	b.d.l.	62,46	0,07	b.d.l.	100,15
39	36,47	0,09	b.d.l.	b.d.l.	61,86	0,29	0,07	98,80
40	37,52	0,02	b.d.l.	b.d.l.	60,68	0,21	b.d.l.	98,45

Tetrahedrit

Messpkt.	As	Cu	Fe	Mo	S	Sb	Bi	Ag	Au	Total
43	1,24	38,53	2,42	0,43	24,93	29,31	b.d.l.	0,65	b.d.l.	97,51

Messpkt.	As	S	Zn	Fe	Sb	Pb	Cu	Total
1	0,85	25,59	4,75	2,30	27,76	b.d.l.	38,66	99,90
2	1,22	25,51	4,59	2,47	27,69	b.d.l.	38,27	99,75
3	0,82	25,61	4,53	2,45	27,70	b.d.l.	38,49	99,60

Anhang
Elektronenstrahl Mikrosonde

Probe CG8

Stibioclaudetit

Messpkt.	As	Cu	Fe	Mo	S	Sb	Bi	Ag	Au	Total
44	35,08	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0,31	51,60	b.d.l.	b.d.l.	0,09	87,09

Messpkt.	As	S	Zn	Fe	Sb	Pb	Cu	Total
5	33,26	0,23	0,05	b.d.l.	41,45	0,06	b.d.l.	75,09
29	34,17	b.d.l.	b.d.l.	0,20	41,11	0,07	b.d.l.	75,59
30	38,90	b.d.l.	b.d.l.	0,36	29,81	b.d.l.	b.d.l.	69,13
31	45,12	0,01	0,05	0,12	31,17	b.d.l.	0,06	76,53
34	37,85	b.d.l.	b.d.l.	0,19	38,36	0,04	b.d.l.	76,49
35	39,11	b.d.l.	b.d.l.	0,48	32,39	b.d.l.	b.d.l.	72,00
36	22,27	0,10	0,06	0,11	29,25	0,19	b.d.l.	51,98
37	13,44	0,97	b.d.l.	0,03	34,58	13,96	b.d.l.	62,99
44	17,65	0,05	b.d.l.	0,33	37,00	0,19	b.d.l.	55,25
45	13,71	0,10	b.d.l.	0,78	37,28	0,68	0,07	52,62
46	16,21	0,12	b.d.l.	0,48	36,35	0,62	b.d.l.	53,82

Antimon

Messpkt.	As	Cu	Fe	Mo	S	Sb	Bi	Ag	Au	Total
26	4,29	0,05	b.d.l.	0,04	0,19	92,71	b.d.l.	0,06	b.d.l.	97,34

Messpkt.	As	S	Zn	Fe	Sb	Pb	Cu	Total
6	4,47	0,16	b.d.l.	b.d.l.	93,40	0,91	0,04	99,00
7	4,98	0,02	b.d.l.	b.d.l.	94,15	0,33	b.d.l.	99,54
15	4,68	0,03	0,08	b.d.l.	94,03	0,15	0,09	99,06
16	4,20	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	94,73	0,06	0,06	99,07
17	3,89	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	95,98	b.d.l.	b.d.l.	99,90
18	4,01	b.d.l.	b.d.l.	0,05	96,49	b.d.l.	b.d.l.	100,59
25	3,98	0,11	0,07	b.d.l.	97,31	0,55	b.d.l.	102,01
26	4,97	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	95,79	b.d.l.	0,06	100,85

Päakkönetit

Messpkt.	As	Cu	Fe	Mo	S	Sb	Bi	Ag	Au	Total
42	19,28	0,00	0,03	0,20	16,63	62,95	b.d.l.	0,04	b.d.l.	99,13

Bleiglanz

Messpkt.	As	S	Zn	Fe	Sb	Pb	Cu	Total
8	0,35	13,22	0,05	b.d.l.	0,27	86,41	0,05	100,36
9	0,06	13,14	b.d.l.	0,06	0,07	86,70	b.d.l.	100,02
10	0,40	12,55	b.d.l.	0,07	2,59	83,43	0,07	99,13
11	0,06	13,28	b.d.l.	0,07	b.d.l.	86,51	0,11	100,02
12	0,12	13,10	b.d.l.	0,22	b.d.l.	86,29	0,06	99,79
19	0,07	13,36	b.d.l.	0,11	0,19	86,36	b.d.l.	100,12
21	0,10	13,19	b.d.l.	0,05	b.d.l.	86,72	b.d.l.	100,09
23	b.d.l.	13,26	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	87,17	b.d.l.	100,53
24	0,07	12,79	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	84,30	b.d.l.	97,23
42	0,11	12,96	b.d.l.	b.d.l.	0,26	86,57	b.d.l.	99,93
41	3,21	12,05	b.d.l.	0,09	5,87	79,12	b.d.l.	100,38
43	2,78	12,17	b.d.l.	0,06	5,18	81,32	b.d.l.	101,52

Quarz

Messpkt.	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	MnO	Na ₂ O	CaO	Pr ₂ O ₃	FeO	MgO	TiO ₂	Ce ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Total
29	0,49	121,55	0,04	b.d.l.	0,06	0,03	b.d.l.	0,03	b.d.l.	b.d.l.	0,11	b.d.l.	0,17	122,47
30	0,05	123,83	0,01	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0,03	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	124,00

Ankerit

Messpkt.	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	MnO	Na ₂ O	CaO	Pr ₂ O ₃	FeO	MgO	TiO ₂	Ce ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Total
21	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	5,03	0,04	21,90	0,08	14,48	6,90	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	48,48
22	b.d.l.	0,05	0,02	4,43	0,03	18,32	b.d.l.	17,65	8,13	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	48,77
24	b.d.l.	b.d.l.	0,02	3,77	0,07	19,11	b.d.l.	17,81	8,82	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0,11	49,73

Anhang
Elektronenstrahl Mikrosonde

Probe CG8

Kalzit

Messpkt.	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	MnO	Na ₂ O	CaO	Pr ₂ O ₃	FeO	MgO	TiO ₂	Ce ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Total
18	0,02	0,05	0,02	1,45	b.d.l.	42,09	b.d.l.	0,71	0,09	0,05	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	44,51
19	b.d.l.	0,04	b.d.l.	1,00	b.d.l.	43,27	b.d.l.	0,77	0,11	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	45,18
20	b.d.l.	b.d.l.	0,01	0,88	0,03	43,70	b.d.l.	0,97	0,21	b.d.l.	0,06	b.d.l.	b.d.l.	45,95
23	b.d.l.	b.d.l.	0,02	0,86	0,02	40,45	b.d.l.	2,63	0,72	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	44,79
25	b.d.l.	0,07	0,05	1,80	0,03	37,37	b.d.l.	3,26	0,29	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	42,91
27	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	1,86	b.d.l.	41,00	b.d.l.	1,50	0,39	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	44,86
28	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	1,64	b.d.l.	42,49	b.d.l.	1,31	0,32	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0,08	45,85

Silikat / Kalzit

Messpkt.	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	MnO	Na ₂ O	CaO	Pr ₂ O ₃	FeO	MgO	TiO ₂	Ce ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Total
31	0,12	20,60	0,03	0,37	b.d.l.	21,69	b.d.l.	18,18	4,32	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	65,34
32	0,14	7,39	b.d.l.	0,54	0,02	30,12	b.d.l.	8,99	1,96	0,04	b.d.l.	b.d.l.	0,13	49,36
33	0,35	20,39	0,03	0,45	0,04	23,97	b.d.l.	15,97	3,78	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	65,10
34	0,13	7,92	0,01	0,34	0,05	30,93	b.d.l.	9,80	2,01	0,03	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	51,27
35	2,45	25,83	0,03	0,49	b.d.l.	15,88	b.d.l.	26,59	4,48	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	75,86
26	9,60	32,89	0,03	0,33	0,06	3,89	b.d.l.	42,24	5,18	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	94,26
36	13,31	32,53	0,02	0,30	b.d.l.	5,33	b.d.l.	36,99	4,78	0,06	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	93,37

Probe CG9

Chlorit

Messpkt.	Na ₂ O	SiO ₂	CaO	K ₂ O	MnO	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	Total
85	0,05	25,55	0,06	0,04	0,15	8,82	19,06	b.d.l.	28,03	81,76
86	0,02	25,54	0,06	0,01	0,24	9,55	19,51	b.d.l.	27,18	82,10

Epidot

Messpkt.	Na ₂ O	SiO ₂	CaO	K ₂ O	MnO	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	Total
66	0,27	43,19	6,95	0,62	0,58	11,22	10,23	0,10	11,21	84,37
67	0,79	41,56	7,56	1,18	0,51	9,13	9,98	0,15	10,67	81,53
68	0,77	42,17	6,61	1,45	0,37	10,27	9,39	0,12	11,80	82,95
62	0,09	32,30	14,89	0,02	0,40	0,11	16,64	0,25	5,86	70,57
63	0,16	36,76	17,00	0,05	0,22	0,10	19,40	0,34	6,90	80,92
64	0,10	37,16	15,60	0,06	0,46	0,13	17,96	0,33	6,75	78,54
65	0,09	38,01	15,08	0,03	0,48	0,16	17,85	0,46	6,26	78,42
69	0,15	36,70	16,28	0,06	0,36	0,13	18,83	0,24	6,94	79,70
70	0,23	37,86	16,19	0,07	0,32	0,17	17,82	0,18	6,68	79,52
71	0,10	38,35	15,55	0,06	0,49	0,19	17,71	0,18	6,45	79,07
72	0,10	38,73	15,53	0,05	0,46	0,17	17,77	0,17	6,59	79,55
73	0,07	38,21	15,77	0,03	0,49	0,17	17,90	0,15	6,51	79,29
74	0,10	37,73	16,27	0,05	0,33	0,14	18,60	0,08	6,69	80,00
75	0,12	38,01	15,77	0,05	0,45	0,18	17,99	0,14	6,50	79,20
76	0,15	37,04	16,89	0,12	0,40	0,11	18,92	0,07	6,97	80,67
77	0,03	37,09	21,77	b.d.l.	b.d.l.	0,04	23,75	0,07	7,97	90,71
78	b.d.l.	37,07	21,59	0,01	0,06	0,05	23,55	0,06	7,91	90,31
79	0,06	37,38	22,30	0,02	0,06	b.d.l.	24,00	0,14	7,84	91,79

Messpkt.	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	MnO	Na ₂ O	CaO	Pr ₂ O ₃	FeO	MgO	TiO ₂	Ce ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Total
1	22,47	46,16	0,02	0,19	0,07	14,43	0,28	8,82	0,05	0,21	2,21	0,15	0,82	95,88
2	18,21	49,03	0,03	0,52	0,10	12,02	0,85	9,12	0,19	0,19	3,59	0,12	1,32	95,28
6	20,78	47,43	0,06	0,31	0,09	12,95	0,51	8,93	0,06	0,21	2,61	0,09	0,79	94,83
7	20,03	46,15	0,06	0,24	0,09	13,11	0,56	10,09	0,11	0,07	3,45	0,13	0,95	95,04
8	21,06	45,72	0,09	0,30	0,11	13,64	0,43	10,03	0,10	0,15	2,79	0,18	0,92	95,51
9	21,21	45,58	0,03	0,26	0,11	13,50	0,50	9,56	0,06	0,11	2,91	0,14	0,82	94,77
10	19,58	46,88	0,06	0,33	0,11	12,94	0,49	8,74	0,15	0,18	3,02	0,12	0,81	93,40
11	19,08	47,11	0,04	0,33	0,08	12,56	0,59	8,89	0,15	0,17	3,02	0,11	1,03	93,15
12	18,42	46,75	0,07	0,41	0,10	12,67	0,55	9,45	0,72	0,16	2,74	0,13	0,78	92,96
13	17,88	49,27	0,06	0,43	0,10	11,76	0,59	9,44	1,65	0,22	2,74	0,05	0,66	94,85
14	17,66	50,10	0,07	0,44	0,10	11,64	0,46	10,20	2,22	0,20	2,54	0,17	0,65	96,43
15	18,42	46,72	0,05	0,35	0,07	12,46	0,51	8,65	0,15	0,17	3,01	0,14	0,80	91,51

Anhang
Elektronenstrahl Mikrosonde

Grossular

Messpkt.	Na ₂ O	SiO ₂	CaO	K ₂ O	MnO	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	Total
80	b.d.l.	38,77	33,35	b.d.l.	0,46	0,23	15,97	0,51	7,32	96,61
81	0,03	38,75	33,30	0,01	0,42	0,21	16,03	0,35	7,47	96,57
82	b.d.l.	38,40	33,21	0,02	0,53	0,21	16,30	0,52	7,18	96,36
83	0,10	38,61	32,92	0,02	0,42	0,18	16,04	0,52	7,36	96,18
84	0,04	38,36	33,11	0,02	0,49	0,28	16,17	0,55	7,02	96,03
91	0,03	38,53	33,21	0,01	0,57	0,43	17,44	0,39	6,43	97,03
92	b.d.l.	38,78	33,30	b.d.l.	0,63	0,40	17,11	0,61	6,49	97,32
93	b.d.l.	38,98	32,84	0,01	0,56	0,47	17,04	0,78	6,71	97,38
97	b.d.l.	38,78	33,06	0,01	0,52	0,50	17,73	0,50	6,17	97,27
98	0,02	38,96	32,62	b.d.l.	0,57	0,45	17,61	0,56	6,15	96,94
99	0,03	39,11	33,04	0,01	0,55	0,50	17,81	0,58	5,98	97,62
115	b.d.l.	38,59	32,63	b.d.l.	0,56	0,25	15,15	0,51	8,90	96,58
116	0,37	38,38	32,55	0,05	0,51	0,30	15,59	0,39	8,33	96,47
117	b.d.l.	38,95	33,01	b.d.l.	0,56	0,26	15,42	0,36	8,41	96,96
118	0,02	38,75	32,15	b.d.l.	0,53	0,29	15,42	0,68	8,49	96,32
119	0,07	38,48	32,49	0,01	0,50	0,30	15,27	0,53	8,62	96,26
120	b.d.l.	38,77	32,56	b.d.l.	0,62	0,26	15,59	0,57	8,44	96,80
121	b.d.l.	38,69	32,53	0,02	0,57	0,25	15,65	0,49	8,34	96,54

Albit

Messpkt.	Na ₂ O	SiO ₂	CaO	K ₂ O	MnO	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	Total
104	11,56	68,32	0,14	0,04	b.d.l.	b.d.l.	19,13	0,04	0,03	99,25
105	11,68	67,52	0,30	0,11	0,71	0,02	19,01	b.d.l.	0,04	99,38
106	11,89	67,89	0,07	0,14	b.d.l.	0,26	18,80	0,03	0,20	99,28
107	4,06	72,58	0,10	0,10	0,07	0,25	19,98	b.d.l.	0,21	97,35
108	12,08	67,95	0,15	0,04	b.d.l.	b.d.l.	18,96	0,04	0,04	99,26
109	11,93	68,40	0,18	0,05	b.d.l.	b.d.l.	19,14	0,03	0,02	99,74
110	12,02	68,65	0,22	0,03	0,08	b.d.l.	19,21	b.d.l.	0,04	100,25

Vesuvianit

Messpkt.	Na ₂ O	SiO ₂	CaO	K ₂ O	MnO	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	Total
87	0,04	36,04	33,88	0,03	0,08	2,50	15,39	2,19	3,02	93,16
88	0,03	36,19	33,81	b.d.l.	0,09	2,58	14,36	2,58	3,25	92,89
89	b.d.l.	36,61	33,56	0,02	0,09	2,60	15,50	1,24	3,19	92,79
90	0,05	36,44	34,15	b.d.l.	0,11	2,55	15,73	0,88	3,28	93,18
94	b.d.l.	36,26	34,46	b.d.l.	0,08	2,65	15,62	1,13	2,89	93,09
95	0,04	36,16	33,79	0,01	0,12	2,62	15,72	1,72	2,77	92,95
96	b.d.l.	36,35	34,16	0,02	0,10	2,60	15,64	1,32	2,89	93,07
100	0,07	35,56	33,91	0,02	0,15	2,81	14,73	1,92	3,15	92,31
101	0,02	36,04	33,79	b.d.l.	0,16	2,70	16,17	0,85	2,79	92,52
102	0,03	35,66	33,47	0,02	0,12	2,55	15,04	2,16	3,06	92,11
103	0,03	35,28	33,56	0,01	0,13	2,76	15,31	0,64	3,45	91,18

Kalzit

Messpkt.	Na ₂ O	SiO ₂	CaO	K ₂ O	MnO	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	Total
111	0,02	b.d.l.	54,30	b.d.l.	0,11	0,04	b.d.l.	0,08	0,13	54,67
112	0,08	b.d.l.	53,37	0,01	b.d.l.	0,02	0,01	b.d.l.	0,03	53,53
113	0,02	b.d.l.	55,49	0,01	0,08	0,03	b.d.l.	0,03	0,17	55,83
114	0,03	b.d.l.	53,49	b.d.l.	0,05	0,06	b.d.l.	b.d.l.	0,14	53,77

Titanit

Messpkt.	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	MnO	Na ₂ O	CaO	Pr ₂ O ₃	FeO	MgO	TiO ₂	Ce ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Total
3	2,44	37,63	b.d.l.	b.d.l.	0,03	21,38	b.d.l.	0,92	0,02	20,67	b.d.l.	0,10	b.d.l.	83,21
4	4,79	38,89	b.d.l.	b.d.l.	0,04	21,45	b.d.l.	1,09	b.d.l.	20,35	0,10	0,10	b.d.l.	86,83
5	4,32	38,99	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	21,79	b.d.l.	1,01	b.d.l.	20,89	b.d.l.	0,09	b.d.l.	87,11

Prehnit

Messpkt.	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	MnO	Na ₂ O	CaO	Pr ₂ O ₃	FeO	MgO	TiO ₂	Ce ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Total
16	22,86	53,94	0,03	0,06	0,09	19,90	0,12	0,04	0,03	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0,12	97,21
17	23,08	54,29	0,02	b.d.l.	0,03	19,78	0,13	0,06	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	97,43

Anhang
Elektronenstrahl Mikrosonde

Probe CG10

Klinopyroxen Diopsid/Hedenbergit

Messpkt.	Na ₂ O	SiO ₂	CaO	K ₂ O	MnO	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	Total
23	0,15	50,40	22,78	b.d.l.	0,49	5,91	0,19	0,06	15,73	95,71
24	0,25	51,45	22,68	b.d.l.	0,23	7,92	0,45	0,05	13,65	96,68
25	0,19	51,17	23,02	b.d.l.	0,21	9,53	0,88	0,17	11,56	96,73
26	0,15	51,01	23,21	0,03	0,44	6,63	0,38	b.d.l.	15,01	96,84
27	0,14	51,00	23,00	b.d.l.	0,44	6,56	0,58	0,04	14,77	96,51
28	0,19	50,49	23,00	0,02	0,56	6,32	0,40	0,08	15,40	96,45
29	0,05	51,52	23,98	0,01	0,30	10,55	1,34	0,10	10,15	98,01
30	0,14	51,96	23,13	b.d.l.	0,20	9,45	0,53	b.d.l.	11,76	97,16
31	0,15	52,79	23,45	b.d.l.	0,17	7,90	0,36	0,03	8,10	92,94
32	0,13	53,52	23,98	0,01	0,11	13,04	0,42	0,05	7,48	98,73
33	0,10	51,49	23,79	0,01	0,24	11,10	1,55	0,19	9,35	97,81
34	0,17	52,07	23,18	b.d.l.	0,23	10,05	0,68	0,14	11,37	97,89
47	0,08	53,50	24,59	0,02	0,09	15,07	0,81	0,06	4,02	98,22
48	0,10	54,16	23,95	b.d.l.	0,20	16,81	0,37	0,10	2,81	98,50
49	0,08	53,71	23,81	b.d.l.	0,11	15,88	0,76	0,09	3,88	98,31
50	0,13	54,48	23,99	b.d.l.	0,17	17,00	0,41	0,11	2,67	98,96
51	0,08	54,77	24,34	b.d.l.	0,06	16,55	0,49	0,08	3,20	99,56

Anorthit

Messpkt.	Na ₂ O	SiO ₂	CaO	K ₂ O	MnO	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	Total
35	0,59	45,00	18,48	0,04	0,04	b.d.l.	34,96	b.d.l.	0,09	99,20
36	0,15	43,66	19,44	0,01	b.d.l.	0,02	35,83	b.d.l.	0,15	99,28
37	0,13	43,54	19,31	0,01	0,03	b.d.l.	35,84	b.d.l.	0,14	98,99
38	0,33	43,95	18,53	0,20	0,04	b.d.l.	35,21	b.d.l.	0,09	98,36
39	0,46	44,20	18,63	0,02	b.d.l.	0,02	34,87	b.d.l.	0,06	98,27
40	0,31	43,58	19,11	0,01	0,03	b.d.l.	35,38	0,05	0,03	98,49

Oligoklas

Messpkt.	Na ₂ O	SiO ₂	CaO	K ₂ O	MnO	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	Total
41	9,15	62,82	4,52	0,23	b.d.l.	b.d.l.	22,89	b.d.l.	0,05	99,65
42	9,30	63,30	4,67	0,26	0,03	b.d.l.	23,10	b.d.l.	0,06	100,72
43	8,51	61,51	5,83	0,27	b.d.l.	b.d.l.	23,94	b.d.l.	0,07	100,14
44	8,65	62,32	5,32	0,16	b.d.l.	b.d.l.	23,49	b.d.l.	0,05	99,98
45	8,78	61,80	5,43	0,19	0,03	b.d.l.	23,65	0,03	0,04	99,95
46	9,30	61,79	4,22	0,20	b.d.l.	b.d.l.	22,92	b.d.l.	0,03	98,45

Grossular

Messpkt.	Na ₂ O	SiO ₂	CaO	K ₂ O	MnO	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	Total
52	0,03	38,18	33,00	0,02	0,42	0,17	14,55	1,56	8,59	96,52
53	b.d.l.	38,59	33,16	b.d.l.	0,49	0,19	15,69	0,53	8,17	96,83
54	b.d.l.	38,70	33,07	0,01	0,48	0,28	15,31	1,19	8,20	97,23
55	b.d.l.	38,77	33,04	b.d.l.	0,52	0,21	15,45	0,69	8,50	97,17
56	b.d.l.	38,58	32,98	0,01	0,55	0,30	15,40	0,94	8,25	97,01
57	0,04	37,80	32,41	b.d.l.	0,53	0,23	14,61	1,39	8,63	95,63
58	b.d.l.	38,08	32,30	b.d.l.	0,57	0,18	14,46	1,56	8,92	96,07
59	b.d.l.	38,39	32,61	b.d.l.	0,48	0,21	14,37	1,59	9,05	96,69
60	b.d.l.	38,39	32,76	b.d.l.	0,55	0,28	15,43	0,89	8,42	96,73
61	b.d.l.	38,85	32,70	b.d.l.	0,49	0,21	15,48	0,77	8,44	96,95

Anhang
Elektronenstrahl Mikrosonde

Probe CG12

Markasit

Messpkt.	Ag	Ni	S	Fe	As	Cu	Au	Co	Total
30	b.d.l.	b.d.l.	51,96	47,41	0,09	0,16	0,05	0,11	99,77
31	b.d.l.	b.d.l.	51,97	47,11	b.d.l.	0,09	b.d.l.	0,12	99,29
35	b.d.l.	0,06	51,88	47,57	0,04	0,16	b.d.l.	0,10	99,81
36	b.d.l.	0,05	51,79	47,53	0,07	0,14	0,05	0,03	99,65

Kupferkies

Messpkt.	Ag	Ni	S	Fe	As	Cu	Au	Co	Total
25	b.d.l.	b.d.l.	33,57	31,21	b.d.l.	34,98	b.d.l.	0,02	99,78
26	b.d.l.	b.d.l.	33,77	31,27	0,06	34,91	b.d.l.	0,05	100,05
27	0,13	b.d.l.	33,93	31,42	0,11	34,86	b.d.l.	0,05	100,50
28	b.d.l.	b.d.l.	33,70	31,14	0,10	34,62	0,04	0,07	99,67
29	b.d.l.	b.d.l.	33,74	31,62	0,09	34,45	b.d.l.	0,07	99,97
32	b.d.l.	b.d.l.	33,57	31,27	0,08	34,60	b.d.l.	0,07	99,58
33	0,13	b.d.l.	33,75	31,06	0,08	34,54	0,04	0,08	99,67
34	b.d.l.	b.d.l.	33,39	31,44	b.d.l.	34,19	b.d.l.	0,03	99,05

Tremolith

Messpkt.	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	MnO	Na ₂ O	CaO	Pr ₂ O ₃	FeO	MgO	TiO ₂	Ce ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Total
40	0,12	68,98	0,23	0,46	0,17	7,36	b.d.l.	8,79	22,60	b.d.l.	b.d.l.	0,05	b.d.l.	108,76
41	0,13	70,90	0,07	0,17	0,06	8,84	b.d.l.	6,86	21,43	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	108,47
42	0,17	70,08	0,16	0,27	0,07	8,47	b.d.l.	7,76	21,26	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0,10	108,37
43	0,12	71,54	0,09	0,13	0,07	9,27	b.d.l.	5,64	22,27	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	109,13
44	b.d.l.	72,43	0,03	b.d.l.	0,09	b.d.l.	0,05	7,03	27,65	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	107,30
45	0,02	71,32	0,10	0,06	0,18	0,12	b.d.l.	7,20	26,52	0,05	b.d.l.	0,05	0,10	105,76
46	b.d.l.	73,37	0,08	0,04	0,16	0,05	b.d.l.	7,70	27,15	b.d.l.	b.d.l.	0,04	b.d.l.	108,67

Phlogopit blau

Messpkt.	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	MnO	Na ₂ O	CaO	Pr ₂ O ₃	FeO	MgO	TiO ₂	Ce ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Total
47	8,91	43,55	4,81	0,10	0,16	b.d.l.	b.d.l.	14,14	28,56	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	100,26
48	9,22	44,05	5,73	0,07	0,09	0,04	b.d.l.	13,16	28,30	b.d.l.	0,07	b.d.l.	b.d.l.	100,78
49	8,65	40,13	2,71	0,06	0,21	0,02	b.d.l.	17,54	28,57	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	97,92
50	8,75	41,02	3,56	0,13	0,20	b.d.l.	b.d.l.	15,67	28,66	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	98,03
51	8,11	40,12	1,80	0,07	0,10	0,05	0,06	17,28	29,62	b.d.l.	b.d.l.	0,04	b.d.l.	97,26

Serpentinmineral

Messpkt.	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	MnO	Na ₂ O	CaO	Pr ₂ O ₃	FeO	MgO	TiO ₂	Ce ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Total
52	b.d.l.	39,06	0,07	0,81	0,07	0,33	b.d.l.	15,14	14,94	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	70,46
53	b.d.l.	44,44	0,14	1,01	0,23	0,37	b.d.l.	18,57	18,71	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	83,55
54	b.d.l.	37,67	0,04	0,78	0,06	0,29	b.d.l.	13,76	13,23	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	65,91
55	b.d.l.	37,80	0,24	0,89	0,32	0,36	b.d.l.	16,18	15,10	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	70,94
56	b.d.l.	50,54	0,04	0,17	0,06	0,07	b.d.l.	10,94	35,00	0,04	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	96,86
57	b.d.l.	51,36	0,04	0,19	0,03	0,06	b.d.l.	10,74	35,66	b.d.l.	0,11	b.d.l.	b.d.l.	98,19
58	b.d.l.	49,26	b.d.l.	0,18	0,02	0,05	b.d.l.	7,25	38,22	b.d.l.	b.d.l.	0,04	0,08	95,15
59	b.d.l.	49,87	0,02	0,24	b.d.l.	0,04	b.d.l.	10,72	37,70	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0,07	98,66

Serpentinmineral / feiner Hämatit

Messpkt.	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	MnO	Na ₂ O	CaO	Pr ₂ O ₃	FeO	MgO	TiO ₂	Ce ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Total
60	b.d.l.	42,70	0,36	0,93	0,35	0,30	b.d.l.	15,76	14,74	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	75,18
61	b.d.l.	44,64	0,14	0,85	0,13	0,35	b.d.l.	20,66	20,45	0,03	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	87,28

Anhang
Elektronenstrahl Mikrosonde

Probe CG13

Pyrit

Messpkt.	Ag	Ni	S	Fe	As	Cu	Au	Co	Total
3	b.d.l.	b.d.l.	53,26	47,14	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0,07	100,47
4	0,13	b.d.l.	52,37	47,82	b.d.l.	b.d.l.	0,04	0,10	100,47
5	0,12	0,04	53,31	47,35	0,10	0,06	b.d.l.	0,04	101,02
6	0,15	b.d.l.	53,02	47,40	b.d.l.	0,06	b.d.l.	0,08	100,71
7	b.d.l.	b.d.l.	53,34	47,16	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0,07	100,57
8	b.d.l.	b.d.l.	53,12	46,82	b.d.l.	b.d.l.	0,13	0,08	100,15
9	b.d.l.	b.d.l.	53,33	47,18	b.d.l.	b.d.l.	0,05	0,10	100,66

Löllingit

Messpkt.	Ag	Ni	S	Fe	As	Cu	Au	Co	Total
10	b.d.l.	0,03	2,60	28,58	68,99	b.d.l.	b.d.l.	0,03	100,23
11	b.d.l.	b.d.l.	2,90	29,06	68,85	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	100,81
12	b.d.l.	0,05	3,06	28,86	68,47	b.d.l.	0,08	0,06	100,59
19	b.d.l.	b.d.l.	2,58	28,76	68,84	b.d.l.	b.d.l.	0,05	100,23
20	b.d.l.	b.d.l.	2,51	28,75	69,19	b.d.l.	b.d.l.	0,03	100,48
21	b.d.l.	b.d.l.	2,34	28,65	69,42	b.d.l.	b.d.l.	0,04	100,45
22	b.d.l.	b.d.l.	2,75	28,70	68,78	b.d.l.	0,06	0,04	100,33
28	b.d.l.	b.d.l.	2,62	28,97	68,81	b.d.l.	b.d.l.	0,04	100,44
29	b.d.l.	b.d.l.	2,59	28,86	69,04	b.d.l.	0,10	0,08	100,67

Arsenkies

Messpkt.	Ag	Ni	S	Fe	As	Cu	Au	Co	Total	
13	0,17	b.d.l.	19,21	34,96	46,05	b.d.l.	b.d.l.	0,02	100,42	
14	b.d.l.	b.d.l.	19,39	34,73	45,45	b.d.l.	0,04	0,02	99,63	
15	0,23	0,03	18,77	34,41	46,48	b.d.l.	b.d.l.	0,06	99,98	
16	b.d.l.	b.d.l.	18,69	34,53	46,59	b.d.l.	b.d.l.	0,04	99,85	
17	b.d.l.	b.d.l.	17,95	34,38	47,45	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	99,78	
18	b.d.l.	b.d.l.	19,20	34,75	45,82	b.d.l.	b.d.l.	0,06	99,83	
23	b.d.l.	0,03	18,88	34,52	46,23	b.d.l.	b.d.l.	0,05	99,71	
24	b.d.l.	b.d.l.	18,11	34,15	47,15	b.d.l.	b.d.l.	0,03	99,44	
25	b.d.l.	b.d.l.	18,61	34,64	46,81	b.d.l.	b.d.l.	0,07	100,13	
26	b.d.l.	0,04	18,93	34,44	46,63	b.d.l.	b.d.l.	0,04	100,08	
27	b.d.l.	b.d.l.	17,97	34,46	47,67	b.d.l.	0,04	0,07	100,21	
30	b.d.l.	b.d.l.	18,71	34,39	46,74	b.d.l.	b.d.l.	0,06	99,90	
31	b.d.l.	b.d.l.	19,12	34,17	45,61	b.d.l.	b.d.l.	0,04	98,94	
32	b.d.l.	b.d.l.	18,53	34,11	46,50	b.d.l.	b.d.l.	0,03	99,17	
33	b.d.l.	b.d.l.	19,11	34,55	46,09	b.d.l.	b.d.l.	0,05	99,80	
34	b.d.l.	b.d.l.	18,22	34,29	47,70	0,04	b.d.l.	0,07	100,32	
35	b.d.l.	b.d.l.	18,86	34,54	46,25	b.d.l.	b.d.l.	0,06	99,71	
36	b.d.l.	b.d.l.	18,89	34,40	46,08	b.d.l.	b.d.l.	0,09	99,46	
37	b.d.l.	b.d.l.	19,07	34,67	46,03	b.d.l.	0,04	0,08	99,89	
38	b.d.l.	b.d.l.	18,75	34,31	46,00	b.d.l.	0,05	0,05	99,16	
39	b.d.l.	0,03	19,12	35,00	46,13	b.d.l.	0,04	0,05	100,38	
Messpkt.	As	Cu	Fe	Mo	S	Sb	Bi	Ag	Au	Total
24	48,96	b.d.l.	33,89	0,27	18,35	0,08	b.d.l.	b.d.l.	0,06	101,63

Bismuth

Messpkt.	As	Cu	Fe	Mo	S	Sb	Bi	Ag	Au	Total
20	b.d.l.	b.d.l.	4,44	b.d.l.	b.d.l.	0,73	101,23	b.d.l.	b.d.l.	106,42
21	b.d.l.	b.d.l.	4,54	b.d.l.	b.d.l.	0,74	100,46	0,06	b.d.l.	105,80
22	b.d.l.	b.d.l.	3,53	b.d.l.	0,04	b.d.l.	101,17	b.d.l.	0,06	104,80
23	b.d.l.	b.d.l.	1,23	b.d.l.	0,02	b.d.l.	101,07	b.d.l.	b.d.l.	102,34

Anhang
Elektronenstrahl Mikrosonde

Probe CG16

Pyrit

Messpkt.	Ag	Ni	S	Fe	As	Cu	Au	Co	Total
52	0,15	b.d.l.	53,56	46,94	0,10	0,09	b.d.l.	0,07	100,92
53	b.d.l.	0,04	53,59	47,10	b.d.l.	0,21	b.d.l.	0,09	101,04
54	0,14	b.d.l.	53,15	46,80	0,04	0,22	b.d.l.	0,12	100,47
55	b.d.l.	0,03	53,53	46,86	b.d.l.	0,36	b.d.l.	0,04	100,82

Markasit

Messpkt.	Ag	Ni	S	Fe	As	Cu	Au	Co	Total
45	b.d.l.	b.d.l.	52,78	47,99	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0,14	100,91
67	b.d.l.	b.d.l.	48,76	45,69	b.d.l.	0,03	b.d.l.	0,09	94,58

Magnetkies

Messpkt.	Ag	Ni	S	Fe	As	Cu	Au	Co	Total
43	0,14	b.d.l.	34,08	56,65	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0,12	90,99
44	b.d.l.	b.d.l.	37,18	54,91	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0,10	92,19
46	b.d.l.	b.d.l.	38,65	60,17	b.d.l.	b.d.l.	0,05	0,15	99,01
47	b.d.l.	b.d.l.	39,77	60,92	0,05	0,06	0,09	0,16	101,05
48	b.d.l.	b.d.l.	39,19	60,52	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0,13	99,84
49	b.d.l.	b.d.l.	39,38	60,38	b.d.l.	b.d.l.	0,06	0,17	100,00
50	0,19	b.d.l.	37,26	54,56	b.d.l.	0,04	b.d.l.	0,16	92,22
61	b.d.l.	0,05	39,26	60,41	b.d.l.	0,05	b.d.l.	0,20	99,97
62	b.d.l.	0,03	39,23	59,98	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0,15	99,39
63	b.d.l.	b.d.l.	39,19	59,67	0,11	0,12	b.d.l.	0,16	99,25
68	b.d.l.	b.d.l.	39,35	60,01	b.d.l.	b.d.l.	0,04	0,17	99,56
69	b.d.l.	b.d.l.	39,33	60,21	0,14	b.d.l.	b.d.l.	0,16	99,84
73	b.d.l.	b.d.l.	39,38	60,40	b.d.l.	0,05	b.d.l.	0,14	99,98

Kupferkies

Messpkt.	Ag	Ni	S	Fe	As	Cu	Au	Co	Total
40	b.d.l.	0,04	35,28	30,63	b.d.l.	35,13	b.d.l.	0,03	101,11
41	b.d.l.	b.d.l.	35,35	30,93	0,09	35,00	b.d.l.	0,04	101,40
42	0,15	b.d.l.	35,18	30,79	b.d.l.	35,07	0,07	0,04	101,30
56	0,14	b.d.l.	35,00	30,35	b.d.l.	35,13	b.d.l.	0,06	100,68
57	b.d.l.	0,04	35,12	30,60	0,06	35,63	b.d.l.	0,08	101,53
58	b.d.l.	b.d.l.	34,88	30,46	b.d.l.	35,24	b.d.l.	0,02	100,60
59	b.d.l.	0,02	35,03	30,20	b.d.l.	35,04	0,06	0,05	100,41
60	b.d.l.	b.d.l.	35,01	30,58	0,13	34,75	0,05	0,04	100,56
64	b.d.l.	b.d.l.	34,80	30,07	b.d.l.	35,86	b.d.l.	0,05	100,78
65	0,25	b.d.l.	34,84	30,38	b.d.l.	35,46	b.d.l.	0,05	100,99
66	0,19	b.d.l.	34,87	30,29	b.d.l.	35,38	b.d.l.	0,04	100,76
70	b.d.l.	b.d.l.	34,73	30,15	b.d.l.	35,02	b.d.l.	0,04	99,94
71	b.d.l.	b.d.l.	34,93	30,52	b.d.l.	35,43	b.d.l.	0,02	100,90
72	b.d.l.	0,04	34,91	30,55	0,08	35,14	b.d.l.	0,08	100,80
74	b.d.l.	b.d.l.	35,00	30,34	0,06	36,13	0,08	0,04	101,66
75	b.d.l.	b.d.l.	34,96	30,86	0,05	35,18	b.d.l.	0,05	101,10

Klinopyroxen Diopsid/Hedenbergit

Messpkt.	Na ₂ O	SiO ₂	CaO	K ₂ O	MnO	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	Total
13	0,02	51,56	23,68	0,01	0,56	8,09	0,47	b.d.l.	12,87	97,27
14	0,08	51,66	23,50	0,02	0,41	9,84	0,62	b.d.l.	11,01	97,12
15	0,04	51,82	23,39	b.d.l.	0,43	8,89	0,23	0,03	12,65	97,48
16	0,03	52,24	23,42	b.d.l.	0,44	8,78	0,22	0,05	12,84	98,01
17	0,03	51,53	23,48	b.d.l.	0,70	8,35	0,54	b.d.l.	12,94	97,56
18	b.d.l.	52,08	23,77	b.d.l.	0,46	9,58	0,49	0,05	11,54	97,98
19	b.d.l.	52,16	23,82	b.d.l.	0,54	10,14	0,49	b.d.l.	10,70	97,85
20	0,03	52,01	24,04	b.d.l.	0,34	9,54	0,47	b.d.l.	11,61	98,02
21	0,06	52,20	23,91	b.d.l.	0,44	10,18	0,44	b.d.l.	10,73	97,97
22	0,03	52,00	23,56	b.d.l.	0,40	8,70	0,15	b.d.l.	12,40	97,24

Anhang
Elektronenstrahl Mikrosonde

Probe CG16

Andradit

Messpkt.	Na ₂ O	SiO ₂	CaO	K ₂ O	MnO	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	Total
11	b.d.l.	36,76	33,24	b.d.l.	0,19	0,07	5,22	0,24	17,75	93,47
12	b.d.l.	36,57	32,62	b.d.l.	0,17	0,13	5,12	0,49	17,90	92,99

Probe CG18-1

Pyrit

Messpkt.	Ag	Ni	S	Fe	As	Cu	Au	Co	Total
110	b.d.l.	0,02	52,58	47,07	0,93	b.d.l.	b.d.l.	0,09	100,70
111	b.d.l.	b.d.l.	52,20	46,79	1,19	b.d.l.	0,05	0,08	100,32
112	b.d.l.	0,03	52,39	46,65	1,17	b.d.l.	b.d.l.	0,08	100,32
113	b.d.l.	b.d.l.	52,62	46,86	1,01	b.d.l.	b.d.l.	0,10	100,59

Messpkt.	As	Cu	Fe	Bi	S	Sb	Au	Ag	Pb	Zn	Total
24	2,36	0,72	44,67	b.d.l.	51,65	0,08	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0,04	99,52
44	1,62	0,08	45,32	b.d.l.	52,09	0,02	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	99,13
45	1,37	b.d.l.	45,14	b.d.l.	52,55	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0,06	99,12

Arsenikies

Messpkt.	Ag	Ni	S	Fe	As	Cu	Au	Co	Total
76	b.d.l.	0,06	21,58	35,79	42,42	0,04	b.d.l.	0,05	99,94
77	b.d.l.	0,03	22,70	35,67	40,88	b.d.l.	b.d.l.	0,04	99,32
78	b.d.l.	0,05	21,91	35,84	41,12	b.d.l.	0,05	0,06	99,03
79	b.d.l.	b.d.l.	21,83	35,71	41,38	b.d.l.	b.d.l.	0,02	98,94
80	0,20	b.d.l.	21,89	35,79	41,56	b.d.l.	b.d.l.	0,07	99,51
81	b.d.l.	b.d.l.	21,90	35,80	41,75	b.d.l.	b.d.l.	0,05	99,50
87	b.d.l.	0,03	22,31	35,80	41,54	b.d.l.	0,04	0,07	99,79
88	b.d.l.	0,03	21,43	35,39	41,88	b.d.l.	0,08	0,07	98,88
89	b.d.l.	0,03	21,55	35,66	42,09	0,04	0,04	0,08	99,48
90	0,19	0,03	21,72	35,59	41,64	b.d.l.	0,07	0,05	99,29
91	0,20	b.d.l.	22,93	36,39	40,09	b.d.l.	b.d.l.	0,06	99,67
92	0,14	b.d.l.	21,26	35,28	42,43	0,08	b.d.l.	0,06	99,25
93	b.d.l.	b.d.l.	21,27	35,28	41,98	b.d.l.	b.d.l.	0,06	98,59
94	b.d.l.	b.d.l.	21,47	35,62	42,06	b.d.l.	b.d.l.	0,04	99,19
95	b.d.l.	b.d.l.	21,52	35,52	41,92	b.d.l.	0,06	0,03	99,06
96	b.d.l.	0,05	21,23	35,59	42,49	b.d.l.	0,05	b.d.l.	99,41
97	b.d.l.	b.d.l.	21,25	35,30	42,41	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	98,96
98	b.d.l.	b.d.l.	21,29	35,50	42,67	b.d.l.	0,07	0,04	99,57
99	b.d.l.	0,06	21,44	35,77	42,17	0,06	b.d.l.	0,05	99,55
100	b.d.l.	0,04	22,41	36,26	40,79	0,06	b.d.l.	0,06	99,61
101	b.d.l.	0,04	22,38	36,09	40,51	b.d.l.	0,04	0,07	99,13
102	b.d.l.	b.d.l.	21,25	35,32	42,11	b.d.l.	b.d.l.	0,05	98,73
103	b.d.l.	0,07	21,42	35,72	41,85	b.d.l.	b.d.l.	0,05	99,11
104	b.d.l.	0,14	22,58	35,77	40,21	0,06	0,07	0,07	98,89
105	b.d.l.	0,05	21,51	35,70	42,25	b.d.l.	b.d.l.	0,04	99,54
106	b.d.l.	b.d.l.	21,36	35,60	42,30	b.d.l.	b.d.l.	0,05	99,31
107	b.d.l.	0,03	21,31	35,30	41,97	b.d.l.	b.d.l.	0,04	98,65
108	b.d.l.	b.d.l.	21,70	35,43	40,87	b.d.l.	0,08	0,06	98,14
109	b.d.l.	b.d.l.	21,06	35,24	41,14	b.d.l.	b.d.l.	0,04	97,48

Kupferkies

Messpkt.	As	Cu	Fe	Bi	S	Sb	Au	Ag	Pb	Zn	Total
12	0,06	34,87	29,59	b.d.l.	33,95	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0,04	98,52
13	0,06	34,85	29,09	b.d.l.	34,78	0,05	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0,05	98,88

Zinkblende

Messpkt.	As	Cu	Fe	Bi	S	Sb	Au	Ag	Pb	Zn	Total
18	0,07	0,41	4,00	b.d.l.	33,27	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	61,51	99,27

Anhang
Elektronenstrahl Mikrosonde

Probe CG18-1

Tetrahedrit

Messpkt.	Ag	Ni	S	Fe	As	Cu	Au	Co	Total	(ohne Zn)
82	1,87	b.d.l.	26,85	6,34	0,82	40,50	0,04	b.d.l.	76,42	
83	2,21	b.d.l.	26,77	6,51	0,94	39,78	b.d.l.	b.d.l.	76,21	
84	2,04	b.d.l.	26,75	6,41	0,67	40,45	b.d.l.	b.d.l.	76,32	
85	2,13	b.d.l.	26,75	6,42	0,82	40,10	b.d.l.	b.d.l.	76,22	
86	1,48	b.d.l.	26,74	6,29	0,93	40,25	b.d.l.	b.d.l.	75,69	

Messpkt.	As	Cu	Fe	Bi	S	Sb	Au	Ag	Pb	Zn	Total
5	1,00	37,85	1,57	b.d.l.	24,67	27,91	b.d.l.	0,94	b.d.l.	5,21	99,15
6	1,00	38,18	1,82	b.d.l.	24,69	29,12	b.d.l.	1,03	b.d.l.	5,02	100,86
7	0,97	37,67	1,36	b.d.l.	24,67	27,85	b.d.l.	0,92	b.d.l.	5,58	99,01
8	0,91	37,52	2,06	0,05	24,75	27,97	b.d.l.	1,03	b.d.l.	4,90	99,18
9	0,83	37,97	1,47	b.d.l.	24,75	29,28	b.d.l.	0,99	b.d.l.	5,76	101,04
15	0,91	37,48	5,49	b.d.l.	24,88	28,50	b.d.l.	1,39	b.d.l.	1,42	100,07
16	0,92	37,25	6,78	0,07	25,05	28,41	b.d.l.	1,91	b.d.l.	0,08	100,47
19	1,49	37,86	2,72	0,14	24,85	27,19	b.d.l.	0,86	b.d.l.	4,07	99,18
20	1,38	38,29	3,15	0,17	25,08	27,28	b.d.l.	0,85	b.d.l.	3,63	99,83
21	1,88	38,58	2,76	b.d.l.	24,74	27,50	b.d.l.	0,87	b.d.l.	3,91	100,25
23	2,63	38,68	3,40	b.d.l.	25,01	26,37	b.d.l.	0,94	b.d.l.	2,68	99,70
27	1,41	38,27	3,45	b.d.l.	25,02	28,38	b.d.l.	0,99	b.d.l.	3,16	100,68
28	1,44	37,81	3,06	b.d.l.	25,10	27,39	b.d.l.	0,92	b.d.l.	3,30	99,02
29	1,49	37,69	2,72	0,06	25,20	27,21	0,08	0,88	b.d.l.	3,88	99,21
30	1,20	38,18	3,18	b.d.l.	25,04	28,66	b.d.l.	1,00	b.d.l.	3,53	100,79
35	3,31	38,70	1,21	b.d.l.	25,32	25,06	b.d.l.	0,58	b.d.l.	6,08	100,26
36	1,07	38,58	2,38	b.d.l.	24,95	28,57	b.d.l.	0,94	b.d.l.	4,25	100,73
37	1,18	37,80	1,98	0,07	24,96	27,49	b.d.l.	0,79	b.d.l.	4,89	99,16
38	1,10	38,30	2,31	b.d.l.	24,79	28,55	b.d.l.	0,84	b.d.l.	4,49	100,38

Chalcostibit

Messpkt.	As	Cu	Fe	Bi	S	Sb	Au	Ag	Pb	Zn	Total
10	1,73	25,88	b.d.l.	0,48	25,44	46,26	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0,06	99,85
11	1,75	25,72	0,03	0,83	25,75	45,54	0,06	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	99,69
14	1,16	26,68	6,40	b.d.l.	27,07	37,19	b.d.l.	0,03	1,05	0,14	99,72
17	1,25	26,68	0,54	b.d.l.	25,64	45,96	b.d.l.	0,13	b.d.l.	0,07	100,27
22	1,74	25,99	0,23	b.d.l.	25,46	46,49	0,06	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	99,97

Bismuthinit

Messpkt.	As	Cu	Fe	Bi	S	Sb	Au	Ag	Pb	Zn	Total
31	b.d.l.	0,67	0,49	72,81	18,93	4,53	b.d.l.	b.d.l.	2,04	b.d.l.	99,47
32	b.d.l.	0,70	0,53	72,82	18,97	4,48	b.d.l.	b.d.l.	1,96	b.d.l.	99,46

Bournonit

Messpkt.	As	Cu	Fe	Bi	S	Sb	Au	Ag	Pb	Zn	Total
33	0,43	13,62	b.d.l.	b.d.l.	19,93	26,01	b.d.l.	b.d.l.	40,46	0,07	100,52
34	0,48	13,66	b.d.l.	b.d.l.	19,75	26,16	b.d.l.	b.d.l.	40,59	b.d.l.	100,64
39	0,63	0,28	2,40	b.d.l.	21,75	35,10	b.d.l.	b.d.l.	37,47	b.d.l.	97,62
40	0,64	13,53	0,05	b.d.l.	19,66	26,31	b.d.l.	b.d.l.	40,56	0,05	100,79
41	0,36	13,71	b.d.l.	b.d.l.	19,79	26,25	b.d.l.	b.d.l.	40,56	b.d.l.	100,66
42	0,47	13,64	0,05	b.d.l.	19,86	26,01	b.d.l.	b.d.l.	40,60	b.d.l.	100,63
43	0,52	13,65	0,06	b.d.l.	19,81	26,38	b.d.l.	b.d.l.	39,98	b.d.l.	100,39
46	0,41	13,95	0,75	b.d.l.	19,45	26,36	b.d.l.	b.d.l.	40,17	0,09	101,19

Anhang
Elektronenstrahl Mikrosonde

Probe CG18-1

Zinnkies

Messpkt.	As	Cu	Fe	Bi	S	Sb	Au	Ag	Pb	Zn	Total	(o. Sn)
25	b.d.l.	31,40	8,10	b.d.l.	31,01	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	5,31	75,82	
26	b.d.l.	31,21	8,35	b.d.l.	31,70	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	5,45	76,71	
Messpkt.	As	Cu	Fe	Bi	S	Sb	Au	Ag	Pb	Sn	Zn	Total
1	b.d.l.	30,38	8,51	b.d.l.	29,94	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	26,14	5,38	100,34
2	b.d.l.	30,11	9,08	b.d.l.	29,66	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	26,21	4,47	99,53
3	b.d.l.	30,70	9,48	b.d.l.	29,80	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	26,19	4,29	100,46
4	b.d.l.	30,36	8,69	b.d.l.	29,59	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	25,91	5,17	99,72
5	b.d.l.	30,62	8,36	b.d.l.	29,81	b.d.l.	0,08	b.d.l.	b.d.l.	26,54	4,99	100,40
6	0,06	30,60	8,88	b.d.l.	29,76	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	25,67	5,27	100,18
7	0,07	29,68	9,26	b.d.l.	29,75	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	26,39	5,28	100,35
8	b.d.l.	28,85	8,90	b.d.l.	30,12	b.d.l.	0,06	b.d.l.	b.d.l.	26,26	6,16	100,34
9	b.d.l.	30,08	8,60	b.d.l.	30,16	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	26,29	5,61	100,74
10	b.d.l.	29,28	9,00	b.d.l.	29,61	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	26,36	5,94	100,18

Flüssigkeitseinschlüsse

Tab. 1a; Flüssigkeitseinschlüsse CG2,
in Quarzader (in Granitoid)
Gruppe 1.

		Raman Peakflächen				
		optisch				
Blase						
Fi Nr.	Anteil	CO ₂ (1285)	CO ₂ (1388)	N ₂ corr.	H ₂ S	CH ₄
1	1	81635,8	138713,0	181773,4	0,0	75558,8
2	0,66	68747,6	98161,2	146737,4	0,0	58929,1
3	0,49	34234,5	57208,6	80387,9	0,0	30279,5
4	0,93	39588,7	63753,0	108015,4	0,0	38111,8
5	0,98	49197,4	86562,6	126758,4	5355,5	50309,5
6	0,91	71936,1	108226,0	2933,6	3824,1	12214,0
8	0,31	44021,9	94102,8	1693,0	4080,1	69543,8
9	0,75	105494,0	171845,0	6172,5	2023,9	13254,8
12	0,70	91890,7	153093,0	5352,2	1919,0	14924,5
13	0,57	97197,3	169430,0	5915,2	109,1	105321,0
14	0,29	17013,5	43703,2	530,3	0,0	25850,4
15	0,55	92856,5	155480,0	5438,9	3805,4	26387,1
22	0,23	99375,2	169024,0	7130,6	8994,6	30063,3
24	0,86	108322,0	169337,0	4413,7	8810,4	23342,4
29	-	71764,6	124211,0	3333,3	4389,7	34499,7
31	0,69	145403,0	242668,0	7628,2	10437,8	31141,2
32	0,40	52568,0	91593,0	8158,3	8273,8	31553,1
37	0,09	0,0	0,0	1233,5	0,0	10624,3
38	0,11	28796,0	39234,2	7642,4	0,0	40575,4
39	0,34	5186,2	5950,9	19393,7	0,0	100290,0
40	1	106763,0	165746,0	4088,7	1080,3	51372,7
42	1	91901,0	165451,0	4302,5	11732,8	16895,5
43	0,71	91635,1	138004,0	0,0	3592,8	21150,2
44	1,00	37752,0	61647,1	3995,7	3183,2	12473,0
45	0,24	18633,5	19169,5	1186,0	2702,8	2743,0
47	0,47	104574,0	10634,2	5844,4	4064,7	62152,3
48	0,44	75480,1	9224,3	4434,2	9740,8	43736,2
49	0,35	74570,2	12280,1	3401,7	8739,6	83722,8
50	0,48	58041,6	13536,2	1687,9	7644,3	32961,3
51	0,37	77587,7	11187,0	5083,2	0,0	7655,8
55	0,24	90025,5	235208,0	22819,5	0,0	47141,5
59	0,05	0,0	0,0	0,0	0,0	2357,6
62	0,32	74862,6	360047,0	8694,5	0,0	61194,5
64	0,39	86426,7	259989,0	7030,9	4194,1	106054,0
65	0,48	92146,2	179052,0	28718,5	1500,2	148195,0
66	0,29	19738,2	35417,4	1621,5	0,0	48094,2
67	0,13	18762,9	73165,9	22491,9	0,0	74859,6
69	0,37	95888,4	155752,0	4867,5	1269,7	42223,5
73	0,51	107858,0	171509,0	7667,8	7451,5	61408,6
74	0,19	104740,0	163526,0	6333,6	6690,2	59653,9
75	0,53	140396,0	224331,0	5659,6	8229,3	25439,2
76	1	52223,1	178371,0	2204,6	1569,5	16645,0
77	0,33	98811,2	168218,0	3845,7	6093,6	22678,4
78	0,67	107207,0	181871,0	4024,2	2353,8	37837,4
83	0,80	130952,0	239601,0	6012,1	7509,7	23376,0

Anhang
Flüssigkeitseinschlüsse

Tab. 1b; Flüssigkeitseinschlüsse CG2,
in Quarzader (in Granitoid)
Gruppe 1.

Mikrothermometrie						
Fi Nr.	Blase			Eis		Clathrat
	T_{nuc}	T_m	T_h (VL->V)	T_{nuc}	T_m	T_m
1	-96	-65,9	-142			
2	-97	-61,5	-143			
3	-99	-60,8	-144			
4	-99,9	-60,5	-144,6			
5	-99,9	-60,8	-143,4			
6	-97,3	-67,6				
8				-37,1	-4,20	
9	-96	-56				
12	-96	-57				8,10
13						
14						
15						
22	-96	-56,8		-29,2		8,50
24						
29						
31	-97,7	-57,2				
32				-15	-5,80	
37	-67	-59,7				
38						
39						
40	-100	-57,4				
42	-98			-27,5	-4,70	
43	-97	-56,7				
44	-78	-59,7			-14,10	
45	-96			-35	-4,20	
47	-98,4	-53,3		-41		8,10
48						
49						
50	-95	-56,9		-28		6,8
51						
55						
59				-50	-4,3	
62	-96	-57				2,6
64				-30	-3,6	
65		-59,6				
66						
67					-8,4	
69	-97,6					
73						
74	-98	-64				4,2
75		-54				3,6
76						
77	-98	-57,4				8,4
78	-98	-58,6				
83	-95	-58	24,9			8,9

Anhang
Flüssigkeitseinschlüsse

Tab. 2; Flüssigkeitseinschlüsse CG2,
in Quarzader (in Granitoid)

Gruppe 2.

Fi Nr.	optisch	Mikrothermometrie [°C]	
	Blase	Eis	
	Anteil	$T_{nuc.}$	T_m
10	0,20	-40	-7,9
11	0,12	-41,8	-11,1
19	0,12		
21	0,00		
25	0,18		
26	0,18		
27	0,18		
28	0,09		
33	0,00		
34	0,00		
35	0,10		
36	0,15		
46	0,17		
52	0,25		-8,5
53	0,24		-8,6
56	0,21	-50	-7,1
57	0,11	-50	-7,2
58	0,06		
60	0,00		
61	0,27		
63	0,14		
68	0,13		-10,8
70	0,00		
71	0,14		-5,8
72	0,00		
79	0,00		
80	0,00		
82	0,23		
85	0,04		

Anhang
Flüssigkeitseinschlüsse

Tab. 3; Flüssigkeitseinschlüsse CG9, A. in Kalzit

Fi Nr.	optisch	Mikrothermometrie [°C]				
	Blase	Eis	Hydrohalit		Blase	Total Fi
	Anteil	T_{nucl}	T_{m}	T_{m}	T_{nucl}	T_{h} (VL->L)
1	0,06		-29,9			72,3
2	0,05		-26,7			59,9
3	0,11		-28,5			79,0
4	0,05	-59,8	-25,2		74,8	105,7
5	0,06		-29,7			81,2
6	0,06		-29,2			150,1
7	0,06			-10,6		154,1
8	0,06	-73,6	-26,4			78,7
9	0,08	-71,6	-25,2			129,3
10	0,07		-26,6			119,4
11	0,05	-64,7	-24,7	30,3		165,0
12	0,05	-62,7	-25,2			159,0
13	0,00					
14	0,00					
15	0,00		-24,8			
16	0,06	-62,7	-26,6	-0,5		159,0
17	0,09	-62,7	-27,8	-7,0		
18	1,00					
19	1,00					
20	1,00					
21	0,04		-19,4			70,9
22			-23,6			
23			-26,4		92,7	137,2
25		-80	-26,2	-14,1	131	179,4
26			-25,8			
27			-26,4			
28		-85	-25,6			
29		-80	-25,4			
31			-31,4	-11,2		195,7
32		-59	-26,1	-9,3		197
x1						121,4
x2			-27,5			152,1
x3						167,9
x4			-20,7			106,5
x5			-26,0			120,4

Anhang
Flüssigkeitseinschlüsse

Tab. 4; Flüssigkeitseinschlüsse CG9,
B. in Grossular, erste Gruppe

Fi Nr.	optisch		Mikrothermometrie [°C]	
	Blase	Eis	$T_{nuc.}$	T_m
1	0		-54	-6,6
2	0,03		-54,4	-6,1
3	0,02		-53	-6,0
19	0,16		-60	-19,9
20	0		-62,8	-13,5
21	0,52		-68	-14,9
22	0,26		-58,3	-14,7
24	0			

Tab. 5; Flüssigkeitseinschlüsse CG9,
B. in Grossular, zweite Gruppe

Fi Nr.	optisch		Raman	Mikrothermometrie [°C]	
	Blase	Kristalle	x CH ₄	NaCl $T_{solv.}$	Total Fi T_h (VL->L)
4	0,22	hell	1	333	575
5	0,19	hell	1	330	578
6	0,22	hell	1	330	578
7	0,23	hell	1	325	578
8	0,24	opak, hell	1	333	579
9	0,23	hell	1	320	587
10	0,27	hell	1	323	540
11	0,18	hell	1	323	578
12	0,24	hell	1	333	575
13	0,24	hell	1		577
14	0,23	opak, hell	1		579
15	1?	hell	1		
16	0,19	opak, hell	1	343	576
17	0,24	hell	1		574
18	0,21	opak, hell	1		
23	0,22	hell	1	334	551

Anhang
Flüssigkeitseinschlüsse

Tab. 6; Flüssigkeitseinschlüsse CG16, in Diopsid

Fi Nr.	optisch	Raman		Mikrothermometrie				
	Blase Anteil	Blase x CH ₄	Kristalle	NaCl T _{solv}	NaCl T _{nuc.}	Total Fi T _h (VL->L)	Total Fi T _h (VL->V)	Blase T _{nuc.}
1	0,228	1						
2	0,266	1						
3	0,211	1						
4	0,214	1						
5	0,245	1		346	240	560		520
6	0,353	1				514		481
7	0,324	1				475		467
8	0,713	1	Kalzit				>590	
9	0,248	1	Kalzit	314	248	585		540
10	0,257	1				512		470
11	0,332	1	Kalzit					
12	0,215	1						
13	0,218	1	Kalzit					
14	0,411	1						
15	0,439	1				514		470
16	0,506	1	Kalzit				550	
17	0,252	1				497		465
18	0,293	1		303	200	573		540
19	0,213	1		308	175	554		520
20	0,211	1		316	150	532		499
x1						440		
x2						470		
x3						490		
x4						490		
x5						490		
x6						500		
x7						500		
x8						507		
x9						510		
x10						518		
x11						527		
x12						532		
x13						545		

Anhang
Flüssigkeitseinschlüsse

Tab. 7; Flüssigkeitseinschlüsse CG19, in Quarzader (in Meta-Arkose)
Gruppe 1.a.

optisch Raman Peakflächen						
Blase						
Fi Nr.	Anteil	CO ₂ (1285)	CO ₂ (1388)	N ₂ corr.	H ₂ S	CH ₄
11	1,000	124574,0	211459,0	7575,7	0,0	8789,5
16	0,718	154700,0	254909,0	15865,1	0,0	4669,2
18	0,838	111321,0	190047,0	12789,5	0,0	4856,3
20	0,435	151991,0	259605,0	16840,6	0,0	5251,4
22	0,814	126900,0	217550,0	14025,6	0,0	4218,1
23	0,779	138816,0	241798,0	13975,2	0,0	4217,4
24	0,949	137203,0	234212,0	13515,6	0,0	5100,7
25	0,572	114067,0	189393,0	11812,7	0,0	3852,0
50	0,533	148438,0	262123,0	6165,9	0,0	3670,1
51	0,948	61023,1	104541,0	3889,2	0,0	3303,2
52	0,588	110629,0	208064,0	3932,2	585,5	18651,5
53	0,548	53498,5	79162,0	2224,5	667,1	8999,2
54	0,547	44720,4	81212,7	1834,8	410,0	10553,3
55	0,476	97417,6	173217,0	3912,3	2001,8	39344,7
56	0,573	86175,5	155512,0	3005,8	2304,4	38380,0
57	0,564	84944,5	153304,0	3713,3	1662,5	22673,9
58	0,944	136342,0	247662,0	13687,2	0,0	4065,4
59	0,867	124691,0	218421,0	11656,3	0,0	3861,8
60	0,777	60378,7	105000,0	9514,2	0,0	3977,6
61	0,520	110497,0	198586,0	4303,5	2477,0	24319,5

Mikrothermometrie							
Fi Nr.	Eis	Blase			Clathrat		T Entmisch.
	T _{nuc.}	T _{nuc.}	T _m	T _h (VL->L)	T _h (VL->V)	T _m	
11	-	-95,8	-57,6	23,2		-	
16	-31	-93,9	-57,5	17,8		7,0	-169
18	-31	-95,8	-57,7	16,8		6,4	-174
20	-34	-96,8	-56,9	18,6		7,6	
22	-31	-96,5	-57,7	18,3		7,5	
23	-29,5	-95,3	-57,6	17,5		8,2	-171
24	?-30,5	-97,1	-57,9	17,5		?7,2	-165
25	-31,5	-97,6	-57,5	18,8		7,4	
50	-31,9	-96	-57,3	23,9		6,4	-182
51	-31,1	-94,4	-57,6	22,7		7,8	
52	-28,3	-96,2	-57,1	-		8,6	
53	-28,3	-96,2	-56,8		22,3	8,7	
54	-29,8	-96,4	57,1	-		8,1	
55	-28	-97,6	-57,4		23,0	9,2	
56	-28,4	-97,3	-57,2		21,9	9,4	
57	-30,1	-96,9	-56,9	-		8,3	
58	-31,4	-95,6	-57,9	17,7		7,7	
59	-31,4	-94,9	-57,9	17,7		7,4	-172
60	-33,9	-97,8	-58	12,4		7,8	
61	-31,6	-97,4	-57,3	23,9		8,6	

Anhang
Flüssigkeitseinschlüsse

Tab. 8; Flüssigkeitseinschlüsse CG19, in Quarzader (in Meta-Arkose)
Gruppe 1.b.

optisch		Raman Peakflächen					Mikrothermometrie		
Blase							Eis		Total Fi
Fi Nr.	Anteil	CO ₂ (1285)	CO ₂ (1388)	N ₂ corr.	H ₂ S	CH ₄	T _{nuc.}	T _m	T _h (VL->L)
1	0,057	9080,7	15870,2	0,0	0,0	1617,3	-38	-5,6	166,1
4	0,086	80070,8	129831,0	6942,6	0,0	20102,6	-39	-6,0	184,9
5	0,104	45816,2	94066,9	12826,3	0,0	21428,9	-38	-4,4	158,6
6	0,085	56178,4	104524,0	5318,1	0,0	8884,8	-39	-6,4	131,2
7	0,085	36099,3	12794,3	2952,1	0,0	3738,1	-40	-4,6	160,7
8	0,097	7231,5	43051,5	348,4	0,0	2219,5	-39	-4,8	155,4
13	0,086	42512,9	89629,8	6359,7	0,0	12250,3	-40	-5,6	145,7
14	0,076	26096,1	61752,6	2718,8	0,0	6160,6	-40	-6,1	170,8
15	0,093	99242,8	236758,0	10251,7	0,0	32128,0	-40	-5,9	161,8
26	0,142	31019,1	72200,4	4411,5	0,0	5177,8	-34	-3,4	185,6
46	0,157	4921,6	27814,3	411,5	0,0	2811,1	-43	-3,7	187,6
47	0,125	3830,7	10695,6	273,2	0,0	0,0	-44	-3,8	184,7
48	0,146	2459,4	9226,0	221,2	0,0	213,0	-44	-3,9	186,9
49	0,132	3965,2	28274,2	327,3	0,0	0,0	-43	-3,8	188,4

Tab. 9; Flüssigkeitseinschlüsse CG19,
in Quarzader (in Meta-Arkose), Gruppe 2.

optisch		Mikrothermometrie [°C]		
Blase		Eis	Total Fi	
Fi Nr.	Anteil	T _{nuc.}	T _m	T _h (VL->L)
17	0,087	-39,5	-7,2	171,1
19	0,052	-41,4	-7,3	105,4
21	0,086	-39,8	-7,8	130,4
27	0,095	-45,7	-8,0	142,1
28	0,088	-45,6	-8,2	132,0
29	0,090	-45,4	-4,9	107,1
30	0,118	-52,2	-6,7	129,1
31	0,089	-52,3	-9,8	124,8
32	0,114	-47,4	-3,9	133,9
33	0,062	-45,9	-8,3	129,9
34	0,071	-53,5	-8,1	125,0
35	0,087	-46	-8,2	130,5
36	0,087	-74	-8,0	119,9
37	0,118	-44	-7,9	110,0
38	0,095	-44	-1,6	145,0
39	0,049	-44,1	-2,6	141,5
40	0,069	-40,3	-2,4	143,5
41	0,081	-41	-5,6	154,5
42	0,071	-41	-5,2	139,0
43	0,153	-41	-5,3	159,3
44	0,066	-43	-5,4	112,0
45	0,151	-44	-5,9	143,0