

Dominik Sorger

**Petrologische und Petrographische Untersuchung
granulitfazieller Metamorphite der Böhmisches Masse**

Bakkalaureatsarbeit

An der naturwissenschaftlichen Fakultät der
Karl-Franzens Universität Graz

unter der Betreuung von Prof. Dr. Christoph Hauzenberger
Institut für Erdwissenschaften, Abteilung für Mineralogie und Petrologie

Graz, Dezember 2012

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, ohne die eine Fertigstellung dieser Arbeit nicht möglich gewesen wäre. Besonderer Dank gilt hierbei Prof. Dr. Christoph Hauzenberger, der mir immer mit Rat und Tat zur Seite stand und mir auch viel Geduld entgegenbrachte. Weiters möchte ich Herrn Jürgen Neubauer danken, für die Unterstützung bei der Arbeit mit dem Rasterelektronenmikroskop. Zu guter Letzt sei auch noch Herr Anton Pock erwähnt, der bei der Erstellung der Dünnschliffe eine große Hilfe war.

Abstract

Die bei dieser Arbeit untersuchten Proben wurden einerseits von Dr. Manfred Linner (MA-1 bis ML09-16) und andererseits bei einem Geländeaufenthalt mit Prof. Dr. Christoph Hauzenberger und Dr. Manfred Linner selbst genommen (BA1-BA33). Aus einem ausgewählten Teil der Proben wurden Dünnschliffe angefertigt, welche im Lichtmikroskop petrographisch und im Rasterelektronenmikroskop mineralchemisch untersucht wurden. Die Daten der chemischen Analysen wurden mit PET (Petrological Elementary Tools for Mathematica) (*Edgar Dachs, 2004*) verrechnet. Anschließend wurde mithilfe von geothermobarometrischen Plots versucht die Druck- und Temperaturbedingungen bei der Metamorphose zu rekonstruieren.

Bei den untersuchten Gesteinen handelt es sich um magmatische Gneise, Cordierit-Granat-Granulite, mafische Granulite und Amphibolite, welche bei hoher Temperatur (~770°C und 5-6 kbar) metamorph überprägt und teilweise aufgeschmolzen wurden. Besonderes Augenmerk wurde auf einen möglichen Zonarbau der Granate und auf das Vorhandensein bzw. mögliche Bildungsreaktionen von Cordierit gelegt. Die Granate zeigten in den untersuchten Proben eine homogene Verteilung, nur am Rand konnte eine retrograde Diffusionszonierung festgestellt werden. Cordierite wurden zumindest teilweise auf Kosten des Granates durch die Reaktion $\text{Grt} + \text{Sil} + \text{Qtz} = \text{Crd}$ gebildet.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Aufgabenstellung	1
1.2 Geographischer Überblick	3
1.3 Geologischer Überblick	3
2. Analytische Methoden	8
2.1 Durchlichtmikroskopie	8
2.2 Rasterelektronenmikroskopie	8
3. Petrographie	9
3.1 Probe ML04-17	10
3.2 Probe ML04-68	11
3.3 Probe ML05-15	13
3.4 Probe ML05-16	15
3.5 Probe ML07-1B	17
3.6 Probe ML09-16	20
3.7 Probe BA1	22
3.8 Probe BA7	23
3.9 Probe BA10	25
3.10 Probe BA33	27
4. Mineralchemie	28
4.1 Probe ML04-68	28
4.2 Probe ML05-15	30
4.3 Probe ML05-16	32
4.4 Probe ML07-1B	35
4.5 Probe ML09-16	38
4.6 Probe BA7	41
4.7 Probe BA10	44
5. Geothermobarometrie	49
6. Diskussion und Zusammenfassung	52
7. Literatur	53
8. Anhang	54

1 Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

Ziel der Arbeit ist es, Granulite der Böhmisches Masse mittels petrographischer und mineralchemischer Methoden zu untersuchen und zu vergleichen. Thermobarometrische Methoden wurden benutzt, um die metamorphen Bildungsbedingungen zu eruieren.

Von den insgesamt 52 aus dem untersuchten Gebiet genommenen Proben wurden die beim Geländeaufenthalt selbst genommenen (BA1-BA33) anhand von gemessenen GPS Daten in eine Karte (*Abb. 1*) eingetragen und beschriftet. Die von Dr. Manfred Linner stammenden Proben (MA-1 bis ML09-16) wurden schematisch in die Karte eingetragen, jedoch wegen Überschneidungen ohne genauere Beschriftung.

Insgesamt arbeiteten drei Personen an diesem Projekt und behandelten eine gleiche Anzahl der vorhandenen Proben. Dazu zählen: Donia Daghighi, Katica Simic und Dominik Sorger.

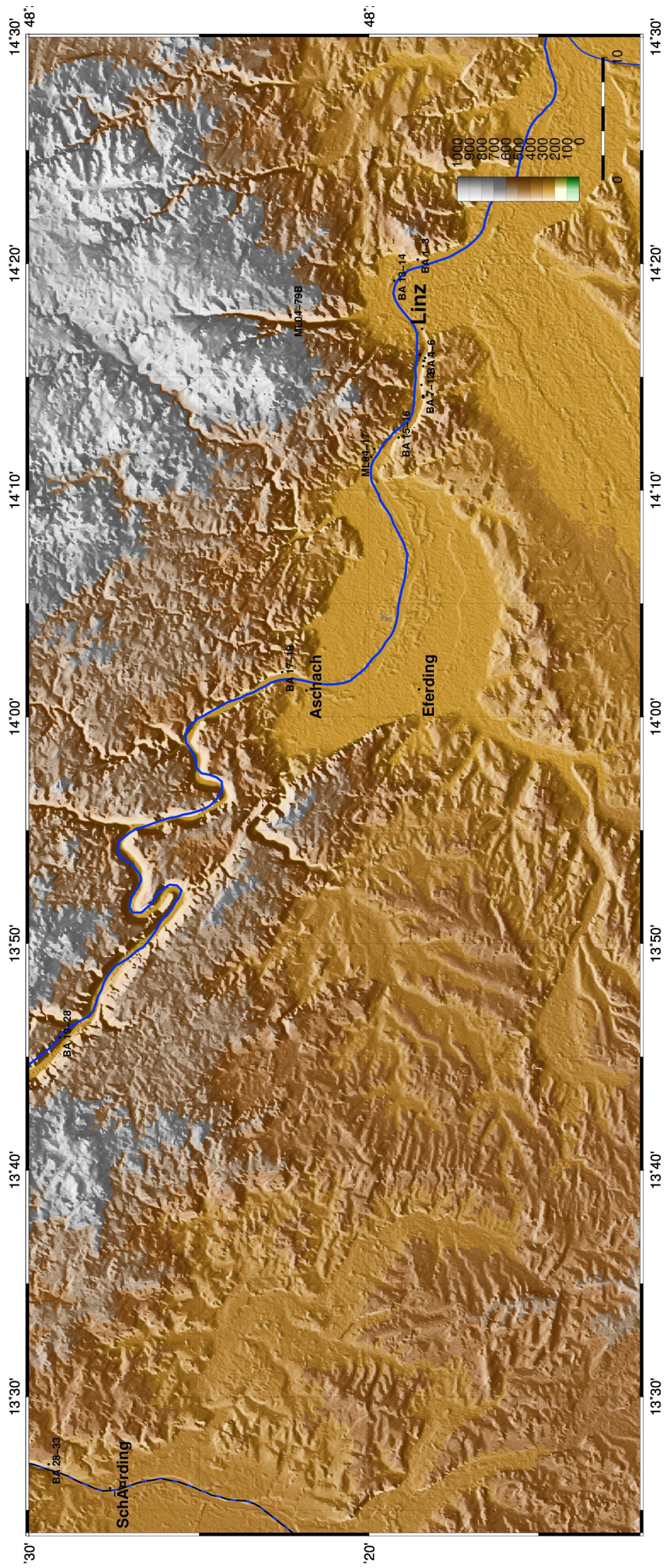


Abbildung 1: Probenkarte

1.2 Geographischer Überblick

Oberösterreich, mit der Landeshauptstadt Linz, befindet sich im nordwestlichen Teil Österreichs. Im Süden grenzt es an Salzburg und die Steiermark, im Westen an Deutschland, im Norden an Tschechien sowie im Osten an Niederösterreich. Mit einer Fläche von 11.982 km² ist Oberösterreich das viertgrößte, die rund 1,4 Millionen Einwohner machen es bevölkerungsmäßig zum drittgrößten, Bundesland Österreichs.

Die traditionelle Aufteilung Oberösterreichs sieht wie folgt aus: Traunviertel, Mühlviertel, Hausruckviertel und das Innviertel.

Oberösterreich hat Anteil an drei Großlandschaften: der Böhmisches Masse, die vorwiegend nördlich der Donau liegt und sich als waldreiches Hochland mit Mittelgebirgsrücken zeigt, dem Alpenvorland, wo reich gegliedertes Hügelland mit weitgehend ebenen Schotterflächen wechselt, und den Alpen mit den dicht bewaldeten Bergen der Flyschzone und Kalkvoralpen, sowie den schroffen Gebirgen der Kalkalpen. Zwischen diesen Großlandschaften vermitteln das Donautal am Südrand der Böhmisches Masse und das oberösterreichische Seengebiet am Alpenrand (Linner, Mandl und Rupp, 2011). Das Donautal zeichnet sich durch einen Wechsel von Schluchtstrecken und ausgedehnten Auen aus, der sich durch epigenetisches Einschneiden der Donau am Südrand der Böhmisches Masse entwickelte. So ist die Donau von Passau bis Aschach, von Ottensheim bis Linz und ab Ardagger als Schlucht in die kristallinen Gesteine eingeschnitten (Linner, Mandl und Rupp, 2011).

1.3 Geologischer Überblick

1.3.1. Moldanubikum

Der Untergrund im behandelten Gebiet ist zu einem großen Teil durch Gesteine des **Moldanubikums** aufgebaut. Dieses bildet im nördlich der Donau gelegenen Mühlviertel den Südrand des Böhmisches Granitmassivs und zeichnet sich durch hoch metamorphe und anatektische Gesteine der exhumierten unteren und mittleren Kruste aus.

Es wird als interner Teil des variszischen Orogens gedeutet, das durch Konvergenz zwischen den Paläokontinenten Gondwana und Laurussia im Devon und Karbon gebildet wurde. Um 360 Ma kollidierten in diesem Bereich kontinentale Krustenstücke, was zur Bildung des Moldanubikums führte. Durch anhaltende Konvergenz kam es um 350-340 Ma zur Exhumation von Granuliten der Unterkruste und deren Einbindung in den Deckenbau, wodurch sie in eine hohe tektonische Position gelangten und über die schwächer metamorphen Einheiten des Moravikums geschoben wurden. Magmatismus setzte ab dem mittleren Karbon bis zur Karbon/Perm-Grenze (330-300 Ma) ein, indem es zur Bildung granitischer und granodioritischer Schmelzen kam, die in die moldanubischen Decken und das Bavarikum intrudierten. Ursache hierfür war vermutlich ein zuvorgegangener Verlust von Teilen der Mantellithosphäre, die sich durch die variszische Orogenese verdickt hatte. Mögliche Prozesse die zu so einem Materialverlust führen sind "Mantle Downwelling (Convective Removal)" oder Delamination.

1.3.2. Südböhmischer Batholith

Die Gesteine des **Südböhmischen Batholiths** bilden den Großteil des Mühlviertels und zählen zu diesem karbonen Intrusionsereignis. Sie sind in der Karte in violetten Farben dargestellt und durch den grobkörnigen Weinsberger und den später intrudierten, feinkörnigen Mauthausener Granit repräsentiert (vgl. Tab. 1, Nr. 206, 222, 223). Im Bereich südlich der Pfahlstörung bilden Weinsberger Granit und Schlierengranit die dominante Lithologie.

1.3.3. Bavarikum

Die **bavarischen Einheiten** befinden sich vorwiegend südwestlich der dextralen Pfahlstörungszone (F.K.Bauer, 1980), die NW-SE-streicht und teilweise entlang der Großen Mühl verläuft (Weblink). Im Mühlviertel liegen sie allerdings vorwiegend westlich der Rodlstörung, im Bereich Linz/St.Magdalena – Bad Leonfelden – Ottensheim, und sind in Abb. 2 in Form eines orange-färbigen Keils aus Perlgneis (vgl. Tab. 1, Nr. 239) zu sehen. Im Hausruck- und im Innviertel schließen sie nach Süden unmittelbar an die Donau an und treten im Bereich zwischen Engelhartzell und Niederkappel kleinräumig nördlich der Donau auf.

Das Bavarikum wird im Vergleich zu den moldanubischen Decken als später exhumiertes Krustenstück und eigenständige tektonische Einheit innerhalb des Moldanubikums betrachtet.

Lithologisch setzt es sich aus Paragneis-Migmatiten mit hohem Aufschmelzungsgrad und aus verschiedenen Graniten zusammen. Auch Amphibolit, Graphitgneis, Marmor und Kalksilikatfels treten auf. Die Bildungstemperaturen für Paragneise, Migmatite, Amphibolite, Marmore, Quarzite und Orthogneise lagen bei ca. 770°C in Bildungstiefen von bis zu 25 km (Weblink). Die 2 wesentlichen Prozesse im Bavarikum stellen die Intrusion des Weinsberger Granit und darauffolgende Hochtemperatur/Niedrigdruckmetamorphose und Migmatisierung dar (Linner, Mandl und Rupp, 2011). Die Migmatisierung von Paragesteinen führte um 315 Ma zur Bildung von cordieritführendem Biotitgranit. Der bavarische Schlierengranit entstand durch Vermischung von älterem aufschmelzendem Paragneis mit intrudierendem Weinsberger Granit. Um etwa 290 Ma war das Bavarikum mit samt seinen Intrusionen abgekühlt.

1.3.4. Alpidische Molasse, Paläogen und Neogen auf der Böhmischen Masse

Nach einer langen Erosionsphase im Paläogen kam es im Obereozän zu einer erneuten Transgression aus der Tethys nach Norden hin. Aus diesem Ereignis entwickelte sich ab dem Unteroligozän zwischen dem europäischen Vorland (Norden) und den Alpen (Süden) das marine Molassebecken. Die Sedimente dieses Beckens werden in tektonisch unveränderte (autochtone), abgescherte und transportierte (allochtone) und mit dem Untergrund umgelagerte (paraautochtone) Molasse unterteilt. Die Molassesedimentation endete mit der Ablagerung des Hausruckschotter.

Molasseablagerungen treten im Arbeitsgebiet nur untergeordnet als oligozäne bis miozäne Vorlandmolasse in Form der marinen Plesching-Formation, Linzer Sand und etwa gleichaltrigem Schlier (Kiscellium-Egerium) auf und sind durch türkise und hellblaue Farbtöne gekennzeichnet. Der Schlier im Bereich südlich von Schärding stammt aus dem Ottnangium.

1.3.5. Pleistozän bis oberstes Neogen

Die Pleistozän /Neogen-Wende ist mit einem weltweiten Abkühlungsereignis und damit einhergehendem Eisaufbau und Lössablagerungen korreliert. Die ältesten Ablagerungen dieses Abschnitts bilden quarzreiche terrassenartige Restschotterkörper, die heute in verschiedenen Höhen vorliegen (*vgl. Tab. 1, Nr. 37*). Aus diesen Restschottern stammen die Deckenschotter des Günz (ältere Deckenschotter). Deckenschotter und eiszeitliche Lössablagerungen sind durch gelbe Farbtöne gekennzeichnet und treten nicht großflächig auf.

Tabelle 1: verändert nach der Legende aus "Geologische Karte von Oberösterreich 1:200 000; Rupp, Linner Mandl, 2011"

	Bezeichnung	Beschreibung	Nr.
Pleistozän bis oberstes Neogen	Würm	Verwitterungslehm, Lehm überwiegend umgelagert, Würm und älter	12
		Löss und Lösslehm aus verschiedenen Eiszeiten, an der Oberfläche vorwiegend Würm	15
	Mindel	Jüngerer Deckenschotter, meist unter Löss/Lösslehm-Bedeckung	29
	Günz	Älterer Deckenschotter, meist unter Löss/Lösslehm-Bedeckung	33
	oberstes Neogen bis Altpleistozän	Schotter in verschiedenen Höhenlagen	37
Alpid. Molasse, Paläogen, Neogen auf Böhm. Masse	Vorlandmolasse	Plesching-Formation (Phosphoritsande, fossilreiche Grobsande), marin; unteres Oligozän	67
		Linzer Sand, Melker Sand, Sandstein von Wallsee u. Perg, marin; Kiscellium- Egerium	77
Moldanubikum (Kristallin der Böhmischen Masse)	Südböhmischer Batholith	Mauthausener Granit; fein- bis mittelkörnige, hellgraue und massige I-Typ-Biotitgranite bis -Granodiorite	206
		Weinsberger Granit; Grob- bis riesenkörniger Biotitgranit, Großkalifeldspäte	222
		Weinsberger Granit - Randbereich; Grob- bis riesenkörniger Biotitgranit, Großkalifeldspäte	223
	Bavarikum	Schärdinger Granit; Mittelkörniger S-Typ-Biotitgranit, Cordierit führend, biotit- und cordieritreiche Restitschollen	232
		Schlierengranit; grobkörniger Granit bis Granodiorit, schlierig, oft rötliche Großkalifeldspäte	235
		Cordieritreicher-Migmatit - Typ Wernstein; massiger, grob strukturierter Migmatit, biotit- und ordieritreiche oder feldspatreiche Schlieren	237
		Diatektischer Paragneis ("homogenisierter Perlgneis"); weitgehend homogener, teils massiger Migmatit mittelkörnig, z.T. Paragneis-Schollen	238
		Metablastischer/metatektischer Paragneis ("Perlgneis"), Biotitreicher, fein- bis mittelkörniger Paragneis bis Migmatit, oft Cordierit führend und mit Paragneis-Relikten, z.T. schlierig	239
		Übergangszone von Paragneis zu anatektischem Paragneis	240
		Paragneis ("Schiefergneis"); Biotitreicher Paragneis mit Sillimanit, Cordierit und Granat; feinkörniger Biotit-Plagioklasgneis	241
		Paragneise im Kropfmühl-, Donauleiten- und Herzogsdorf-Komplex; feinkörnig grauer Paragneis, teils gebändert; migmatitischer Paragneis mit pegmatoiden Lagen	242
		Amphibolit	245

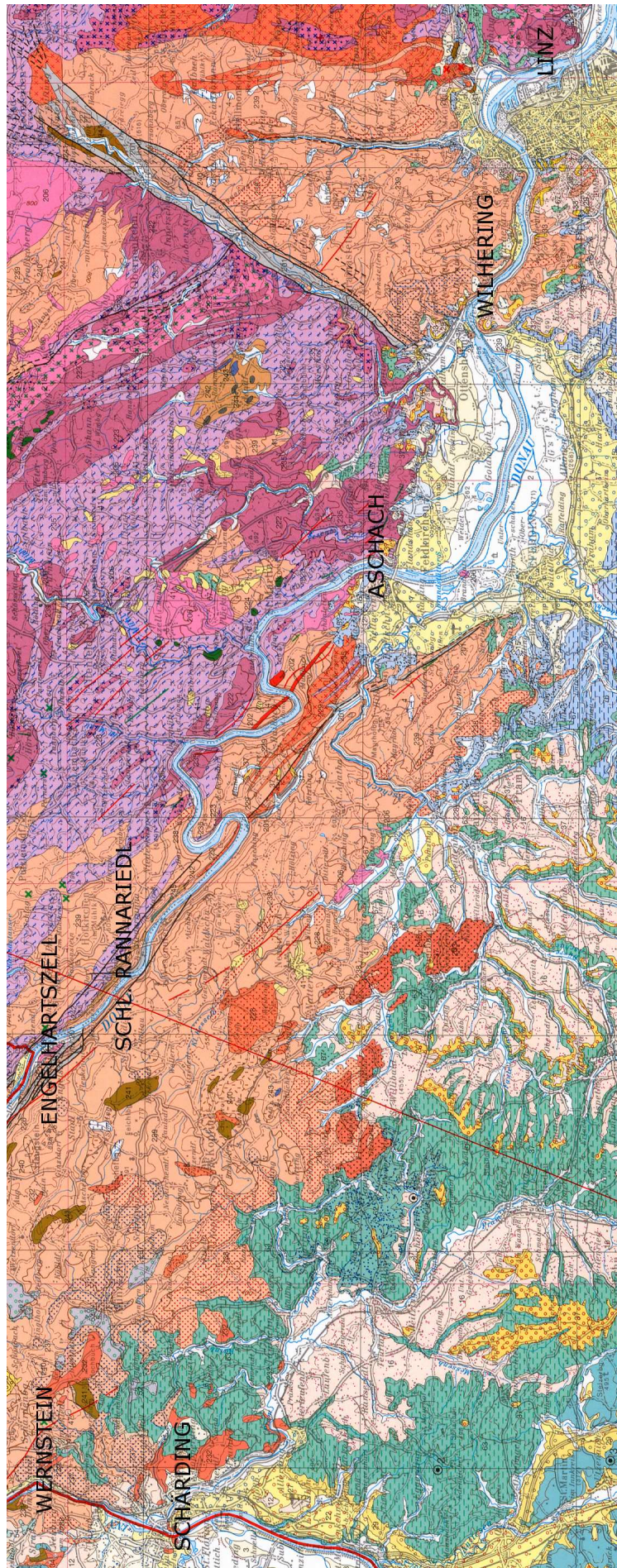


Abbildung 2: Geologische Karte, verändert nach
“Geologische Karte von Oberösterreich 1 : 200.000”,
Rupp, Linner, Mandl 2011

2 Analytische Methoden

2.1 Durchlichtmikroskopie

Von den in der Probenliste (*Tab. 3*) markierten Proben wurden Dünnschliffe angefertigt und mit lichtmikroskopischen Methoden untersucht, der Mineralbestand bestimmt und markante Stellen fotografiert. Sieben der zehn angefertigten Schliffe wurden ausgewählt und mit dem Rasterelektronenmikroskop chemisch analysiert.

2.2 Rasterelektronenmikroskopie

Die mineralchemischen Analysen mit dem Rasterelektronenmikroskop JEOL-JSM-6310 wurden im Bereich Mineralogie und Petrologie am Institut für Erdwissenschaften durchgeführt. Vor den Messungen wurden die polierten Dünnschliffe noch mit Kohlenstoff bedampft um sie elektrisch leitend zu machen.

Die Elemente Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Ba, Cl und K wurden mit dem energiedispersiven Detektor (EDX), die Elemente Na und F mit dem wellenlängendispersiven Detektor (WDX) gemessen. Die dabei verwendeten Elementstandards sind in der unten stehenden Tabelle (*Tab. 2*) aufgelistet. Zusätzlich wurden BSE (Back Scattered Electrons) Bilder von den gemessenen Stellen erstellt.

Tabelle 2: Standards der REM-Analysen

Si	Adular
Ti	Titanit
Al	Adular
Fe	Granat
Mn	Rhodonit
Mg	Granat
Ca	Wollastonit
Ba	Barit
Na	Jadeit
K	Adular
F	F-Phlogopit
Cl	Atacamit

3 Petrographie

Die in der Probenliste (Tab. 3) markierten Proben wurden unter dem Lichtmikroskop untersucht. Die Proben ML04-68, ML05-15, ML05-16, ML07-1B, ML09-16, BA7, BA10 wurden zusätzlich unter dem Rasterelektronenmikroskop chemisch analysiert.

Tabelle 3: Probenliste und Mineralbestand

Probe	Ort	GPS N	GPS E	Biotit	Granat	Cordierit	Clinopyroxen	Orthopyroxen	Amphibol	Plagioklas	Kalifeldspat	Alumosilikat	Lithologie	Anmerkung
MA-1		48-18,410	014-14,168										Al-reicher Migmatit, „Kinzigit“ quarzitische Paragneis	Grt zoniert
ML04-6B		48-18,493	014-15,976										Migmatit, grobkörnig	
ML04-8A		48-18,489	014-16,001										metablastischer Grt-Bt-Paragneis	
ML04-11		48-18,345	014-15,840											
ML04-14B		48-18,372	014-15,707	x		x				x	x		Crd-Migmatit	
ML04-17		48-20,101	014-11,403	x						x	x		homogener Migmatit	Magmatische Textur
ML04-58		48-18,403	014-15,477	x		x				x	x		Crd-Migmatit	Flockiger Graphit
ML04-68		48-18,454	014-14,652	x	x					x			Grt-Bt-Paragneis	
ML04-78		48-19,935	014-11,475	x	x					x	x		Grt-Bt-Paragneis, mylonitisch	Grt-Abbau
ML04-79B		48-22,307	014-17,745	x	x				x	x			Kalksilikatfels	
ML05-13		48-18,391	014-14,098										Grt-Bt-Paragneis	Tripelpunkttextur
ML05-15		48-18,398	014-14,129	x					x	x			Amphibolit	
ML05-16		48-18,403	014-14,163	x	x	x				x	x	x	Al-reicher Migmatit, „Kinzigit“	Grt zoniert
ML05-17A		48-18,405	014-14,173										Al-reicher Migmatit, „Kinzigit“	Grt zoniert
ML05-17B		48-18,405	014-14,173	x	x	x				x	x	x	Al-reicher Migmatit, „Kinzigit“	Grt zoniert
ML05-19B		48-18,134	014-14,213										Crd-Migmatit	
ML07-1A		48-19,844	014-11,832	x	x	x				x	x		Grt-Crd-Migmatit	
ML07-1B		48-19,844	014-11,832	x	x	x				x			Grt-Crd-Migmatit	Reaktion Grt+Sil zu Crd
ML09-16		48-18,238	014-15,954	x			x	x	x	x			Mafischer Granulit	Tripelpunkttextur
BA1	Plesching, Gruber Stein	48-18,563	014-20,183	x							x	x	Migmatischer Bt-Paragneis	
BA2	Plesching, Gruber Stein	48-18,563	014-20,183										Paragneis	Übergang Schmelze
BA3	Plesching, Gruber Stein	48-18,563	014-20,183										Paragneis Scholle	
BA4	Steinbruch Margarethen	48-18,386	014-15,716	x		x				x	x	x	Crd-Migmatit	
BA5	Steinbruch Margarethen	48-18,386	014-15,716										Feinkörniger Gneis	
BA6	Steinbruch Margarethen	48-18,386	014-15,716										Feinkörniger Gneis	
BA7	Donautal-Hainzenbachtal	48-18,415	014-14,116	x	x			x		x			Grt-Bt-Gneis	
BA8	Donautal-Hainzenbachtal	48-18,415	014-14,116	x	x	x				x	x	x	Grt-Crd-Migmatit	
BA9	Donautal-Hainzenbachtal	48-18,415	014-14,116										Grt-Crd-Migmatit	
BA10	Donautal-Hainzenbachtal	48-18,415	014-14,116	x	x	x					x	x	Grt-Crd-Migmatit	
BA11	Donautal-Hainzenbachtal	48-18,415	014-14,116										Grt-Crd-Migmatit	
BA12	Donautal-Hainzenbachtal	48-18,415	014-14,116										Grt-Granitgneis	
BA13	Wilhering	48-19,251	014-19,251										Grt-Crd-Fels	
BA14	Wilhering	48-19,251	014-19,251										Crd-Gneis, feinkörnig	
BA15	Wilhering	48-19,124	014-12,328										Bt-Gneis	gut geschiefert
BA16	Wilhering	48-19,124	014-12,328										Bt-Crd-Gneis	
BA17	Oberlandshaag	48-22,554	014-01,980										Monzonit	
BA18	Oberlandshaag	48-22,669	014-01,936										„Schlieren“ Granit	
BA19	ehem. Steinbruch Rannariedl	48-29,100	014-45,855										Paragneismylonit	
BA20	ehem. Steinbruch Rannariedl	48-29,100	014-45,855										Paragneismylonit, feinkörnig	
BA21	ehem. Steinbruch Rannariedl	48-29,100	014-45,855										Paragneis/Kalksilikat Mylonit	
BA22	ehem. Steinbruch Rannariedl	48-29,100	014-45,855										Kalksilikatmylonit	
BA23	ehem. Steinbruch Rannariedl	48-29,100	014-45,855										Kalksilikat	
BA24	ehem. Steinbruch Rannariedl	48-29,100	014-45,855										Kalksilikat	
BA25	ehem. Steinbruch Rannariedl	48-29,100	014-45,855										Kalksilikatmarmor, grobkörnig	
BA26	ehem. Steinbruch Rannariedl	48-29,100	014-45,855										Kalksilikatschiefer	retrograd deformiert
BA27	ehem. Steinbruch Rannariedl	48-29,100	014-45,855										Kalksilikat	
BA28	ehem. Steinbruch Rannariedl	48-29,100	014-45,855										Bt-Gneis, feinkörnig	streicht anders aus
BA29	Wernstein	48-29,101	014-45,856	x	x	x				x	x		Bt-Crd-Migmatit	
BA30	Wernstein	48-29,102	014-45,857										Migmatit	große Crd Schlieren
BA31	Wernstein	48-29,103	014-45,858										Migmatit	große Crd Schlieren
BA32	Wernstein	48-29,104	014-45,859	x		x				x	x		Migmatit	große Crd Schlieren
BA33	Wernstein	48-29,424	013-27,021	x					x	x			Migmatit	aufgeschmolzen, rekristallisiert

3.1 Probe ML04-17

Probe ML04-17 ist ein großteils aufgeschmolzener Migmatit mit magmatischer Textur. Die Hauptbestandteile bilden Plagioklas, Kalifeldspat, Quarz und Biotit (*Abb. 3*). Die Feldspäte haben Korngrößen von etwa 0,5mm, die Biotite sind größer mit etwa 0,5 bis 1,5 mm.

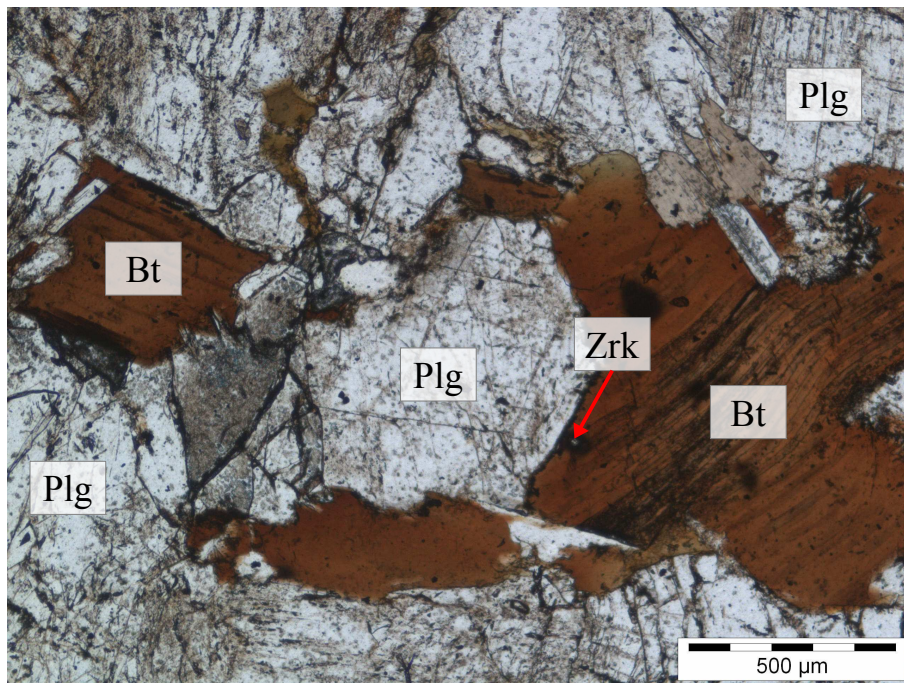


Abbildung 3: Lichtmikroskop-Bild ML04-17

Viele Biotite haben Einschlüsse, vor allem von Zirkon (30-100µm). Durch den radioaktiven Zerfall von U und Th im Zirkon wird das Kristallgitter des Biotits zerstört und um den Zirkon bilden sich dunkle pleochroitische Höfe (*Abb. 4*).

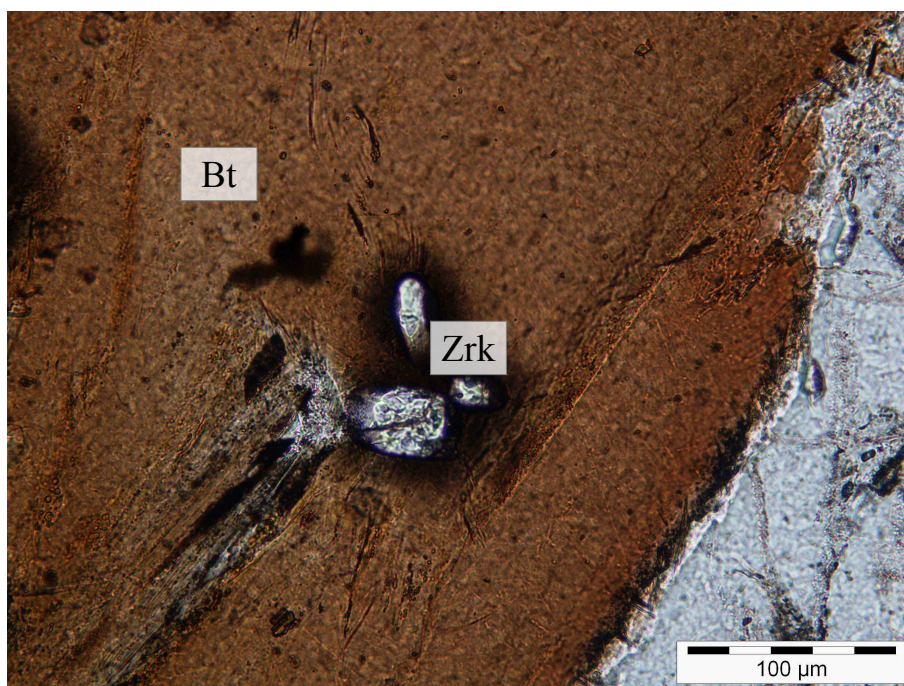


Abbildung 4: Lichtmikroskop-Bild ML04-17

3.2 Probe ML04-68

Probe ML04-68 ist ein Granat Biotit Paragneis. Er zeigt einen Lagenwechsel von hellen Mineralen, hauptsächlich Plagioklas und Quarz und dunklem Biotit (*Abb. 5*). Die Biotite bilden die Schieferung ab und haben einen dunklen rotbraunen Farbton, Korngrößen von 0,5 bis 2 mm und zeigen einen stark ausgeprägten Pleochroismus.

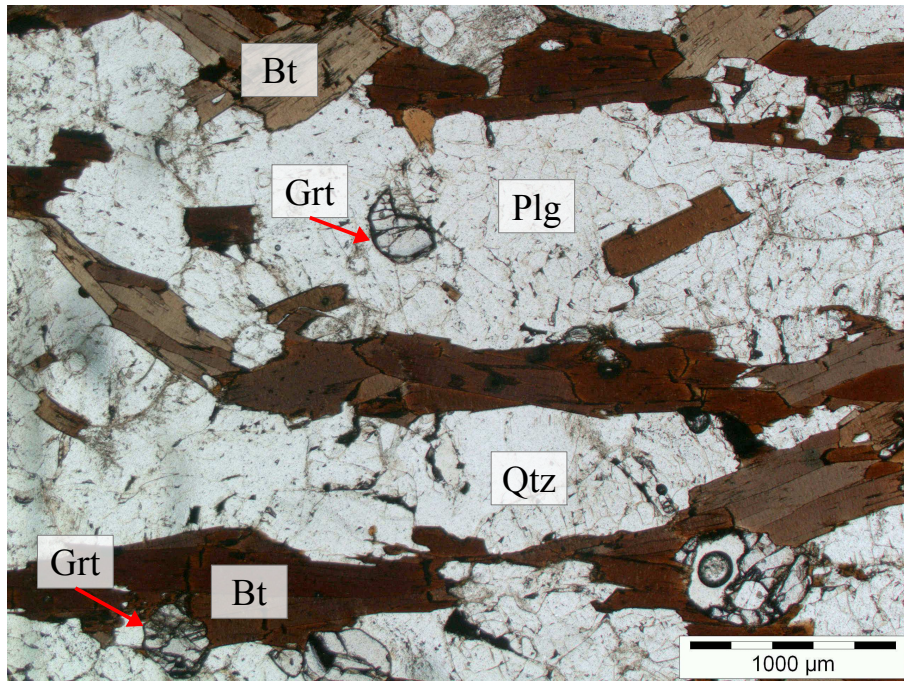


Abbildung 5: Lichtmikroskop-Bild ML04-68

Sowohl in den hellen als auch in den dunklen Lagen finden sich vereinzelte Granatkörner, die jedoch meist nicht größer sind als 1mm. Die größeren Granatkörner sind teilweise komplett von Biotit umwachsen, die jedoch keine deutliche Reaktionsbeziehung zwischen beiden Mineralen anzeigen (*Abb. 6*).

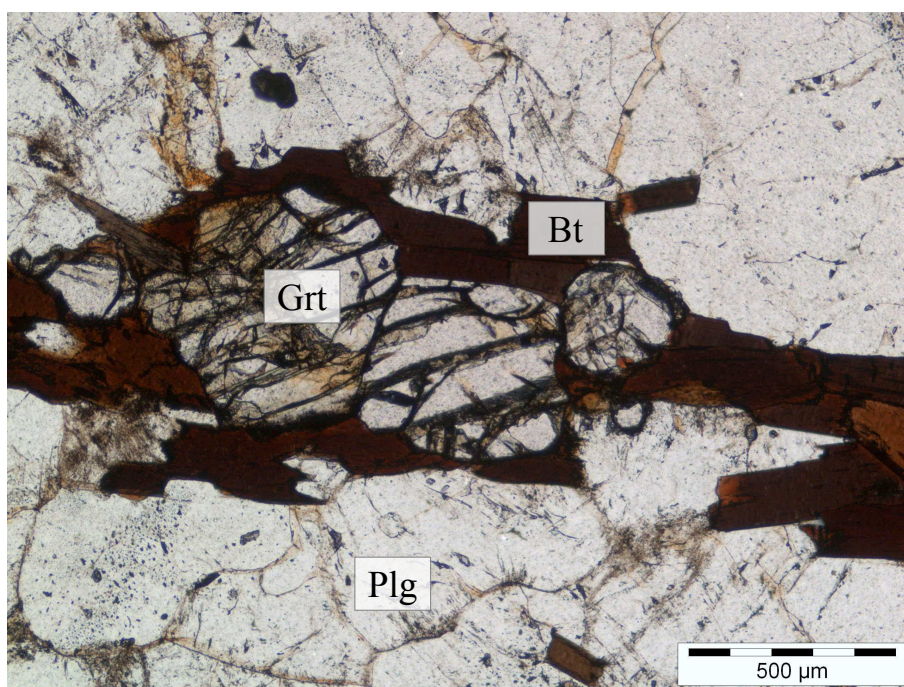


Abbildung 6: Lichtmikroskop-Bild ML04-68

Auch im BSE Bild erkennt man eindeutig den Lagenwechsel (Abb. 7). Die chemische Analyse an den größeren Granaten zeigt, dass sie besonders Fe reich sind (Tab. 4) und keinen signifikanten chemischen Unterschied zwischen Kern und Randbereich aufweisen.

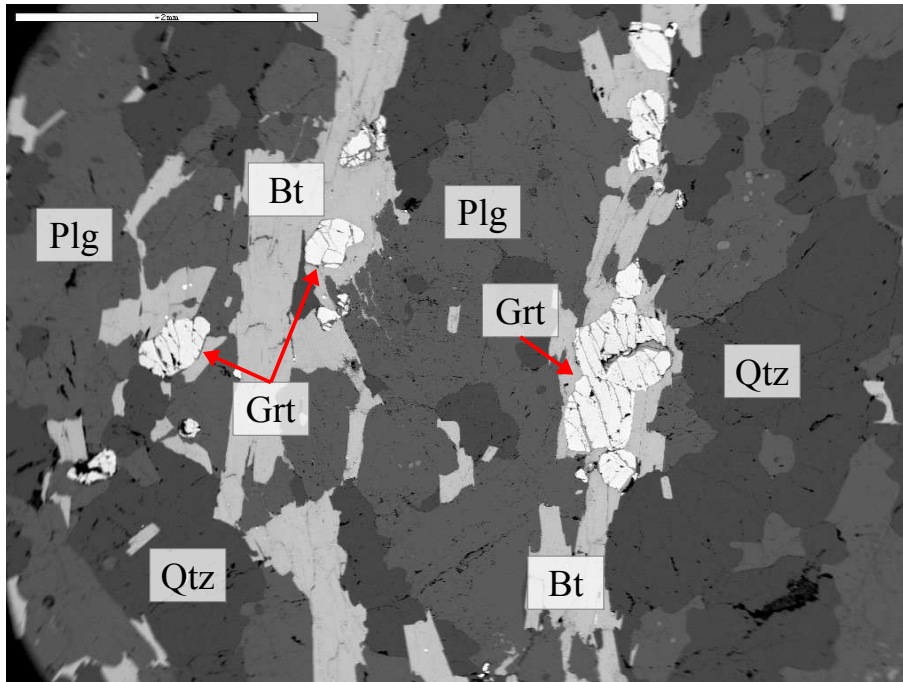


Abbildung 7: BSE-Bild ML04-68. Maßstabballen: 2mm.

3.3 Probe ML05-15

Probe ML05-45 ist ein Amphibolit und setzt sich aus Plagioklas, Quarz, Magnesiohornblende und Bioit zusammen. In einer Matrix aus Quarz und Plagioklas liegen die meist kleineren (0,5mm-1mm) Amphibolkörner (Abb. 8). Besonders gut erkennbar sind die 124° bzw. 56° Winkel zwischen den Spaltflächen.

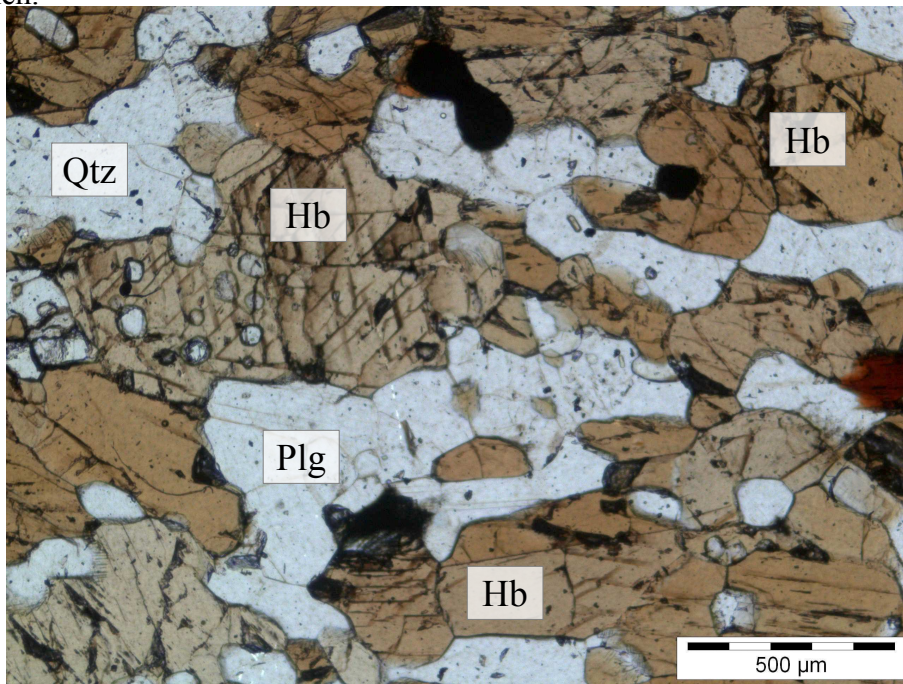


Abbildung 8: Lichtmikroskop-Bild ML05-15

An einigen Stellen gibt es Anhäufungen von Biotit (Abb. 9), welcher sowohl anhand der Farbe (deutlich dunkler und rötlich) als auch anhand der Größe (mehrere mm) leicht von den Hornblenden unterscheidbar ist.

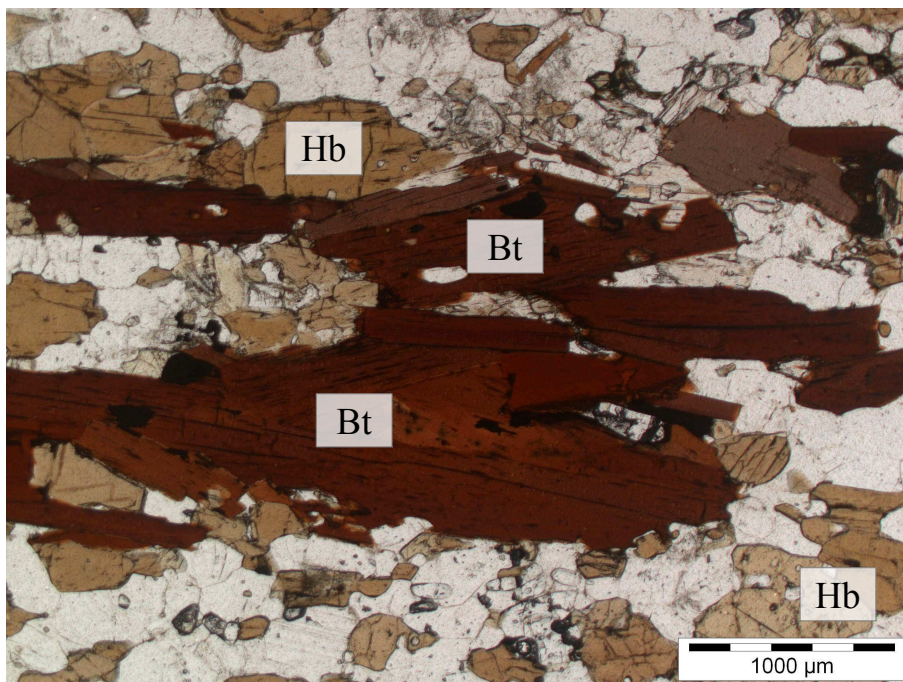


Abbildung 9: Lichtmikroskop-Bild ML05-15

Auch im BSE Bild ist der Größenunterschied zwischen den etwas helleren Biotiten und den Amphibolen erkennbar (*Abb. 10*). Die durch den Ordnungszahlkontrast weiß erscheinenden Körner stellen sich als Ilmenit beziehungsweise als Zirkoneinschlüsse im Biotit heraus.

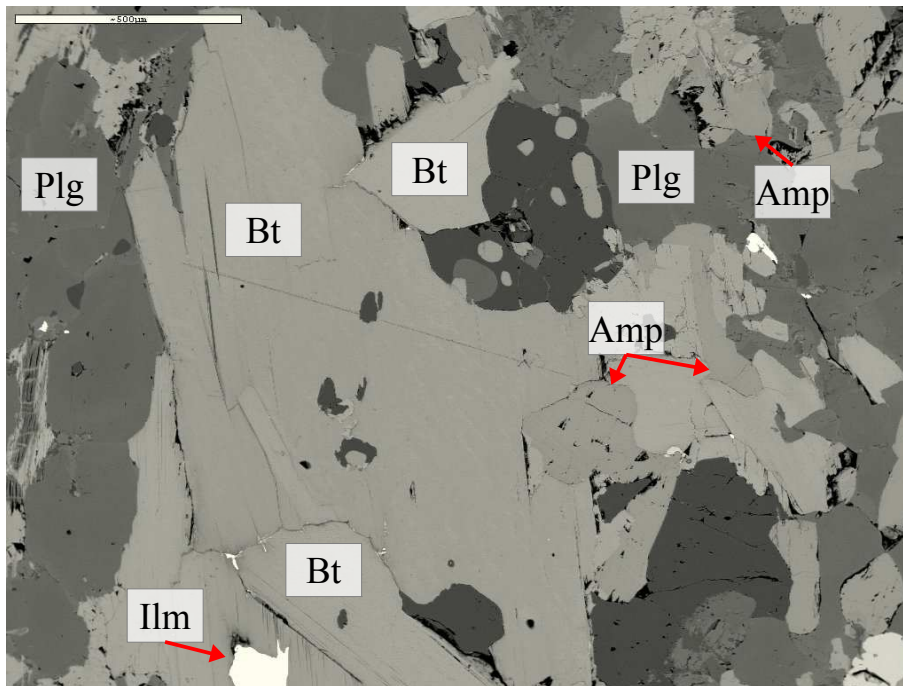


Abbildung 10: BSE-Bild ML05-15. Maßstabsbalken: 0.5mm.

Bei genauerer Betrachtung der Hornblenden erkennt man helle Lamellen in den ansonsten eher dunkelgrauen Körnern (*Abb. 11*). Die Messung bei am1 weist einen erhöhten Fe und einen verringerten Ca Gehalt im Vergleich zu am2, sowie auch den restlichen Messungen (am3-am5) auf (*Tab. 7*).

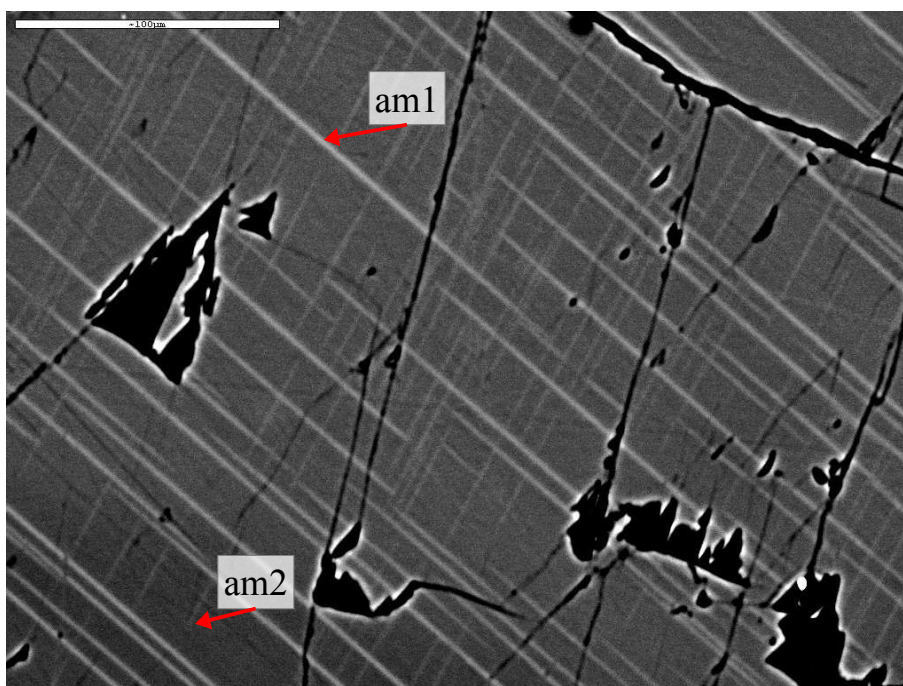


Abbildung 11: BSE-Bild ML05-15. Maßstabsbalken: 100µm.

3.4 Probe ML05-16

Probe ML05-16 ist ein Aluminium reicher Migmatit. Der nadelige Sillimanit ist häufig mit Cordierit verwachsen, durchzieht den Dünnschliff und umschließt dabei andere Mineralkörner wie zum Beispiel Granat (Abb. 12). Granate kommen als 0.1 bis 0.5 mm große unregelmäßig begrenzte Körner, meist von mehrere mm großem Cordierit umwachsen, vor und zeigt texturell, dass Cordierit auf Kosten des Granats wächst.

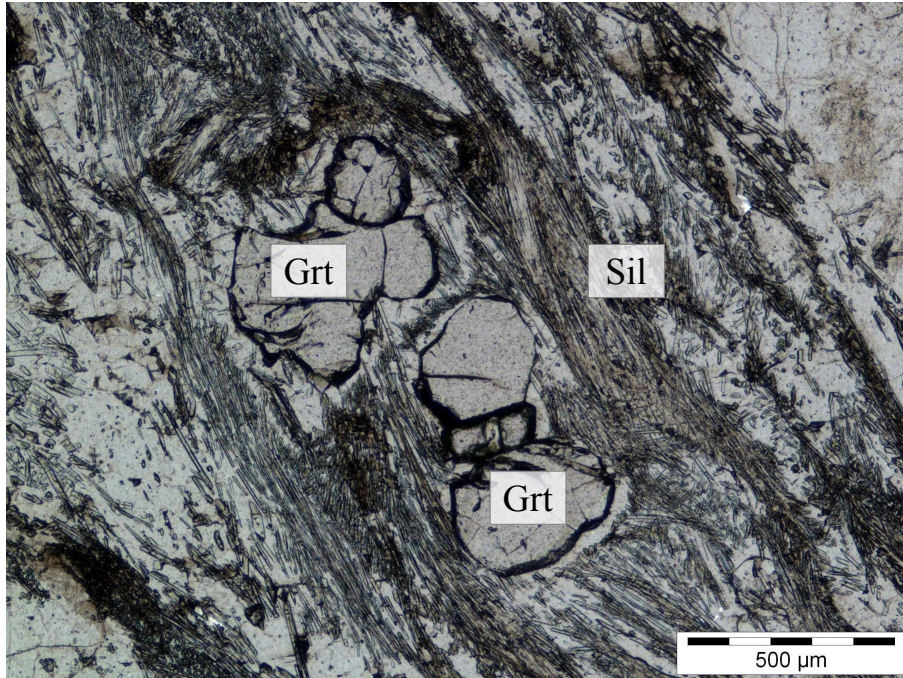


Abbildung 12: Lichtmikroskop-Bild ML05-16

An vielen Stellen tritt Sillimanit in den Randbereichen aber auch innerhalb von Biotitkörnern auf (Abb. 13). Grund dafür ist wahrscheinlich, eine Reaktionsbeziehung zwischen Biotit und Sillimanit.

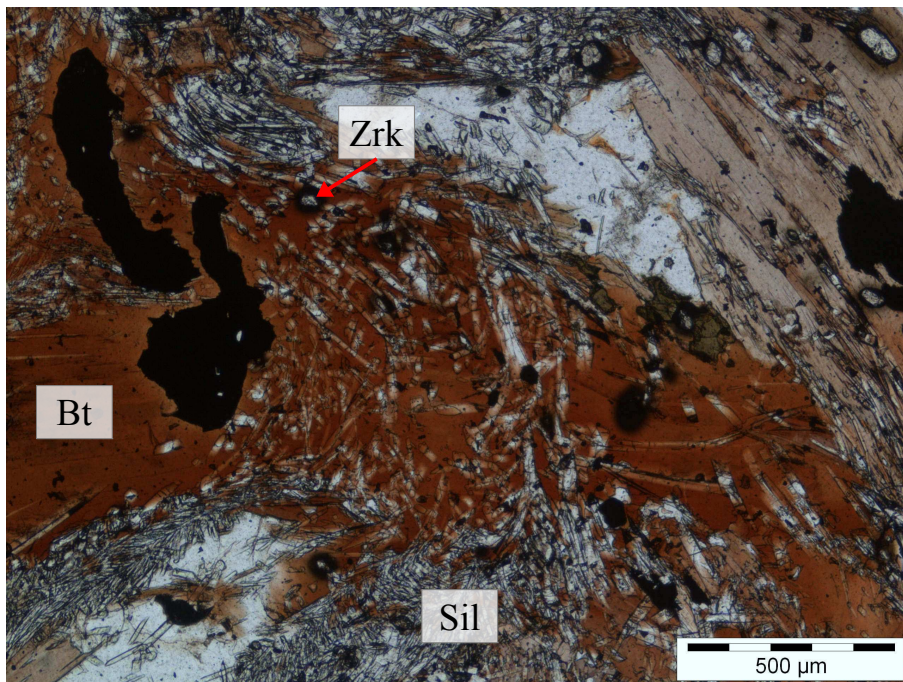


Abbildung 13: Lichtmikroskop-Bild ML05-16

Die Hauptgemengteile der Probe sind Plagioklas, Kalifeldspat, Biotit, Granat, Cordierit und Sillimanit. Darüber hinaus finden sich auch Apatit und Zirkone, die z.T. als Einschlüsse in Biotit vorkommen (Abb. 14).

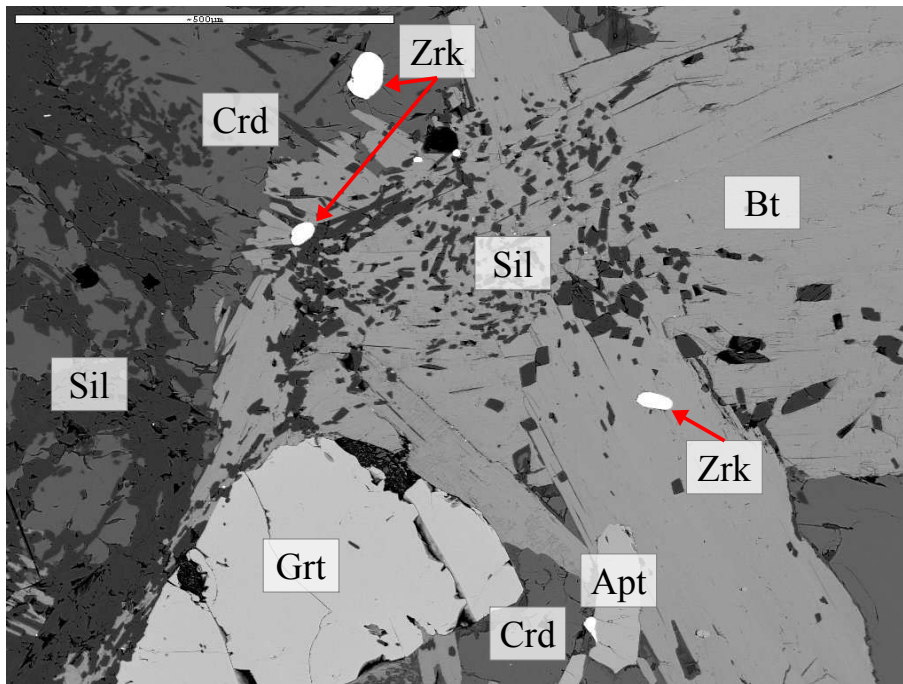


Abbildung 14: BSE-Bild ML05-16. Maßstabballen: 0.5mm

Einige der Kalifeldspäte zeigen perthitische Entmischungen (Abb. 15). Die helleren Stellen (Messungen kf1 und kf2) sind K-reicher Alkalifeldspat die dunkleren, etwa 50µm langen Lamellen (kf3) haben Na reiche Chemismen (Tab. 10).

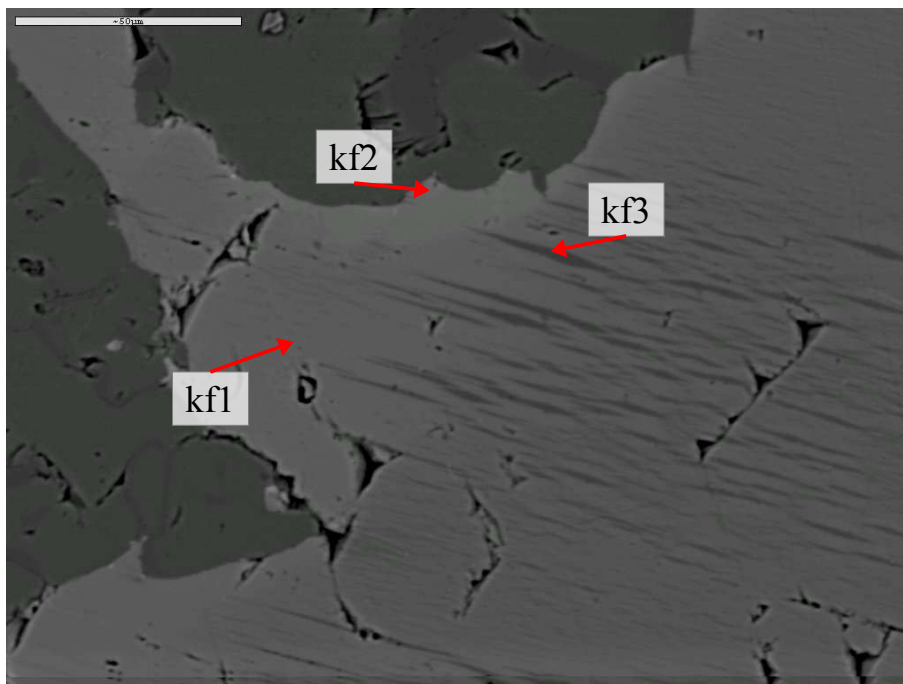


Abbildung 15: BSE-Bild ML05-16. Maßstabballen: 50µm.

3.5 Probe ML07-1B

Probe ML07-1B ist ein Granat-Cordierit Migmatit. Die meisten Granate haben eine Größe von 0,5mm-1mm. An vielen Stellen sind Reaktionsbeziehungen zwischen Granat und Cordierit erkennbar. Hierbei wird Granat abgebaut und Cordierit gebildet (Abb. 16)..

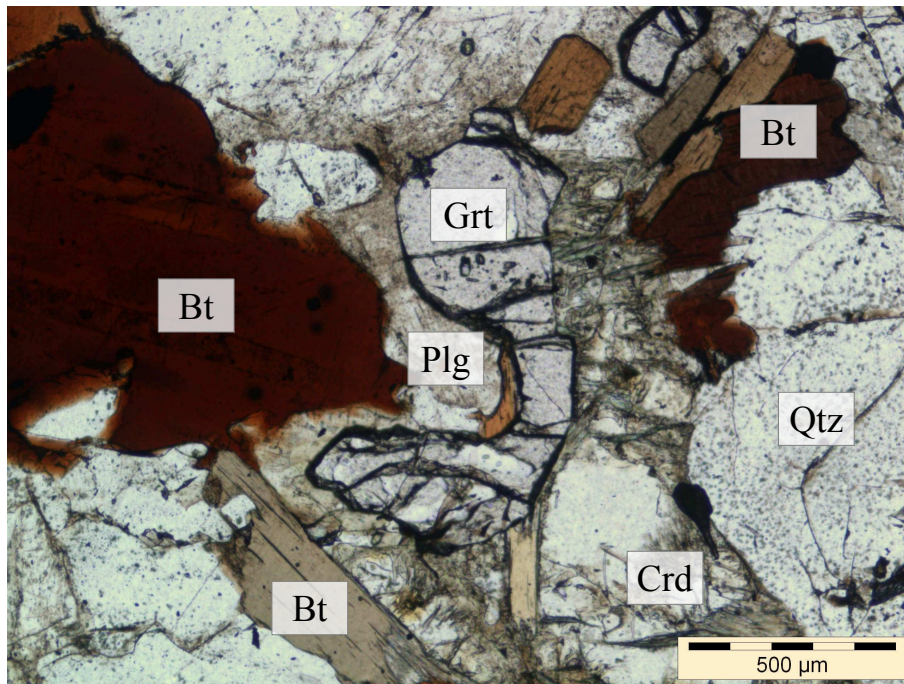


Abbildung 16: Lichtmikroskop-Bild ML07-1B

Die oft sehr großen Cordierite (mehrere mm) sind zum Teil pinitisiert. (Abb. 17).

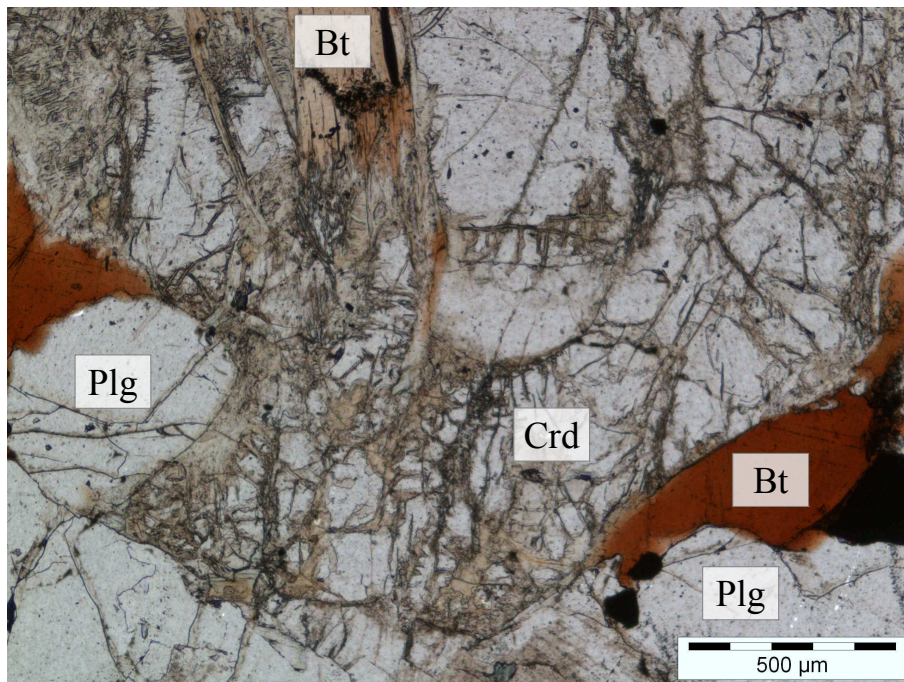


Abbildung 17: Lichtmikroskop-Bild ML07-1B

Im Rasterelektronenmikroskop sind die Reaktionssäume zwischen Granat, Biotit und Cordierit gut erkennbar (Abb. 18). Eine mögliche prograde Cordieritbildung aus Granat könnte folgende Reaktion sein:



Die helle Färbung des Granats lässt auf einen hohen Eisengehalt schließen, was eine Messung auch bestätigt (Tab. 17).

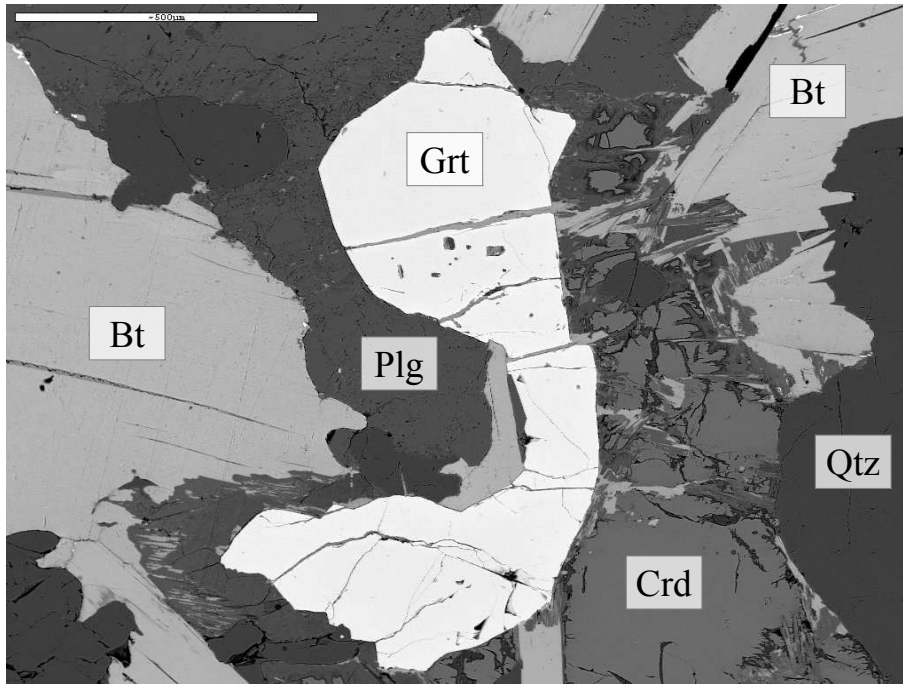


Abbildung 18: BSE-Bild ML07-1B. Maßstabballen: 1mm

Die im BSE Bild mittelgrau erscheinenden Cordierite haben eine Größe von bis zu 2mm und sind an den Rändern meist alteriert (*Abb. 19*). Die unter dem Lichtmikroskop opaken Phasen stellten sich im Rasterelektronenmikroskop als Pyrite heraus.

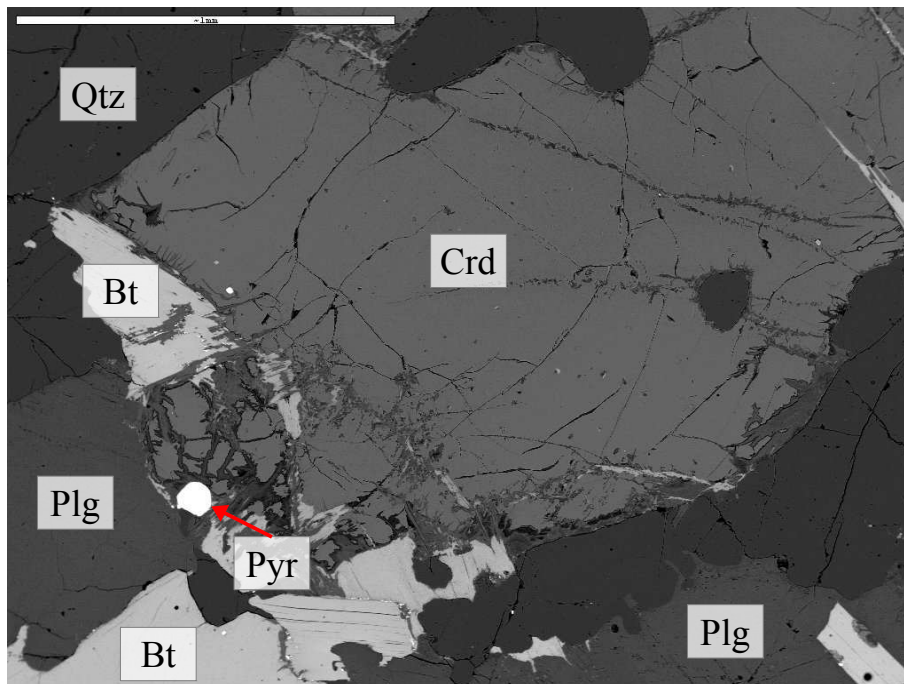


Abbildung 19: BSE-Bild ML07-1B. Maßstabbalken: 1mm

3.6 Probe ML09-16

Probe ML09-16 ist ein mafischer Granulit, der sich aus einer plagioklas- und quarzreichen Matrix und Biotit, Magnesiohornblende und Orthopyroxenen mit einer maximalen Korngröße von 1mm zusammensetzt (Abb. 20). Die Amphibole zeigen Stellenweise eine poikiloblastische Textur. Des Weiteren findet man auch noch einige kleine Clinopyroxene mit Korngrößen von 0,2mm.

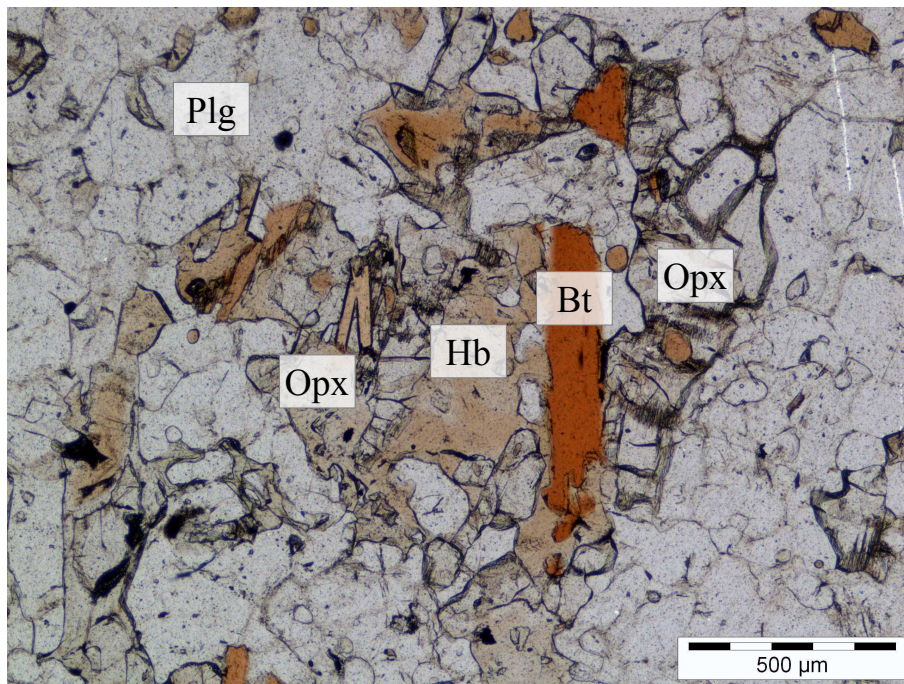


Abbildung 20: Lichtmikroskop-Bild ML09-16

An vielen Stellen besteht die Probe hauptsächlich aus der felsischen feinkörnigen (0,1mm-0,2mm) Matrix (Abb. 21).

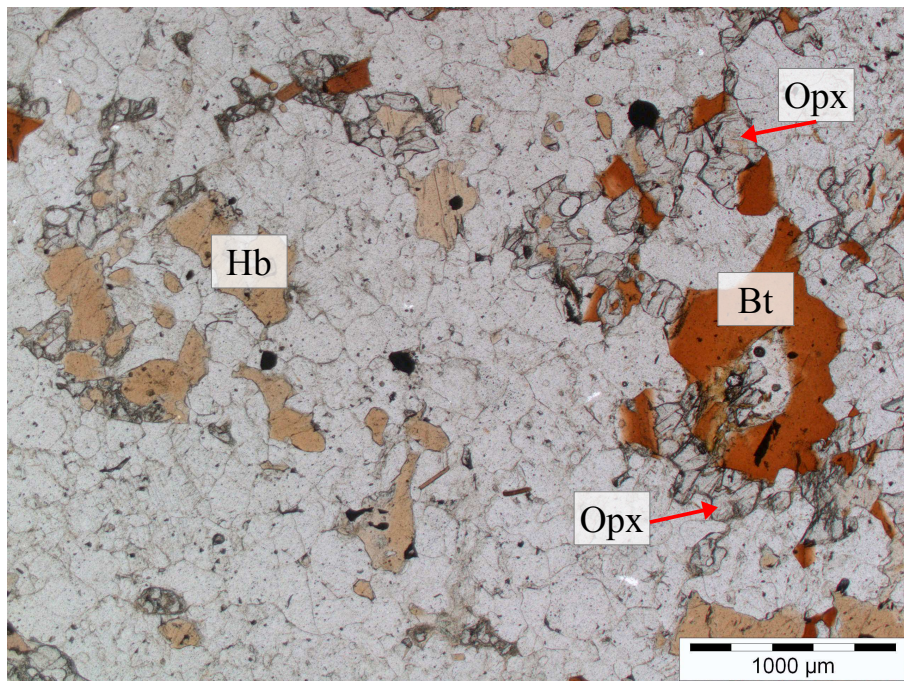


Abbildung 21: Lichtmikroskop-Bild ML09-16

Im BSE Bild erscheinen die Orthopyroxene deutlich heller als die Clinopyroxene und Amphibole (Abb. 22). Grund dafür ist der Ordnungszahlkontrast, da die Orthopyroxene mit einem X_{Mg} von 0,6 einen deutlich höheren Fe Anteil besitzen als die Clinopyroxene und Amphibole mit einem Wert von etwa 0,75 (Tab. 19,21).

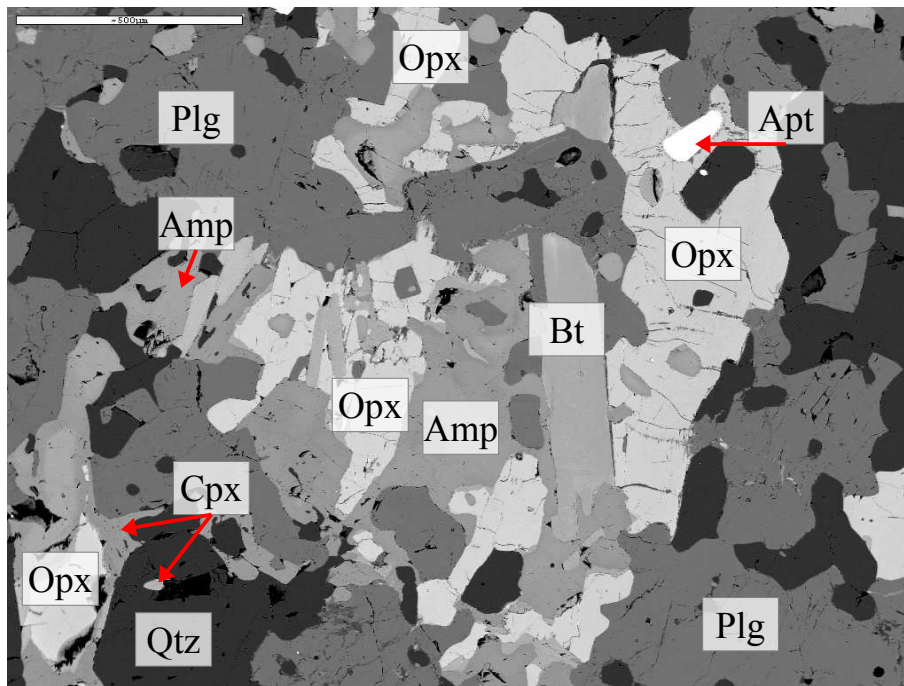


Abbildung 22: BSE-Bild ML09-16. Maßstab Balken: 0.5mm

3.7 Probe BA1

Probe BA1 ist ein migmatischer Biotit Paragneis, der keine Foliation zeigt. Die Hauptkomponenten bilden Plagioklas, Kalifeldspat und Biotit. An einigen Stellen sind die größeren Kalifeldspäte (1mm-2mm) von mehreren kleinen Biotiten umwachsen (Abb. 23).

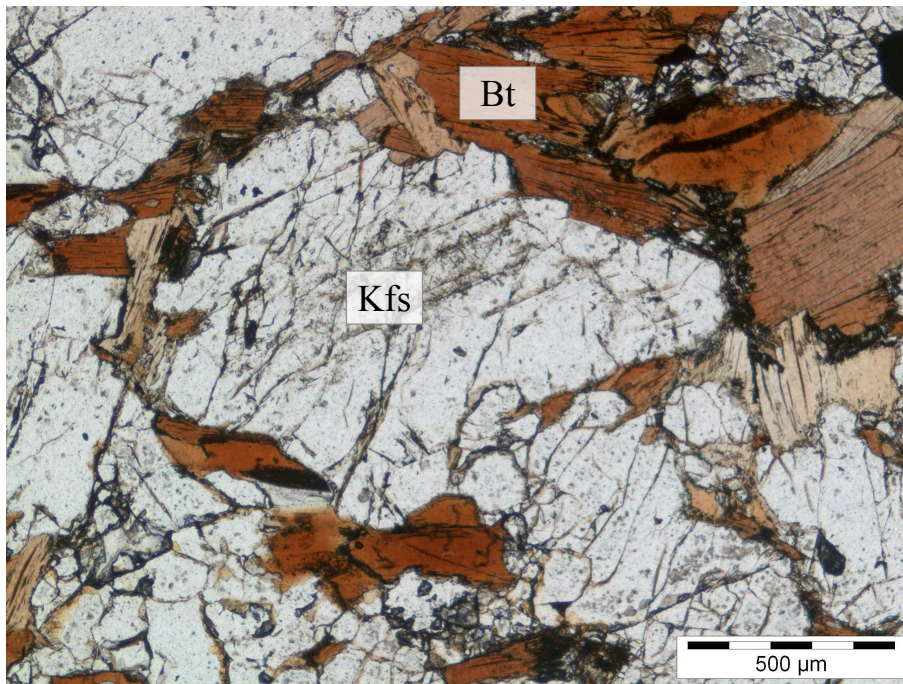


Abbildung 23: Lichtmikroskop-Bild BA1

Ähnlich den anderen Proben, tritt auch hier Zirkon (~40µm) als Einschluss in Biotit auf und führt zur Bildung von pleochroitischen Höfen (Abb. 24).

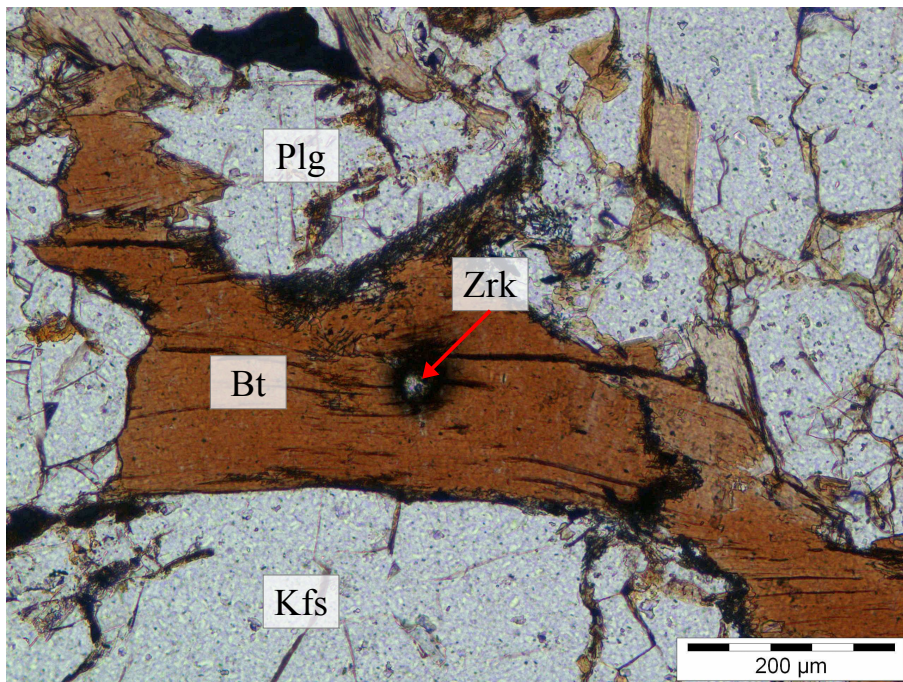


Abbildung 24: Lichtmikroskop-Bild BA1

3.8 Probe BA7

Probe BA7 ist ein Granat Biotit Gneis. Er zeigt einen Lagenwechsel zwischen einerseits hellen Plagioklas-, Kalifeldspat- und Quarzreichen und andererseits Biotit und Granat reicheren Lagen (*Abb. 25*). Dieser Lagenwechsel ist jedoch nicht so gut ausgeprägt wie bei Probe ML04-68 (*Abb. 5*), weiters ist auch der Mächtigkeit der einzelnen Lagen hier deutlich größer (~2mm).

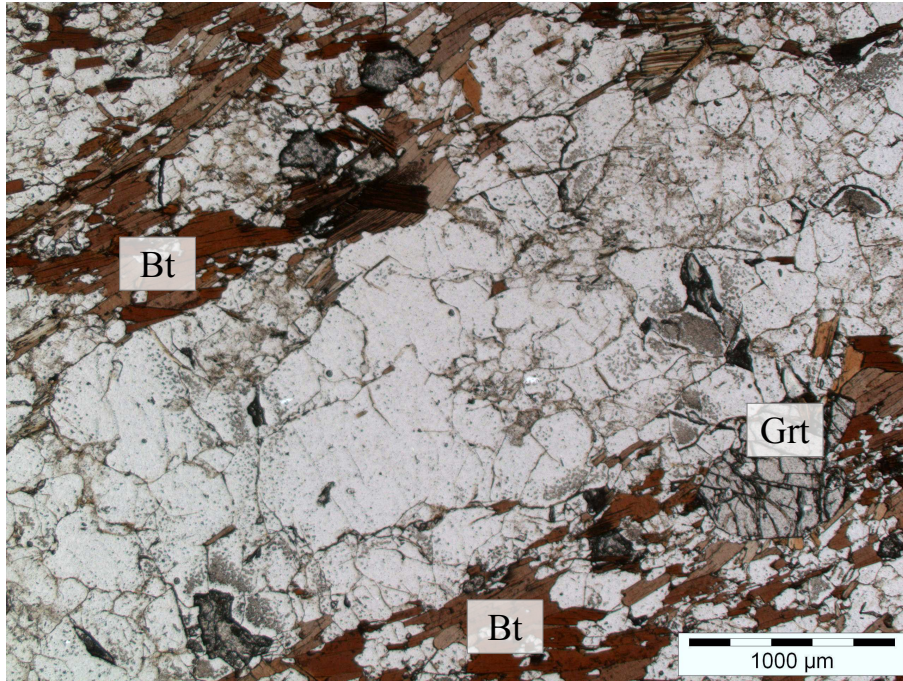


Abbildung 25: Lichtmikroskop-Bild BA7

In den Biotit reichen Lagen treten auch vereinzelt kleine Orthopyroxene auf (0,2mm), die jedoch nur schwer als solche zu identifizieren sind da keine Spaltflächen erkennbar sind (*Abb. 26*).

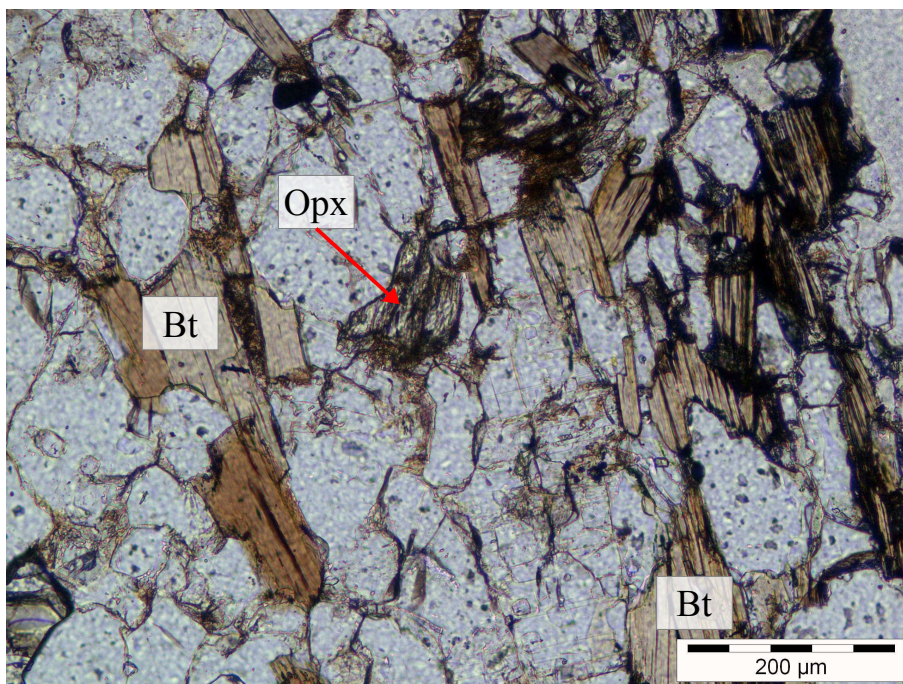


Abbildung 26: Lichtmikroskop-Bild BA7

Die im Elektronenmikroskop hellgrauen Granate haben eine Größe von bis zu 2mm und zeigen mehrere kleine Einschlüsse, meist Quarz und/oder Plagioklas (*Abb. 27*). Sie sind besonders eisenreich, eine Zonierung konnte durch Messungen an Kern und Rand jedoch nicht festgestellt werden (*Tab. 24 Messung gt1,gt2*).

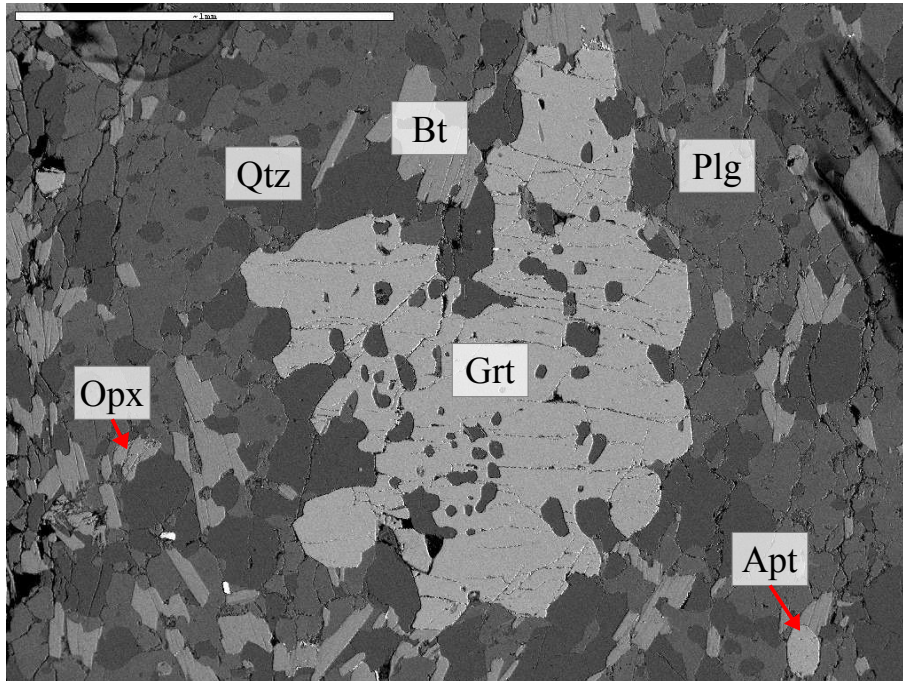


Abbildung 27: BSE-Bild BA7. Maßstabballen: 2mm

3.9 Probe BA10

Probe BA10 ist ein Granat-Cordierit Migmatit. An Stellen an denen Biotit oder Granat zusammen mit Cordierit auftreten sind deutliche Reaktionssäume an den Korngrenzen erkennbar (Abb. 28). Die Granate haben Korngrößen von 0,5 bis 4mm und sind vor allem im Kernbereich sehr einschchlussreich. Im BSE Bild (Abb. 30) deutlich besser erkennbar sind die Korngrößen von Cordierit (1-2mm), Quarz und Kalifeldspat (~1mm) und Biotit (1-2mm).

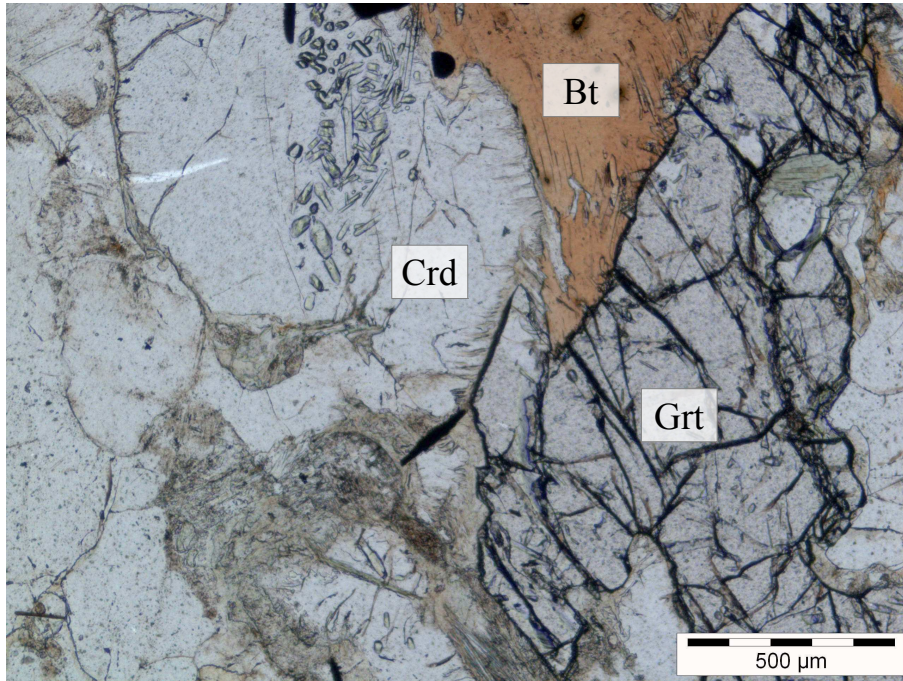


Abbildung 28: Lichtmikroskop-Bild BA10

Feinkörniger Sillimanit zieht sich durch die gesamte Probe, er umwächst viele Mineralkörner, einige werden aber auch durchwachsen, wie Cordierit und Granat (Abb. 29).

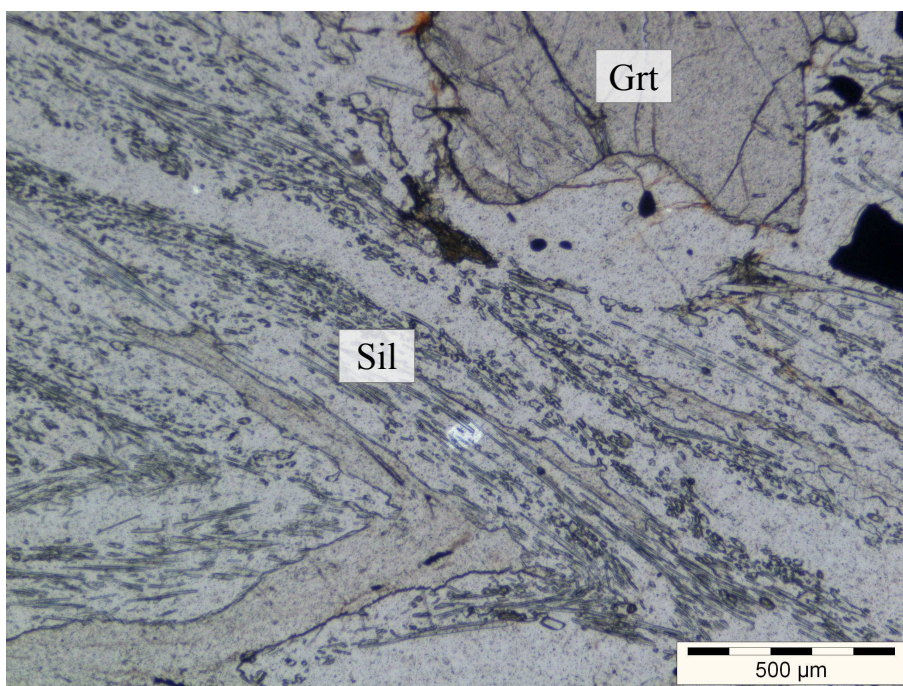


Abbildung 29: Lichtmikroskop-Bild BA10

Neben den Hauptbestandteilen Cordierit, Granat, Biotit, Kalifeldspat und Quarz lassen sich im Elektronenmikroskop auch noch einige andere Phasen wie Illmenit und Pyrit identifizieren. Die Reaktionssäume zwischen Cordierit und Biotit sind auch im BSE Bild deutlich erkennbar (Abb. 30).

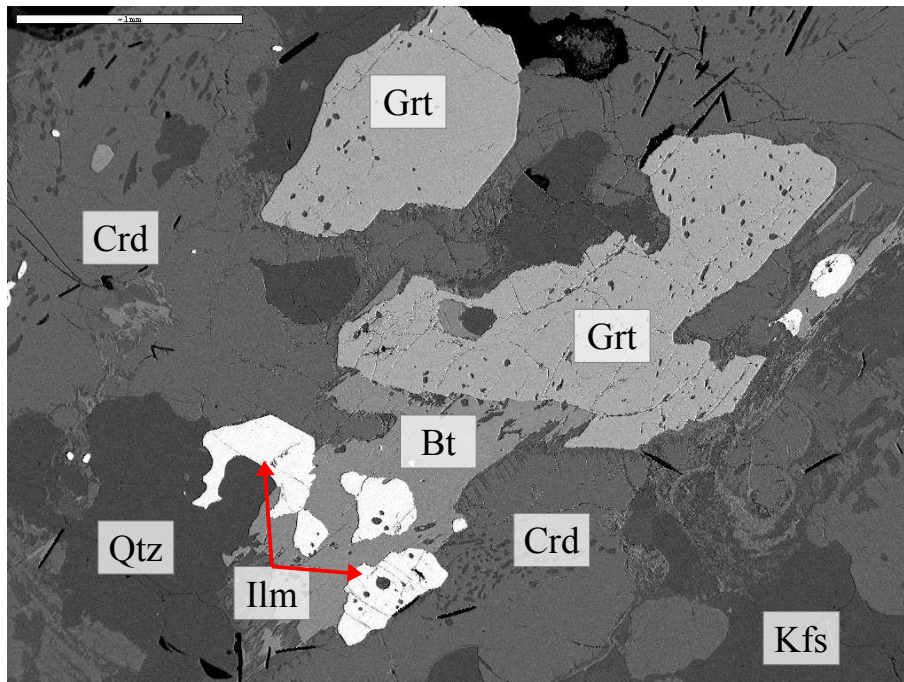


Abbildung 30: BSE-Bild BA10. Maßstabballen: 1mm.

Die Granate sind besonders eisenreich ($X_{\text{alm}} \sim 0,8$) und die größeren haben zahlreiche Einschlüsse von Pyrit, Zirkon, Biotit und Quarz (Abb. 31). Durch den größten Granat der Probe wurde ein chemisches Zusammensetzungsprofil gelegt um eine mögliche Zonierung festzustellen. Die Ergebnisse des Profils werden unter 4.7 genauer beschrieben.

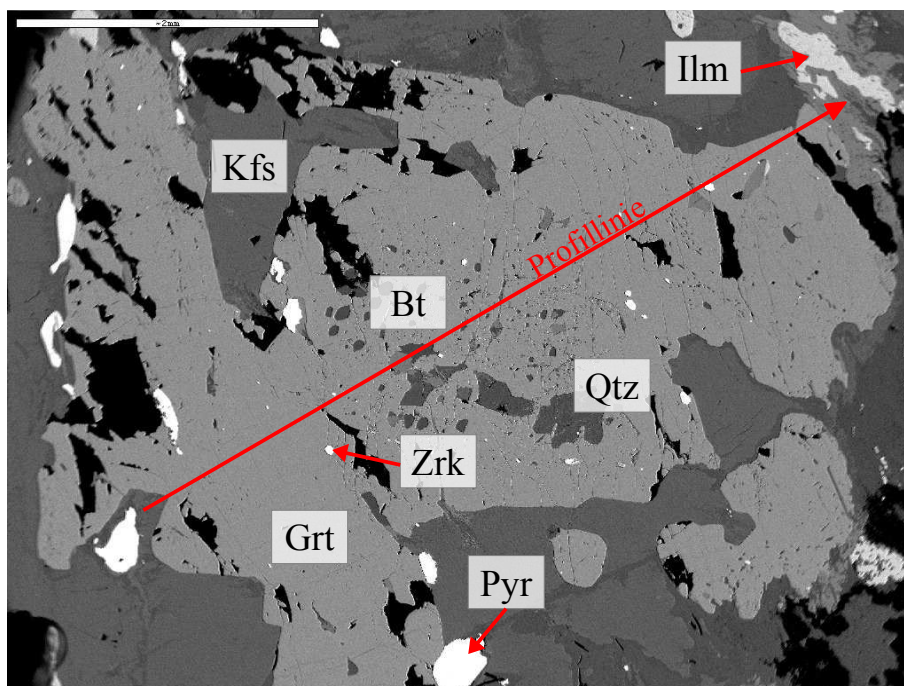


Abbildung 31: BSE-Bild BA10

3.10 Probe BA33

Probe BA33 ist ein Migmatit, der stark aufgeschmolzen wurde, keine Foliation zeigt und der sich aus einer hellen Plagioklas und Kalifeldspat reichen Matrix sowie dunklen 0,5mm-1mm großen Biotiten und Cordieriten zusammensetzt (Abb. 32). Die Cordierite sind zum Teil pinitisiert, die Biotite stellenweise komplett chloritisiert. Kalifeldspäte und Plagioklase zeigen Anzeichen einer Serizitisierung.

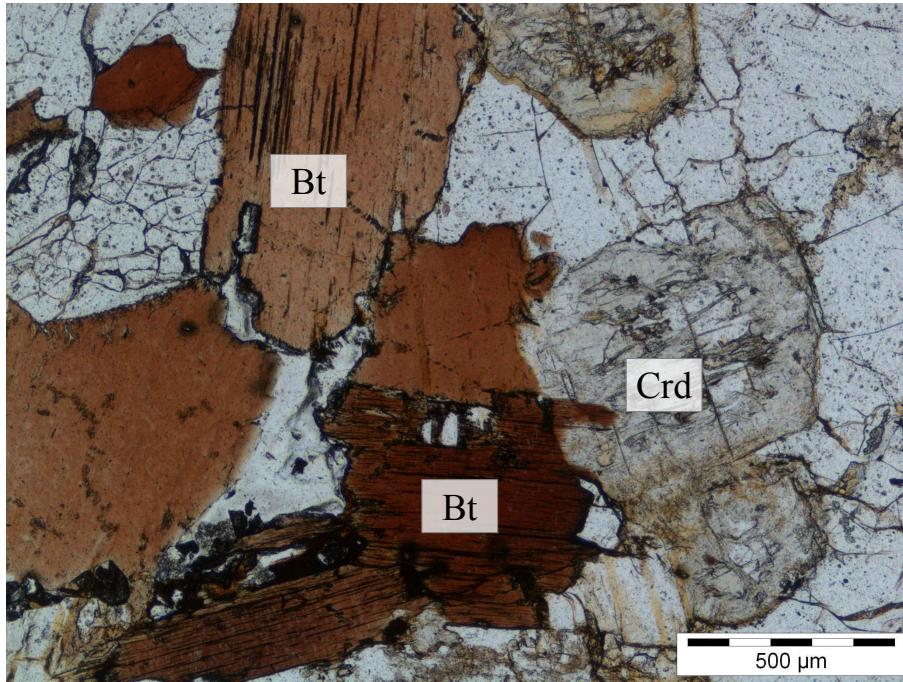


Abbildung 32: Lichtmikroskop-Bild BA33

4 Mineralchemie

4.1 Probe ML04-68

Die Messpunkte wurden im BSE Bild eingetragen (*Anhang: Abb. 38*).

Die Granate der Probe ML04-68 sind besonders eisenreich mit einer Almandinkomponente zwischen 73% und 79% (*Tab. 4*). Der Pyropanteil liegt bei 12% bis 20% und der Spessartinanteil zwischen 3% und 5%.

Tabelle 4: Granatanalyse ML04-68

Mineral	468gt1 grt	468gt2 grt	468gt3 grt	468gt4 grt	468gt5 grt	468gt6 grt	468gt7 grt
SiO ₂	37,28	37,47	36,80	37,29	37,05	37,21	37,44
Al ₂ O ₃	21,28	21,01	20,80	20,83	20,74	21,13	20,96
FeO	34,39	34,41	35,76	34,47	35,44	34,95	36,14
MnO	1,60	1,35	1,83	1,74	2,27	1,64	2,08
MgO	4,26	5,02	3,98	3,95	2,86	4,74	3,03
CaO	1,32	1,19	0,98	1,16	1,20	1,16	1,20
Total	100,13	100,45	100,15	99,44	99,56	100,83	100,85
Si	2,975	2,971	2,951	3,005	3,006	2,946	2,997
Al	2,002	1,963	1,966	1,978	1,983	1,972	1,978
Fe ₃	0,048	0,096	0,131	0,012	0,005	0,136	0,028
Fe ₂	2,247	2,186	2,267	2,312	2,400	2,178	2,392
Mn	0,108	0,091	0,124	0,119	0,156	0,110	0,141
Mg	0,507	0,593	0,476	0,475	0,346	0,559	0,362
Ca	0,113	0,101	0,084	0,100	0,104	0,098	0,103
Sum	8,000	8,001	7,999	8,001	8,000	7,999	8,001
X _{mg}	0,184	0,213	0,174	0,170	0,126	0,204	0,131
X _{alm}	0,755	0,736	0,768	0,769	0,798	0,740	0,798
X _{sps}	0,036	0,031	0,042	0,040	0,052	0,037	0,047
X _{pyr}	0,170	0,200	0,161	0,158	0,115	0,190	0,121
X _{grs}	0,038	0,034	0,028	0,033	0,035	0,033	0,034

Die Biotite sind ebenfalls eher eisenreich, haben Xmg Werte von 0,44 bis 0,47. Der TiO₂ Gehalt reicht bis zu 4,37 Gew.%, der F Gehalt bis 0,51 Gew.%, Cl konnte nicht detektiert werden. (Tab. 5).

Tabelle 5: Biotitanalyse ML04-68

	468bt1	468bt2	468bt3	468bt4	468bt5	468bt6
Mineral	bt	bt	bt	bt	bt	bt
SiO ₂	35,20	34,99	34,79	35,40	35,20	35,09
TiO ₂	3,16	3,89	3,98	4,06	4,37	2,86
Al ₂ O ₃	18,19	16,90	17,23	17,48	17,58	17,94
FeO	19,21	20,84	20,86	19,65	20,46	20,50
MgO	9,63	8,95	9,14	9,45	8,90	9,61
Na ₂ O	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0,12	<0.1
K ₂ O	9,40	9,50	9,39	9,51	9,47	9,37
F	0,41	0,51	0,40	0,50	0,47	0,51
Total	95,03	95,37	95,62	95,84	96,37	95,67
Si	2,694	2,700	2,675	2,697	2,678	2,687
Ti	0,182	0,226	0,230	0,233	0,250	0,165
Al	1,641	1,537	1,561	1,569	1,576	1,619
Fe ₂	1,230	1,345	1,341	1,252	1,302	1,313
Mg	1,099	1,030	1,048	1,073	1,009	1,097
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018	0,000
K	0,918	0,935	0,921	0,924	0,919	0,915
F	0,099	0,124	0,097	0,120	0,113	0,124
Sum	7,863	7,897	7,873	7,868	7,865	7,920
Xmg	0,472	0,434	0,439	0,462	0,437	0,455

Die Plagioklase sind besonders Natrium reich mit einer Albitkomponente von 71 bis 73%. (Tab. 6).

Tabelle 6: Plagioklasanalyse ML04-68

	468pg1	468pg2	468pg3	468pg4
Mineral	plag	plag	plag	plag
SiO ₂	61.88	62.29	63.15	62.05
Al ₂ O ₃	24.24	24.65	24.05	24.12
Fe ₂ O ₃	0.15	0.34	<0.1	<0.1
CaO	5.51	5.66	5.19	5.52
Na ₂ O	8.43	8.25	8.44	8.36
K ₂ O	0.20	0.24	0.51	0.44
Total	100.41	101.43	101.34	100.49
Si	2.735	2.727	2.762	2.742
Al	1.263	1.272	1.240	1.256
Fe ₃	0.005	0.011	0.000	0.000
Ca	0.261	0.265	0.243	0.261
Na	0.722	0.700	0.716	0.716
K	0.011	0.013	0.028	0.025
Sum	4.997	4.988	4.989	5.000
Xab	0.726	0.716	0.725	0.715
Xan	0.263	0.271	0.246	0.260
Xkfs	0.011	0.013	0.028	0.025

4.2 Probe ML05-15

Die Messpunkte wurden im BSE Bild eingetragen (*Anhang: Abb. 39*).

Die Amphibole der Probe ML05-15 sind Magnesiornblenden (Xmg 0,67 - 0,75). Alle haben auch eine geringe Menge Fluor, zwischen 0,20 und 0,32 Gew.%, eingebaut. Chlor ist in allen Analysen unter der Nachweisgrenze. (*Tab. 7*).

Tabelle 7: Amphibolanalyse ML05-15

Mineral	515am1	515am2	515am3	515am4	515am5
	magnesi ohb	magnesi ohb	magnesi ohb	magnesi ohb	magnesi ohb
SiO ₂	49,63	51,16	48,98	50,21	49,40
TiO ₂	1,42	1,10	1,27	1,08	1,42
Al ₂ O ₃	6,82	5,85	6,86	6,16	7,29
FeO	15,82	11,98	12,28	12,33	12,42
MnO	0,41	0,27	0,21	0,27	0,22
MgO	15,26	15,95	15,16	15,67	14,96
CaO	8,47	11,65	11,43	11,53	11,49
Na ₂ O	0,75	0,67	0,67	0,70	0,78
K ₂ O	0,50	0,27	0,33	0,30	0,37
F	0,20	0,27	0,32	0,22	0,27
Total	99,20	99,06	97,38	98,38	98,51
Si	7,094	7,236	7,067	7,158	7,054
Ti	0,153	0,117	0,138	0,116	0,152
Al	1,149	0,975	1,167	1,035	1,227
Fe ₃	0,285	0,273	0,362	0,361	0,306
Fe ₂	1,606	1,144	1,120	1,110	1,177
Mn	0,050	0,032	0,026	0,033	0,027
Mg	3,252	3,363	3,261	3,331	3,185
Ca	1,297	1,765	1,767	1,761	1,758
Na	0,208	0,184	0,187	0,193	0,216
K	0,091	0,049	0,061	0,055	0,067
F	0,090	0,121	0,146	0,099	0,122
Sum	15,275	15,259	15,302	15,252	15,291
Xmg	0,669	0,746	0,744	0,750	0,730

Das Xmg von Biotit variiert zwischen 0,61 und 0,63 (Tab. 8). Die TiO₂ Werte reichen von 4,34 bis 4,67 Gew.%, die F Werte von 0,38 bis 0,48.

Tabelle 8: Biotitanalyse ML05-15

	515bt1	515bt2	515bt3	515bt4	515bt5
Mineral	bt	bt	bt	bt	bt
SiO ₂	36,92	36,52	36,90	37,15	37,04
TiO ₂	4,53	4,66	4,67	4,34	4,64
Al ₂ O ₃	14,34	14,02	14,28	14,37	14,18
FeO	15,65	15,55	15,28	15,11	15,57
MnO	<0.1	<0.1	0,11	<0.1	0,08
MgO	14,15	13,82	13,80	14,45	13,58
K ₂ O	8,81	8,84	8,86	9,22	9,08
F	0,43	0,38	0,48	0,43	0,46
Total	94,65	93,63	94,18	94,89	94,44
Si	2,785	2,788	2,796	2,793	2,805
Ti	0,257	0,268	0,266	0,245	0,264
Al	1,275	1,262	1,275	1,273	1,266
Fe ₂	0,987	0,993	0,968	0,950	0,986
Mn	0,000	0,000	0,007	0,000	0,005
Mg	1,591	1,573	1,559	1,620	1,533
K	0,848	0,861	0,857	0,884	0,877
F	0,103	0,092	0,115	0,102	0,110
Sum	7,846	7,837	7,843	7,867	7,846
Xmg	0,617	0,613	0,617	0,630	0,609

Die gemessenen Plagioklase sind Anorthit reich, 61% bis 77%. Teilweise haben sie sehr geringe Mengen an Fe³⁺ eingebaut (Tab. 9).

Tabelle 9: Plagioklasanalyse ML05-15

	515pl1	515pl2	515pl3	515pl4	515pl5
Mineral	plag	plag	plag	plag	plag
SiO ₂	53,65	54,35	49,20	53,71	49,74
Al ₂ O ₃	29,59	30,12	31,93	29,41	31,91
Fe ₂ O ₃	<0.1	0,18	0,25	<0.1	<0.1
CaO	12,74	12,61	15,87	12,39	15,60
Na ₂ O	4,12	4,21	2,65	4,33	2,63
K ₂ O	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Total	100,10	101,47	99,90	99,84	99,88
Si	2,421	2,419	2,253	2,429	2,272
Al	1,574	1,580	1,723	1,568	1,718
Fe ₃	0,000	0,006	0,009	0,000	0,000
Ca	0,616	0,601	0,779	0,600	0,763
Na	0,361	0,363	0,235	0,380	0,233
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sum	4,972	4,969	4,999	4,977	4,986
Xab	0,369	0,377	0,232	0,388	0,234
Xan	0,631	0,623	0,768	0,612	0,766

4.3 Probe ML05-16

Die Messpunkte wurden im BSE Bild eingetragen (*Anhang: Abb. 40-42*).

Die Plagioklase haben eine Albitkomponente von 75 bis 77%, die Kalifeldspäte haben etwa 15% Albitkomponente und bis zu 3.4% BaO eingebaut (*Tab. 10*). Messung kf3 ist eine perthitische Entmischung im Kalifeldspat von Messung kf1 und kf2. Einige Kalifeldspäte zeigen BaO Gehalte bis 3.4% (*Abb. 15*).

Tabelle 10: Feldspatanalyse ML05-16

Mineral	5163kf1	5163kf2	5163kf3	5163pg1	5163pg2	5163pg3
	kf	kf	akf	plag	plag	plag
SiO ₂	63,57	61,64	67,67	62,85	61,80	61,69
Al ₂ O ₃	18,51	19,13	21,34	24,19	24,18	24,02
Fe ₂ O ₃	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
CaO	<0.1	<0.1	1,58	4,89	4,96	4,87
BaO	1,86	3,40	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Na ₂ O	1,57	1,38	10,01	9,04	8,77	8,79
K ₂ O	13,83	13,47	0,55	<0.1	0,23	<0.1
Total	99,34	99,02	101,15	100,97	99,94	99,37
Si	2,975	2,929	2,929	2,756	2,742	2,748
Al	1,021	1,071	1,089	1,250	1,264	1,261
Fe ₃	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,000	0,000	0,073	0,230	0,236	0,232
Ba	0,034	0,063	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,142	0,127	0,840	0,768	0,754	0,759
K	0,826	0,817	0,030	0,000	0,013	0,000
Sum	4,998	5,007	4,961	5,004	5,009	5,000
Xab	0,142	0,126	0,891	0,770	0,752	0,766
Xan	0,000	0,000	0,077	0,230	0,235	0,234
Xkfs	0,824	0,811	0,032	0,000	0,013	0,000
Xcel	0,034	0,063	0,000	0,000	0,000	0,000

Die gemessenen Sillimanite haben zu geringen Teilen Fe₂O₃ (0,18 bis 0,54 Gew.%) eingebaut (*Tab. 11*).

Tabelle 11: Sillimanitanalyse ML05-16

Mineral	5162sl1	5162sl2	5162sl3	5163sl1
	alsi	alsi	alsi	alsi
SiO ₂	36,25	37,05	36,68	36,36
Al ₂ O ₃	64,06	64,49	64,48	62,81
Fe ₂ O ₃	0,18	0,59	0,41	0,20
Total	100,49	102,13	101,57	99,37
Si	0,975	0,981	0,976	0,988
Al	2,030	2,013	2,023	2,012
Fe ₃	0,004	0,012	0,008	0,004
Sum	3,009	3,006	3,007	3,004

Die Granate bestehen grÖßtenteils aus Almandin (Xalm 0,816 bis 0,869) und zeigen keine signifikanten chemischen Unterschiede bei Messungen im Kern- und Randbereich und somit auch keine Zonierung (Tab. 12).

Tabelle 12: Granatanalyse ML05-16

	5163gt1	5163gt2	5163gt3	5162gt1	5162gt2	5162gt3
Mineral	grt	grt	grt	grt	grt	grt
SiO2	36,42	36,95	36,21	36,99	36,68	36,31
Al2O3	20,69	20,44	20,41	20,41	20,66	20,19
FeO	38,68	38,85	38,35	37,91	38,81	39,07
MnO	1,20	1,22	1,43	0,67	0,85	1,51
MgO	2,41	2,46	2,32	3,00	2,60	1,83
CaO	1,21	1,08	0,91	1,08	0,98	0,80
Total	100,61	101,00	99,63	100,06	100,58	99,71
Si	2,941	2,974	2,956	2,991	2,960	2,975
Al	1,969	1,939	1,964	1,945	1,965	1,950
Fe3	0,148	0,113	0,123	0,074	0,115	0,101
Fe2	2,464	2,503	2,496	2,490	2,504	2,576
Mn	0,082	0,083	0,099	0,046	0,058	0,105
Mg	0,290	0,295	0,282	0,362	0,313	0,224
Ca	0,105	0,093	0,080	0,094	0,085	0,070
Sum	7,999	8,000	8,000	8,002	8,000	8,001
Xmg	0,105	0,105	0,102	0,127	0,111	0,080
Xalm	0,838	0,842	0,844	0,832	0,846	0,866
Xsps	0,028	0,028	0,033	0,015	0,020	0,035
Xpyr	0,099	0,099	0,095	0,121	0,106	0,075
Xgrs	0,036	0,031	0,027	0,031	0,029	0,024
5162gt4	5162gt5	5161gt1	5161gt2	5161gt3	5161gt4	5161gt5
grt	grt	grt	grt	grt	grt	grt
36,75	36,09	36,62	36,58	36,27	36,70	36,25
20,47	20,21	20,82	20,32	20,49	20,32	20,12
38,89	39,23	38,12	39,32	39,37	39,00	39,31
1,25	0,91	0,58	1,03	1,05	0,74	1,19
2,00	2,06	3,40	2,02	1,84	2,63	2,05
1,16	0,98	1,10	0,86	0,88	0,95	0,85
100,52	99,48	100,64	100,13	99,90	100,34	99,77
2,979	2,958	2,936	2,980	2,963	2,971	2,965
1,956	1,952	1,967	1,951	1,973	1,939	1,939
0,086	0,132	0,160	0,090	0,101	0,120	0,131
2,551	2,557	2,396	2,588	2,589	2,520	2,558
0,086	0,063	0,039	0,071	0,073	0,051	0,082
0,242	0,252	0,406	0,245	0,224	0,317	0,250
0,101	0,086	0,094	0,075	0,077	0,082	0,074
8,001	8,000	7,998	8,000	8,000	8,000	7,999
0,087	0,090	0,145	0,086	0,080	0,112	0,089
0,856	0,864	0,816	0,869	0,874	0,848	0,863
0,029	0,021	0,013	0,024	0,025	0,017	0,028
0,081	0,085	0,138	0,082	0,076	0,107	0,084
0,034	0,029	0,032	0,025	0,026	0,028	0,025

Die Biotite sind mit Xmg Werten von 0,286 bis 0,373 sehr eisenreich. TiO₂ Gehalte von bis zu 4,6 Gew.% und F Gehalte bis zu 1,03 Gew.%, sowie Na₂O bis 0,3 Gew.% wurden ebenfalls gemessen (Tab.13).

Tabelle 13: Biotitanalyse ML05-16

Mineral	5161bt1 bt	5161bt2 bt	5161bt3 bt	5161bt4 bt	5161bt5 bt	5162bt2 bt	5162bt1 bt	5162bt3 bt	5163bt1 bt	5163bt2 bt
SiO ₂	34,27	34,19	34,60	34,36	34,39	34,96	35,00	33,90	34,49	34,27
TiO ₂	2,27	1,24	2,22	3,12	2,93	2,31	2,68	2,28	4,42	4,60
Al ₂ O ₃	19,10	19,99	19,79	19,04	19,42	19,55	19,44	18,63	18,62	18,35
FeO	23,39	23,08	22,91	23,62	22,68	23,36	23,20	24,48	23,44	23,94
MgO	6,36	6,95	6,32	6,27	6,47	6,88	7,03	8,16	5,43	5,38
Na ₂ O	0,14	0,27	0,30	0,26	0,24	0,24	0,24	0,14	<0.1	<0.1
K ₂ O	9,01	8,85	8,89	9,01	9,14	9,23	9,11	8,51	9,33	9,42
F	0,88	0,84	0,80	0,79	0,72	0,84	0,82	1,03	0,73	0,72
Total	95,05	95,06	95,49	96,14	95,69	97,02	97,18	96,70	96,15	96,38
Si	2,680	2,664	2,679	2,658	2,660	2,673	2,668	2,619	2,668	2,656
Ti	0,134	0,073	0,129	0,182	0,170	0,133	0,154	0,132	0,257	0,268
Al	1,761	1,836	1,806	1,736	1,771	1,762	1,746	1,697	1,698	1,676
Fe ₂	1,530	1,504	1,483	1,528	1,467	1,494	1,479	1,582	1,516	1,551
Mg	0,742	0,807	0,730	0,723	0,746	0,784	0,799	0,940	0,626	0,622
Na	0,021	0,041	0,045	0,039	0,036	0,036	0,035	0,021	0,000	0,000
K	0,899	0,880	0,878	0,889	0,902	0,900	0,886	0,839	0,921	0,931
F	0,218	0,207	0,196	0,193	0,176	0,203	0,198	0,252	0,179	0,176
Sum	7,985	8,012	7,946	7,948	7,928	7,985	7,965	8,082	7,865	7,880
Xmg	0,327	0,349	0,330	0,321	0,337	0,344	0,351	0,373	0,292	0,286

Die Cordierite haben eine intermediäre Xmg Zusammensetzung mit 0.46 bis 0.51. Festgestellt wurden auch geringe Gehalte von Na₂O (bis 0,16 Gew. %) (Tab. 14).

Tabelle 14: Cordieritanalyse ML05-16

Mineral	5161cd1 crd	5161cd2 crd	5161cd3 crd	5161cd4 crd	5162cd1 crd	5162cd2 crd
SiO ₂	47,97	47,83	47,80	47,64	47,72	47,63
Al ₂ O ₃	32,60	32,49	32,46	32,33	32,49	32,13
FeO	12,66	12,44	11,88	12,49	11,72	12,03
MnO	0,17	0,12	0,14	<0.1	<0.1	<0.1
MgO	6,04	6,19	6,27	6,08	6,72	6,18
Na ₂ O	0,12	0,11	0,10	0,16	0,15	0,16
Total	99,56	99,18	98,65	98,70	98,80	98,13
Si	4,979	4,978	4,988	4,983	4,970	4,999
Al	3,988	3,986	3,992	3,985	3,988	3,975
Fe ₂	1,099	1,083	1,037	1,092	1,021	1,056
Mn	0,015	0,011	0,012	0,000	0,000	0,000
Mg	0,935	0,960	0,975	0,948	1,043	0,967
Na	0,024	0,022	0,020	0,032	0,030	0,033
Sum	11,040	11,040	11,024	11,040	11,052	11,030
Xmg	0,460	0,470	0,485	0,465	0,505	0,478

4.4 Probe ML07-1B

Die Messpunkte wurden im BSE Bild eingetragen (*Anhang: Abb. 43-45*).

Mit Xmg zwischen 0,559 und 0,637 liegen die Cordierite von ML07-1B auf der Seite des Magnesiums. Weiters haben sie MnO (bis 0,19 bis 0,45 Gew.%) und Na₂O (bis 0,18 Gew. %) eingebaut (*Tab 15*).

Tabelle 15: Cordieritanalyse ML07-1B

	71B1cd1	71B1cd2	71B1cd3	71B1cd4	71B1cd5
Mineral	crd	crd	crd	crd	crd
SiO ₂	48,57	48,99	48,86	48,77	49,36
Al ₂ O ₃	33,36	33,18	33,15	33,03	33,58
FeO	10,40	10,10	9,38	10,06	10,28
MnO	0,30	0,43	0,43	0,43	0,45
MgO	7,40	7,64	7,80	7,32	7,42
Na ₂ O	0,12	0,14	<0.1	0,16	0,10
Total	100,15	100,48	99,62	99,77	101,19
Si	4,961	4,983	4,992	4,994	4,985
Al	4,016	3,977	3,992	3,986	3,997
Fe ₂	0,888	0,859	0,802	0,862	0,868
Mn	0,026	0,037	0,037	0,037	0,038
Mg	1,127	1,158	1,188	1,117	1,117
Na	0,024	0,028	0,000	0,032	0,020
Sum	11,042	11,042	11,011	11,028	11,025
Xmg	0,559	0,574	0,597	0,564	0,563
71B1cd6	71B2cd1	71B2cd2	71B2cd3	71B2cd4	71B2cd5
crd	crd	crd	crd	crd	crd
49,07	48,76	48,32	48,27	48,19	48,66
33,14	33,18	32,84	32,24	32,86	32,71
10,02	9,50	9,28	9,52	9,68	8,74
0,63	0,20	0,19	0,36	0,34	0,29
7,32	8,15	7,90	7,71	7,65	8,60
0,00	0,00	0,13	0,18	0,14	0,12
100,18	99,79	98,66	98,28	98,86	99,12
5,003	4,974	4,984	5,009	4,974	4,987
3,982	3,989	3,992	3,943	3,997	3,951
0,854	0,811	0,800	0,826	0,836	0,749
0,054	0,017	0,017	0,032	0,030	0,025
1,113	1,239	1,215	1,193	1,177	1,314
0,000	0,000	0,026	0,036	0,028	0,024
11,006	11,030	11,034	11,039	11,042	11,050
0,566	0,604	0,603	0,591	0,585	0,637

Die Biotite sind eisenreich (Xmg 0,389 bis 0,434). Der TiO₂ Gehalt beträgt 2,82 bis 4,18 Gew.%, zu geringen Teilen wurde auch Na₂O (bis 0,21 Gew.%) gemessen (Tab. 16).

Tabelle 16: Biotitanalyse ML07-1B

	71B1bt1	71B1bt2	71B1bt3	71B1bt4	71B1bt5
Mineral	bt	bt	bt	bt	bt
SiO ₂	35,03	34,85	35,23	34,92	34,73
TiO ₂	3,79	3,07	2,82	3,38	3,99
Al ₂ O ₃	19,29	18,95	19,22	18,84	18,26
FeO	21,00	20,61	21,00	20,98	21,38
MnO	0,06	0,20	0,23	0,13	0,11
MgO	7,50	8,08	8,64	8,42	7,89
Na ₂ O	0,21	0,19	0,16	0,10	0,16
K ₂ O	9,28	9,22	9,48	9,33	9,27
Total	96,16	95,17	96,78	96,20	95,79
Si	2.661	2.675	2.663	2.657	2.661
Ti	0.217	0.177	0.160	0.193	0.230
Al	1.727	1.714	1.712	1.689	1.649
Fe ₂	1.334	1.323	1.328	1.335	1.370
Mn	0.004	0.013	0.015	0.008	0.007
Mg	0.850	0.924	0.974	0.955	0.901
Na	0.031	0.028	0.023	0.015	0.024
K	0.900	0.903	0.914	0.906	0.906
Sum	7.724	7.757	7.789	7.758	7.748
Xmg	0.389	0.411	0.423	0.417	0.397
71B1bt6	71B2bt1	71B2bt2	71B2bt3	71B2bt4	71B2bt5
bt	bt	bt	bt	bt	bt
34,16	35,19	34,87	35,22	35,26	34,51
4,03	3,41	3,40	3,40	4,05	4,18
18,86	19,27	18,85	18,50	18,84	18,83
20,40	20,63	20,30	20,95	20,90	20,64
0,16	0,18	0,14	0,14	0,20	0,24
7,65	8,88	8,70	8,48	8,45	7,57
0,14	0,16	0,17	0,17	0,10	0,16
9,15	9,30	9,24	9,15	9,55	9,44
94,55	97,02	95,67	96,01	97,35	95,57
2.641	2.646	2.658	2.680	2.650	2.645
0.234	0.193	0.195	0.195	0.229	0.241
1.718	1.708	1.694	1.659	1.669	1.701
1.319	1.297	1.294	1.333	1.314	1.323
0.010	0.011	0.009	0.009	0.013	0.016
0.882	0.995	0.989	0.962	0.947	0.865
0.021	0.023	0.025	0.025	0.015	0.024
0.902	0.892	0.899	0.888	0.916	0.923
7.727	7.765	7.763	7.751	7.753	7.738
0.401	0.434	0.433	0.419	0.419	0.395

Die Granate haben eine Almandinkomponente von ~75% und Pyrop- und Spessartinkomponenten von 10-12%. Messungen von Kern und Rand zeigten keine aussagekräftigen Unterschiede. Bei allen wurden auch geringe Mengen an dreiwertigem Eisen rechnerisch festgestellt (Tab. 17).

Tabelle 17: Granatanalyse ML07-1B

	71B1gt1	71B1gt2	71B1gt3	71B1gt4	71B1gt5	71B1gt6
Mineral	grt	grt	grt	grt	grt	grt
SiO ₂	37,27	36,97	36,96	36,83	36,64	36,46
Al ₂ O ₃	21,15	21,11	20,71	21,40	20,98	20,50
FeO	35,69	35,82	36,06	35,86	35,31	34,66
MnO	4,31	4,12	4,15	4,85	5,08	4,57
MgO	3,16	3,02	3,01	2,89	2,42	2,89
CaO	0,95	0,91	0,93	0,89	0,92	0,88
Total	102,53	101,95	101,82	102,72	101,35	99,96
Si	2,940	2,935	2,941	2,905	2,937	2,954
Al	1,966	1,975	1,942	1,990	1,982	1,958
Fe ₃	0,154	0,155	0,175	0,200	0,143	0,134
Fe ₂	2,200	2,223	2,225	2,166	2,224	2,215
Mn	0,288	0,277	0,280	0,324	0,345	0,314
Mg	0,372	0,357	0,357	0,340	0,289	0,349
Ca	0,080	0,077	0,079	0,075	0,079	0,076
Sum	8,000	7,999	7,999	8,000	7,999	8,000
Xmg	0,145	0,138	0,138	0,136	0,115	0,136
Xalm	0,748	0,758	0,757	0,746	0,757	0,750
Xsps	0,098	0,094	0,095	0,112	0,117	0,106
Xpyr	0,127	0,122	0,121	0,117	0,098	0,118
Xgrs	0,027	0,026	0,027	0,026	0,027	0,026

Die Plagioklase sind besonders Natrium reich ~70%, der Kalium Anteil ist nur sehr gering (bis 0,35 Gew.%) (Tab. 18).

Tabelle 18: Plagioklasanalyse ML07-1B

	71B1pl1	71B1pl2	71B1pl3	71B1pl4	71B1pl5	71B1pl6	71B2pl2	71B2pl3	71B2pl4
Mineral	plag	plag	plag	plag	plag	plag	plag	plag	plag
SiO ₂	62,42	62,81	62,80	62,54	61,92	61,78	62,34	63,23	63,34
Al ₂ O ₃	24,62	24,54	24,29	24,02	24,36	24,47	24,59	24,45	24,69
CaO	5,93	5,64	5,36	5,20	5,67	5,75	5,74	5,40	5,40
Na ₂ O	8,01	8,18	8,22	8,40	7,76	8,18	7,90	8,09	8,24
K ₂ O	0,35	0,17	0,16	0,22	0,36	0,14	0,27	<0.1	0,10
Total	101,33	101,34	100,83	100,38	100,20	100,32	100,97	101,17	102,07
Si	2,733	2,745	2,755	2,758	2,738	2,731	2,736	2,759	2,746
Al	1,271	1,264	1,256	1,248	1,269	1,275	1,272	1,258	1,261
Ca	0,278	0,264	0,252	0,246	0,269	0,272	0,270	0,252	0,251
Na	0,680	0,693	0,699	0,718	0,665	0,701	0,672	0,685	0,693
K	0,020	0,009	0,009	0,012	0,020	0,008	0,015	0,000	0,006
Sum	4,982	4,975	4,971	4,982	4,961	4,987	4,965	4,954	4,957
Xab	0,695	0,717	0,728	0,736	0,697	0,715	0,702	0,731	0,729
Xan	0,284	0,273	0,263	0,252	0,282	0,277	0,282	0,269	0,264
Xkfs	0,020	0,009	0,009	0,012	0,021	0,008	0,016	0,000	0,006

4.5 Probe ML09-16

Die Messpunkte wurden im BSE Bild eingetragen (*Anhang: Abb. 46*).

Die gemessenen Amphibole sind Magnesihornblenden (Xmg bis 0,769). Geringe Gehalte an Cr₂O₃ (bis 0,32 Gew.%), TiO₂ (bis 1,15 Gew.%) und F (bis 0,54 Gew.%) wurden ebenfalls festgestellt (*Tab. 19*).

Tabella 19: Amphibolanalyse ML09-16

Mineral	916am1	916am2	916am3	916am4
	magnesi ohb	magnesi ohb	magnesi ohb	magnesi ohb
SiO ₂	50,92	50,67	53,64	51,72
TiO ₂	1,15	1,14	0,57	0,96
Al ₂ O ₃	5,32	5,80	3,29	4,62
Cr ₂ O ₃	0,32	0,22	0,12	0,19
FeO	10,75	10,46	10,45	10,86
MnO	0,16	0,21	0,13	0,26
MgO	16,60	16,70	18,09	16,91
CaO	11,52	11,43	11,75	11,58
Na ₂ O	0,45	0,51	0,27	0,38
K ₂ O	0,46	0,42	0,25	0,27
F	0,43	0,54	0,51	0,48
Total	97,90	97,87	98,86	98,03
Si	7,276	7,232	7,540	7,366
Ti	0,124	0,122	0,060	0,103
Al	0,896	0,976	0,545	0,775
Cr	0,036	0,025	0,013	0,021
Fe ₃	0,186	0,215	0,196	0,216
Fe ₂	1,099	1,034	1,033	1,077
Mn	0,019	0,025	0,015	0,031
Mg	3,536	3,553	3,791	3,590
Ca	1,764	1,748	1,770	1,767
Na	0,125	0,141	0,074	0,105
K	0,084	0,076	0,045	0,049
F	0,194	0,244	0,227	0,216
Sum	15,339	15,391	15,309	15,316
Xmg	0,763	0,775	0,786	0,769

Die Biotite haben Xmg Werte von 0,561 bis 0,676. Ebenfalls gemessenen wurden Cr₂O₃ (bis 0,35 Gew.%), F (bis 0,86 Gew.%) und Cl (bis 0,15 Gew.%) (Tab. 20).

Tabelle 20: Biotitanalyse ML09-16

Mineral	916bt1 bt	916bt2 bt	916bt3 bt	916bt4 bt
SiO ₂	37,87	35,95	37,82	37,93
TiO ₂	4,96	4,40	4,61	4,99
Al ₂ O ₃	13,76	13,82	14,02	13,94
Cr ₂ O ₃	0,26	0,28	0,35	0,28
FeO	13,32	17,84	13,72	13,63
MnO	0,11	0,13	<0.1	<0.1
MgO	15,55	12,79	15,91	14,89
Na ₂ O	0,11	0,10	0,10	0,12
K ₂ O	8,98	8,23	9,30	9,22
F	0,81	0,55	0,85	0,86
Cl	0,00	0,12	0,11	0,15
Total	95,39	93,95	96,41	95,61
Si	2,813	2,771	2,792	2,820
Ti	0,277	0,255	0,256	0,279
Al	1,205	1,255	1,220	1,222
Cr	0,015	0,017	0,020	0,016
Fe ₂	0,827	1,150	0,847	0,848
Mn	0,007	0,008	0,000	0,000
Mg	1,722	1,470	1,751	1,651
Na	0,016	0,015	0,014	0,017
K	0,851	0,809	0,876	0,875
F	0,190	0,134	0,198	0,202
Cl	0,000	0,016	0,014	0,019
Sum	7,923	7,900	7,988	7,949
Xmg	0,676	0,561	0,674	0,661

Sowohl die Orthopyroxene (X_{mg} bis 0,628) als auch die Clinopyroxene (X_{mg} bis 0,757) haben hohe Magnesiumgehalte. Der Unterschied der Pyroxene wird vor allem am erhöhten Calcium Gehalt der Cpx deutlich, weiters haben sie geringe Anteile an Na₂O (Tab. 21).

Tabelle 21: Pyroxenanalyse ML09-16

	916px1	916px2	916px3	916px4	916px5	916px6
Mineral	opx	opx	opx	opx	cpx	cpx
SiO ₂	52,65	52,87	52,54	52,45	52,92	52,40
TiO ₂	0,16	<0.1	0,18	0,15	0,26	0,27
Al ₂ O ₃	0,54	0,52	0,58	0,55	0,81	0,69
FeO	23,76	24,65	25,38	24,33	8,13	8,63
MnO	0,59	0,64	0,72	0,69	0,24	0,33
MgO	21,60	21,01	20,21	21,06	14,24	14,17
CaO	0,93	0,91	0,83	0,69	22,29	22,16
Na ₂ O	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0,15	0,12
Total	100,23	100,60	100,44	99,92	99,04	98,77
Si	1,969	1,978	1,979	1,974	1,985	1,977
Ti	0,004	0,000	0,005	0,004	0,007	0,008
Al	0,024	0,023	0,026	0,024	0,036	0,031
Fe ₃	0,030	0,022	0,007	0,019	0,000	0,009
Fe ₂	0,713	0,749	0,793	0,747	0,255	0,264
Mn	0,019	0,020	0,023	0,022	0,008	0,011
Mg	1,204	1,172	1,135	1,182	0,796	0,797
Ca	0,037	0,036	0,033	0,028	0,896	0,896
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,009
Sum	4,000	4,000	4,001	4,000	3,994	4,002
X _{mg}	0,628	0,610	0,589	0,613	0,757	0,751

Die Plagioklase haben eine Anorthitkomponente von ~88%. Minimal wird auch Magnesium und dreiwertiges Eisen eingebaut (Tab. 22).

Tabelle 22: Plagioklasanalyse ML09-16

	916pl1	916pl2	916pl3	916pl4	916pl5
Mineral	plag	plag	plag	plag	plag
SiO ₂	46,19	45,93	45,77	46,05	45,95
Al ₂ O ₃	33,46	34,24	34,42	33,79	33,82
Fe ₂ O ₃	<0.1	0,20	<0.1	<0.1	<0.1
MgO	<0.1	<0.1	0,17	<0.1	<0.1
CaO	17,83	18,05	17,80	17,78	17,81
Na ₂ O	1,23	1,31	1,32	1,37	1,46
Total	98,71	99,73	99,48	98,99	99,04
Si	2,151	2,121	2,117	2,139	2,135
Al	1,836	1,864	1,876	1,850	1,852
Mg	0,000	0,000	0,012	0,000	0,000
Ca	0,889	0,893	0,882	0,885	0,887
Na	0,111	0,117	0,118	0,123	0,132
Sum	4,987	4,995	5,005	4,997	5,006
X _{ab}	0,111	0,116	0,118	0,122	0,130
X _{an}	0,889	0,884	0,882	0,878	0,870

4.6 Probe BA7

Die Messpunkte wurden im BSE Bild eingetragen (*Anhang: Abb. 47-48*).

Die Biotite der Probe BA7 haben ein ausgeglichenes Verhältnis von Magnesium und Eisen. Sie enthalten ebenfalls geringe Gehalte an BaO (bis 0,34 Gew.%), Na₂O (bis 0,28 Gew.%) und F (bis 0,52 Gew.%) (*Tab. 23*).

Tabelle 23: Biotitanalyse BA7

Mineral	BA71bt1	BA71bt2	BA72bt1	BA72bt2
	bt	bt	bt	bt
SiO ₂	36,27	36,72	36,62	36,33
TiO ₂	4,87	4,22	3,32	3,69
Al ₂ O ₃	15,88	16,05	16,08	15,83
FeO	19,18	17,97	18,92	18,35
MnO	<0.1	<0.1	0,10	<0.1
MgO	10,27	11,22	11,21	11,59
BaO	0,22	0,20	0,34	<0.1
Na ₂ O	0,10	<0.1	0,28	0,15
K ₂ O	9,82	9,67	8,83	9,26
F	0,42	0,50	0,52	0,41
Total	96,85	96,34	96,00	95,44
Si	2,738	2,763	2,772	2,759
Ti	0,276	0,239	0,189	0,211
Al	1,413	1,424	1,435	1,417
Fe ₂	1,211	1,131	1,198	1,165
Mn	0,000	0,000	0,006	0,000
Mg	1,156	1,259	1,265	1,312
Ba	0,007	0,006	0,010	0,000
Na	0,015	0,000	0,041	0,022
K	0,946	0,928	0,853	0,897
F	0,100	0,119	0,124	0,098
Sum	7,862	7,869	7,893	7,881
Xmg	0,488	0,527	0,514	0,530

Die Granate haben eine Almandinkomponente von 66% bis 70% und eine Pyropkomponente von 18% bis 20%. Die Messungen BA71gt1 (Kern) und BA71gt2 (Rand) zeigen eine sehr kleine Zonierung an (Tab. 24).

Tabelle 24: Granatanalyse BA7

	BA71gt1	BA71gt2	BA72gt1	BA72gt2
Mineral	grt	grt	grt	grt
SiO ₂	37,79	38,19	37,73	37,59
Al ₂ O ₃	20,51	20,78	21,03	20,45
Fe ₂ O ₃	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
FeO	31,13	32,11	32,04	32,61
MnO	2,39	2,58	2,40	2,28
MgO	5,02	4,49	4,61	4,49
CaO	3,11	2,63	2,38	2,42
Total	99,95	100,78	100,19	99,84
Si	2,998	3,018	2,995	3,002
Al	1,918	1,935	1,968	1,925
Fe ₃	0,086	0,028	0,041	0,072
Fe ₂	1,979	2,094	2,086	2,106
Mn	0,161	0,173	0,161	0,154
Mg	0,594	0,529	0,546	0,535
Ca	0,264	0,223	0,202	0,207
Sum	8,000	8,000	7,999	8,001
Xmg	0,231	0,202	0,207	0,203
Xalm	0,660	0,694	0,696	0,702
Xsps	0,054	0,057	0,054	0,051
Xpyr	0,198	0,175	0,182	0,178
Xgrs	0,088	0,074	0,067	0,069

Das Eisen-Magnesium Verhältnis der Orthopyroxene liegt nur knapp auf Seiten des Magnesiums (X_{Mg} 0,523 bis 0,533). Einige haben geringe Mengen an TiO₂ (bis 0,16 Gew.%) und Na₂O (bis 0,16 Gew.%) (Tab. 25).

Tabelle 25: Orthopyroxenanalyse BA7

	BA71op1	BA71op2	BA71op3	BA72op1	BA72op2	BA72op3
Mineral	opx	opx	opx	opx	opx	opx
SiO ₂	54,08	54,36	52,97	54,01	53,24	54,00
TiO ₂	<0.1	0,13	<0.1	0,16	0,15	0,12
Al ₂ O ₃	1,31	1,89	1,71	1,43	1,78	1,63
FeO	26,26	25,42	25,80	25,94	26,04	26,44
MnO	0,47	0,59	0,54	0,49	0,50	0,40
MgO	16,34	16,15	15,87	16,63	16,25	16,27
CaO	0,28	0,25	0,21	0,22	0,26	0,22
Na ₂ O	<0.1	0,16	<0.1	<0.1	0,15	<0.1
Total	98,74	98,95	97,10	98,88	98,37	99,08
Si	2,060	2,058	2,052	2,052	2,039	2,051
Ti	0,000	0,004	0,000	0,005	0,004	0,003
Al	0,059	0,084	0,078	0,064	0,080	0,073
Fe ₂	0,837	0,805	0,836	0,824	0,834	0,840
Mn	0,015	0,019	0,018	0,016	0,016	0,013
Mg	0,928	0,911	0,917	0,942	0,928	0,921
Ca	0,011	0,010	0,009	0,009	0,011	0,009
Na	0,000	0,012	0,000	0,000	0,011	0,000
Sum	3,910	3,903	3,910	3,912	3,923	3,910
X _{Mg}	0,526	0,531	0,523	0,533	0,527	0,523

Der Plagioklas bei Messung BA71pg1 und pg2 ist eher anorthitreich, wohingegen bei BA72pl1 und pl2 etwas mehr Albit vorhanden ist (Tab. 26).

Tabelle 26: Plagioklasanalyse BA7

	BA71pl1	BA71pl2	BA72pl1	BA72pl2
Mineral	plag	plag	plag	plag
SiO ₂	56,32	56,04	57,22	57,45
Al ₂ O ₃	28,59	28,96	27,98	27,73
CaO	11,26	11,30	10,51	10,38
Na ₂ O	5,59	5,43	6,07	6,23
Total	101,76	101,73	101,78	101,79
Si	2,494	2,482	2,528	2,538
Al	1,492	1,512	1,457	1,444
Ca	0,534	0,536	0,498	0,491
Na	0,480	0,466	0,520	0,534
Sum	5,000	4,996	5,003	5,007
X _{ab}	0,473	0,465	0,511	0,521
X _{an}	0,527	0,535	0,489	0,479

4.7 Probe BA10

Die Messpunkte wurden im BSE Bild eingetragen (*Anhang: Abb. 49-50*).

Die Granate sind besonders eisenreich und zeigen eine leichte Zonierung und einen Anstieg des Eisengehalts von knapp 5% vom Kern zum Rand (*Tab. 27*).

Tabelle 27: Granatanalyse BA10

	BA101g1	BA101g2	BA101g3
Mineral	grt	grt	grt
SiO ₂	37,83	37,24	37,33
Al ₂ O ₃	21,11	20,34	20,62
FeO	36,83	37,91	36,77
MnO	0,89	0,99	0,75
MgO	3,89	2,53	3,70
CaO	1,11	1,07	1,23
Total	101,66	100,08	100,40
Si	2,989	3,019	2,991
Al	1,966	1,944	1,947
Fe ₃	0,056	0,018	0,071
Fe ₂	2,377	2,553	2,392
Mn	0,060	0,068	0,051
Mg	0,458	0,306	0,442
Ca	0,094	0,093	0,106
Sum	8,000	8,001	8,000
Xmg	0,162	0,107	0,156
Xalm	0,795	0,845	0,800
Xsps	0,020	0,023	0,017
Xpyr	0,153	0,101	0,148
Xgrs	0,031	0,031	0,035

Probe BA10 enthält im Gegensatz zu den anderen Proben fast ausschließlich Kalifeldspat, jedoch mit einem Albitanteil von bis zu 22,7% und sehr geringe Mengen an Calcium. 0,39 bis 0,57 Gew.% an BaO wurden ebenfalls gemessen (Tab. 28).

Tabelle 28: Kalifeldspatanalyse BA10

	BA101k1	BA101k2	BA101k3	BA102k1
Mineral	kf	kf	kf	kf
SiO ₂	66,18	66,16	66,28	66,38
Al ₂ O ₃	18,62	18,86	18,58	19,34
MgO	0,14	0,11	<0.1	<0.1
CaO	0,13	0,18	<0.1	<0.1
BaO	0,57	0,76	0,72	0,39
Na ₂ O	2,30	1,57	2,29	2,57
K ₂ O	13,58	14,22	13,82	13,31
Total	101,52	101,86	101,69	101,99
Si	2,996	2,992	3,000	2,982
Al	0,993	1,005	0,991	1,024
Mg	0,009	0,007	0,000	0,000
Ca	0,006	0,009	0,000	0,000
Ba	0,010	0,013	0,013	0,007
Na	0,202	0,138	0,201	0,224
K	0,784	0,820	0,798	0,763
Sum				
Xab	0,204	0,143	0,201	0,227
Xan	0,006	0,009	0,000	0,000
Xkfs	0,790	0,848	0,799	0,773

Die Biotite haben einen Xmg Wert zwischen 0,359 und 0,453. 1,36 bis 3,01 Gew.% TiO₂ und geringe Mengen an Na₂O (0,15 bis 0,2 Gew.%) sind ebenso enthalten (Tab. 29).

Tabelle 29: Biotitanalyse BA10

	BA101b1	BA101b2	BA102b1
Mineral	bt	bt	bt
SiO ₂	34,79	34,10	35,25
TiO ₂	2,36	3,01	1,36
Al ₂ O ₃	19,83	19,24	20,68
FeO	21,31	22,07	19,73
MgO	6,71	6,80	9,18
Na ₂ O	0,20	0,17	0,15
K ₂ O	9,37	9,35	9,24
Total	94,57	94,74	95,59
Si	2,692	2,652	2,668
Ti	0,137	0,176	0,077
Al	1,808	1,763	1,845
Fe ₂	1,379	1,435	1,249
Mg	0,774	0,788	1,036
Na	0,030	0,026	0,022
K	0,925	0,928	0,892
Sum	7,745	7,768	7,789
Xmg	0,359	0,354	0,453

Ein ausgeglichenes Eisen-Magnesium Verhältnis und geringe Mengen an Na₂O (bis 0,16 Gew.%) zeichnen die Cordierite aus. Eine Messung zeigt zusätzlich noch einen Einbau von 0,13 Gew.% MnO (Tab. 30).

Tabelle 30: Cordieritanalyse BA10

	BA101c1	BA101c2	BA101c3
Mineral	crd	crd	crd
SiO ₂	48,62	48,63	49,10
Al ₂ O ₃	32,30	31,97	32,32
FeO	11,62	11,85	11,70
MnO	0,13	<0.1	<0.1
MgO	6,84	6,45	6,76
Na ₂ O	0,13	0,14	0,16
Total	99,64	99,04	100,04
Si	5,015	5,047	5,040
Al	3,927	3,910	3,910
Fe ₂	1,002	1,029	1,004
Mn	0,011	0,000	0,000
Mg	1,052	0,998	1,034
Na	0,026	0,028	0,032
Sum	11,033	11,012	11,020
Xmg	0,512	0,492	0,507

4.7.1 Granatprofil

Durch den größten Granat der Probe BA10 (*Abb. 31*) wurde ein Profil gelegt um eine mögliche Zonierung festzustellen. Wie alle Granate hat er einen hohen Almandin Gehalt von 78% bis 85% mit einem Anstieg vom Kern zum Rand und einem gleichzeitigen Abfall von Magnesium. Die Grossular und Spessartin Komponente ist mit jeweils 1% bis 3% ebenfalls wie bei den übrigen Messungen sehr gering.

Der Plot der vier Endglieder (*Abb. 33*) zeigt, dass es sich eigentlich um zwei Granatkörner handelt, welche verwachsen sind und beide zeigen eine leichte Zonierung. Jeweils zum Rand hin nimmt der Almandin Anteil zu (um etwa 7%) während der Pyrop Anteil um den selben Betrag abnimmt. Grossular und Spessartin bleiben über das ganze Profil hinweg ca. konstant niedrig.

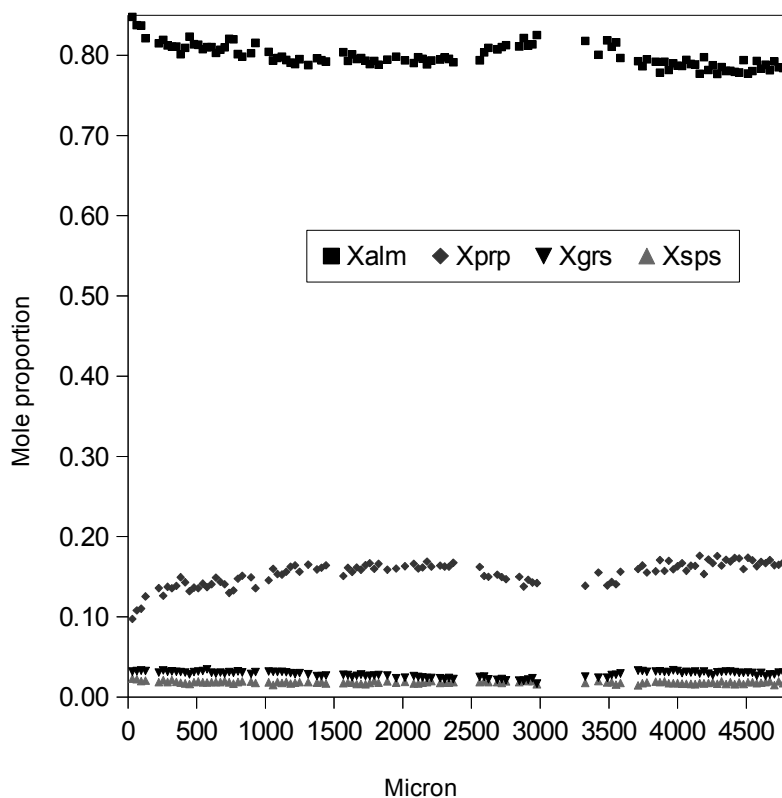


Abbildung 33: Granatprofil Plot 1

Bei genauerer Betrachtung der Calcium und Mangan Endglieder, ist ebenfalls eine leichte Zonierung erkennbar (Abb. 34). Spessartin nimmt ähnlich der Eisenkomponente im Randbereich zu (um etwa 2%) während der Grossularanteil im Kernbereich höher ist.

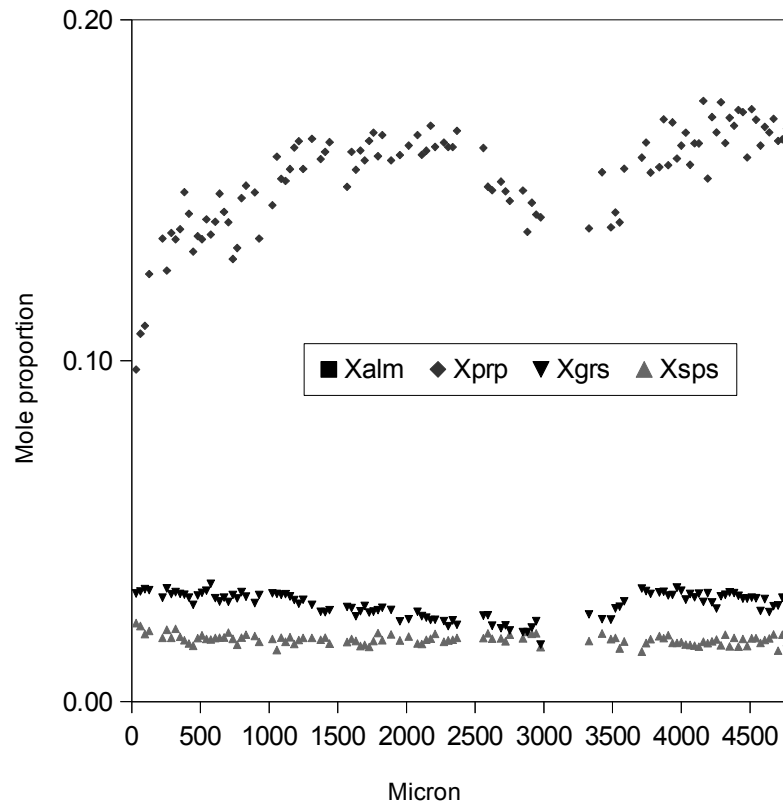


Abbildung 34: Granatprofil Plot2

5 Geothermobarometrie

Die Methoden der Geothermobarometrie versuchen die Bildungsbedingungen metamorpher Gesteine zu rekonstruieren. Sie beruht auf Mineralreaktionen wie Kationenaustausch oder Mineralneubildung. Die beobachteten Mineralphasen stehen nur unter bestimmten Druck- und Temperaturbedingungen im chemischen Gleichgewicht, dadurch können anhand der chemischen Analysen Rückschlüsse auf diese gezogen werden.

Von zwei der analysierten Proben wurden im Programm PET (Dachs, 2004) Druck-Temperatur-Plots angefertigt, wobei verschiedene Thermometer verwendet wurden:

Probe ML09-16: Cpx-Opx Solvus Thermometer (*Brey & Köhler, 1990*)

Opx-Bt Thermometer (*Sengupta et al, 1990*)

Probe ML07-1B: Grt-Bt Thermometer (*Holdaway, 2000*)

Grt-Bt-Plg Thermometer (*Hoisch, 1990*)

Weiters wurde bei Probe BA7 das Programm winTWQ Version 2.34 (*Berman, 1991*) genutzt um PT Bedingungen abzuleiten. Die Minerale Granat, Biotit, Plagioklas, Quartz und Orthopyroxen wurden dabei für die Berechnung herangezogen. Verwendet wurden dazu die thermodynamischen Aktivitätswerte der programm-eigenen Mineraldatenbank (*Berman and Aranovich, 1996*).

Der Temperaturbereich der Probe ML09-16 liegt zwischen 770 und 800 °C (Abb. 35).

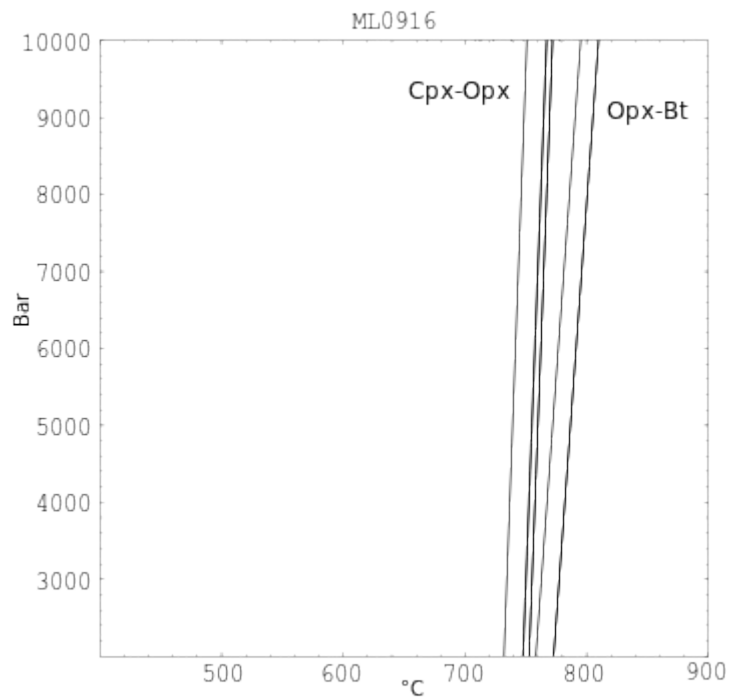


Abbildung 35: PT-Plot ML09-16

Probe ML07-1B zeigt Temperaturen zwischen 600 und 700 °C und einen Druck von 3-5 kbar (Abb. 36).

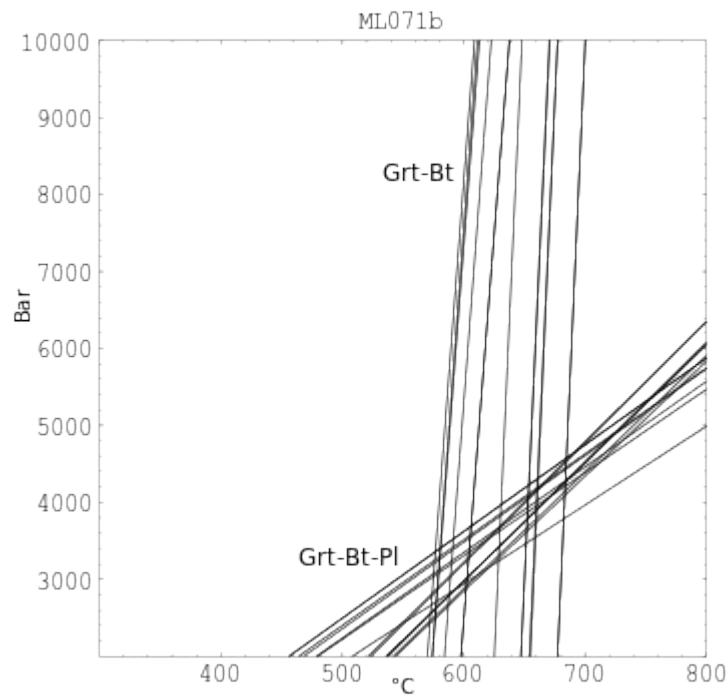


Abbildung 36: PT-Plot ML07-1B

Bei Probe BA7 wurden drei Gleichgewichtsreaktionen geplottet, eine Überschneidung der Linien zeigt eine Temperatur von etwa 770°C und einen Druck von Rund 6 kbar (Abb. 37). Die verwendeten Reaktionen sind:

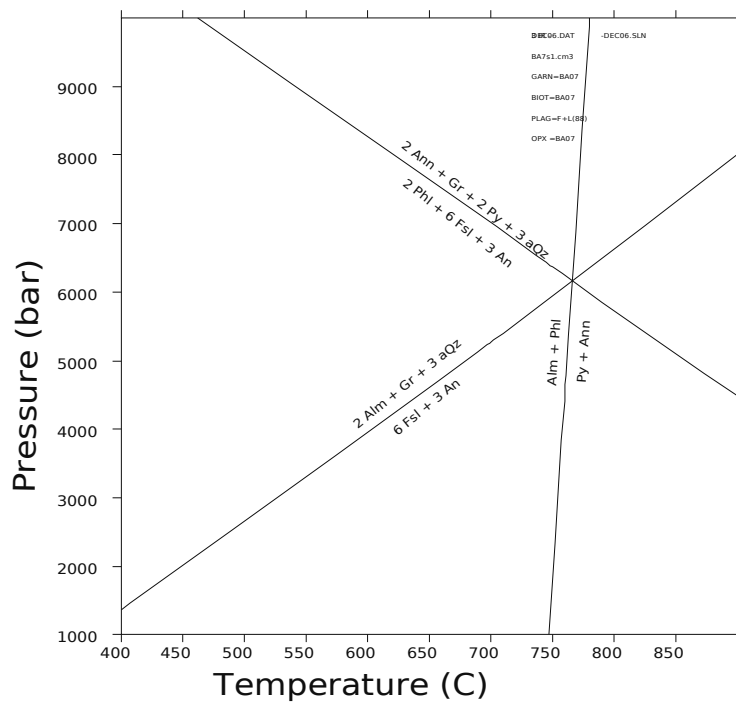
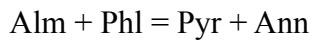
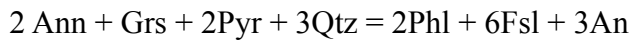


Abbildung 37: PT-Plot BA7

6 Diskussion und Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden granulitfazielle Metmorphite aus der Bavarischen Einheit der Böhmisches Masse behandelt. Ziel war es die Proben petrographisch genau zu beschreiben, Mineraltexturen zu dokumentieren und die chemische Zusammensetzung der Minerale zu bestimmen. Aus den chemischen Mineralanalysen wurden exemplarisch an 3 Proben Metamorphosebedingungen abgeleitet.

Die vorkommenden Gesteine sind migmatische Gneise, Cordierit-Granat-Granulite, mafische Granulite und Amphibolite. Es handelt sich vor allem um metasedimentäre Einheiten, welche bei hoher Temperatur (~770°C und 5-6 kbar) metamorph überprägt und zum Teil stark aufgeschmolzen wurden.

Die Granate zeigen im allgemeinen eine Almandin reiche Zusammensetzung ($X_{\text{Alm}} \sim 0,80$). Der Granatzonarbau zeigt ein einphasiges Wachstum an, eine leichte Almandin Zunahme und Pyrop Abnahme im Randbereich ist typisch für eine retrograde Diffusionszonierung während der Abkühlung.

Cordierit ist weit verbreitet und konnte in vielen der Proben beobachtet werden, er kommt gemeinsam mit Biotit, Sillimanit und Granat vor, wobei der Cordierit auf Kosten des Granats wächst. Eine mögliche Reaktion hierfür wäre:



7 Literatur

- [1] (Linner, Mandl und Rupp, 2011);
Christian Rupp, Manfred Linner & Gerhard W. Mandl (Redaktion, 2011, "Erläuterungen, geologische Karte von Oberösterreich 1:200 000"
- [2] (F.K.Bauer, 1980);
Der geologische Aufbau Österreichs, 1980, hrsg. Von der Geologischen Bundesanstalt, Beitr. Von F.K.Bauer
- [3] (Weblink);
<http://www.biowin.at/all/Geologie/geoloe/boehm/boehm02.htm>
- [4] (Weblink);
http://www.geologie.ac.at/RockyAustria/boehmische_masse.htm
- [5] (Dachs, 1998);
Edgar Dachs (1998): PET: Petrological elementary tools for Mathematica. Computers & Geosciences 24/3:219-235
- [6] (Holdaway, 2000);
M.J. Holdaway, 2000, "Application of new experimental and garnet Margules data to the garnet–biotite geothermometer" American Mineralogist 85, 881–892.
- [7] (Hoisch, 1990);
T.D. Hoisch, 1990, "Empirical calibration of six geobarometers for the mineral assemblage quartz + muscovite + biotite + plagioclase + garnet. Contributions to Mineralogy and Petrology 104, 225–234.
- [8] (Berman, 1991);
R. G. Berman, 1991, "Thermobarometry using multi-equilibrium calculations : a new technique, with petrological applications", Canadian Mineralogist, v. 29, p. 833–855.
- [9] (Berman and Aranovich, 1996);
R.G. Berman, L.Y. Aranovich (1996) "Optimized standard state and mixing properties of minerals: I. Model calibration for olivine, orthopyroxene, cordierite, garnet, and ilmenite in the system FeO – MgO – CaO – Al₂O₃ – SiO₂ – TiO₂ ", Contributions to Mineralogy and Petrology 126: 1–24

8 Anhang

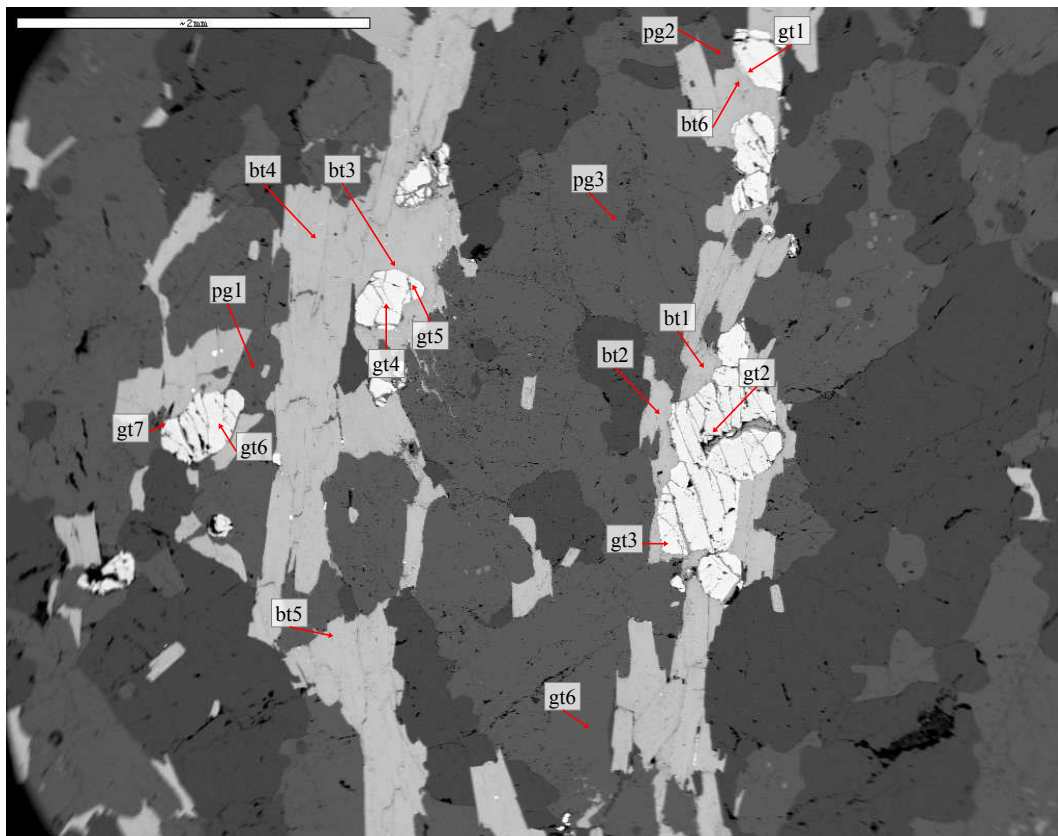


Abbildung 38: Messpunkte ML04-68. Maßstabbalken: 2mm.

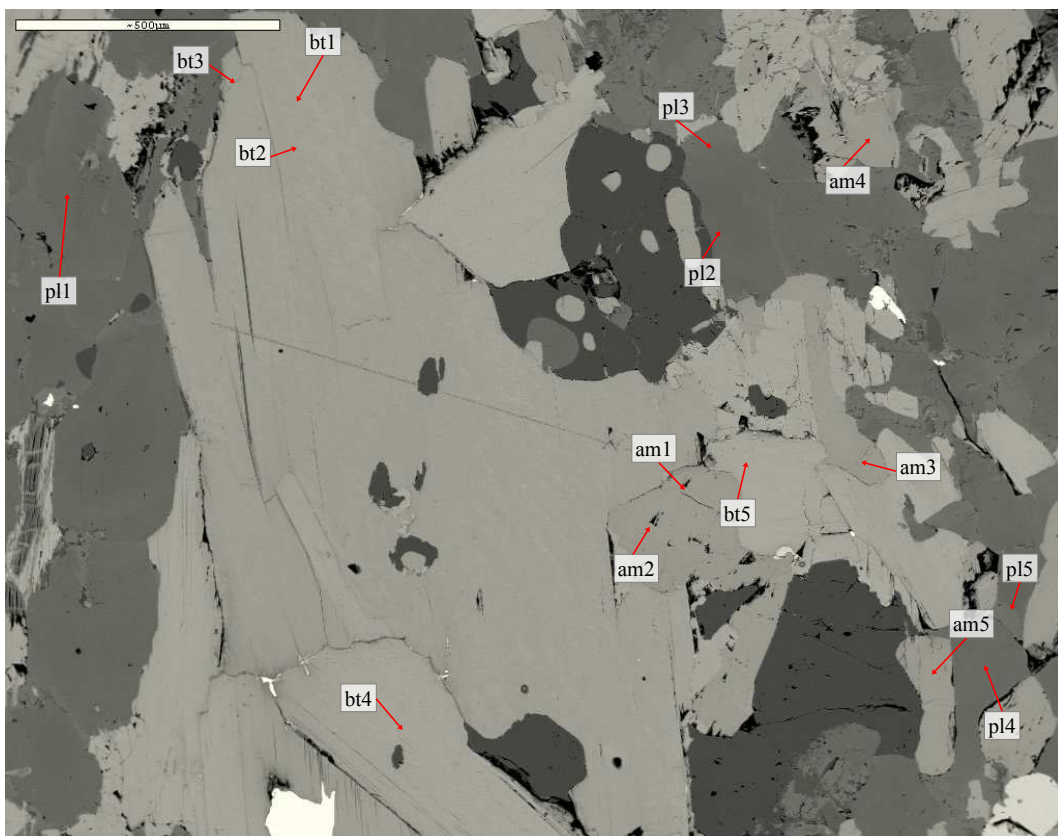


Abbildung 39: Messpunkte ML05-15. Maßstabbalken: 0,5mm.

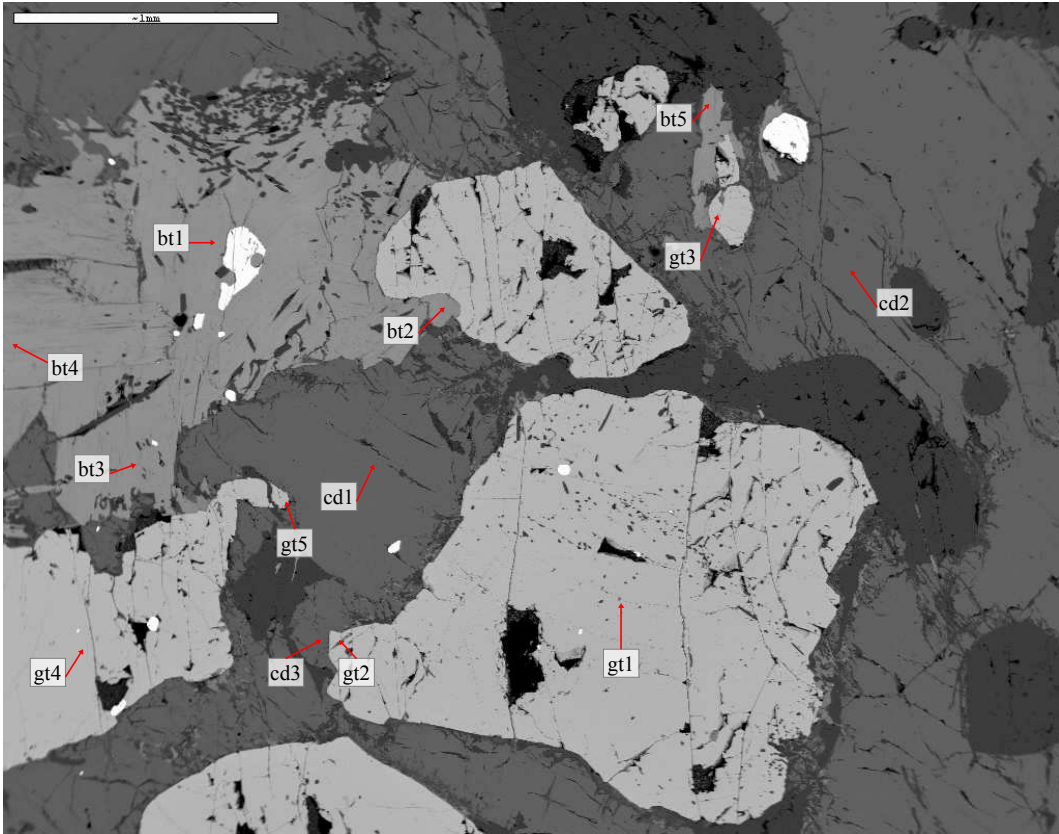


Abbildung 40: Messpunkte ML05-16_1. Maßstabballen: 1mm.

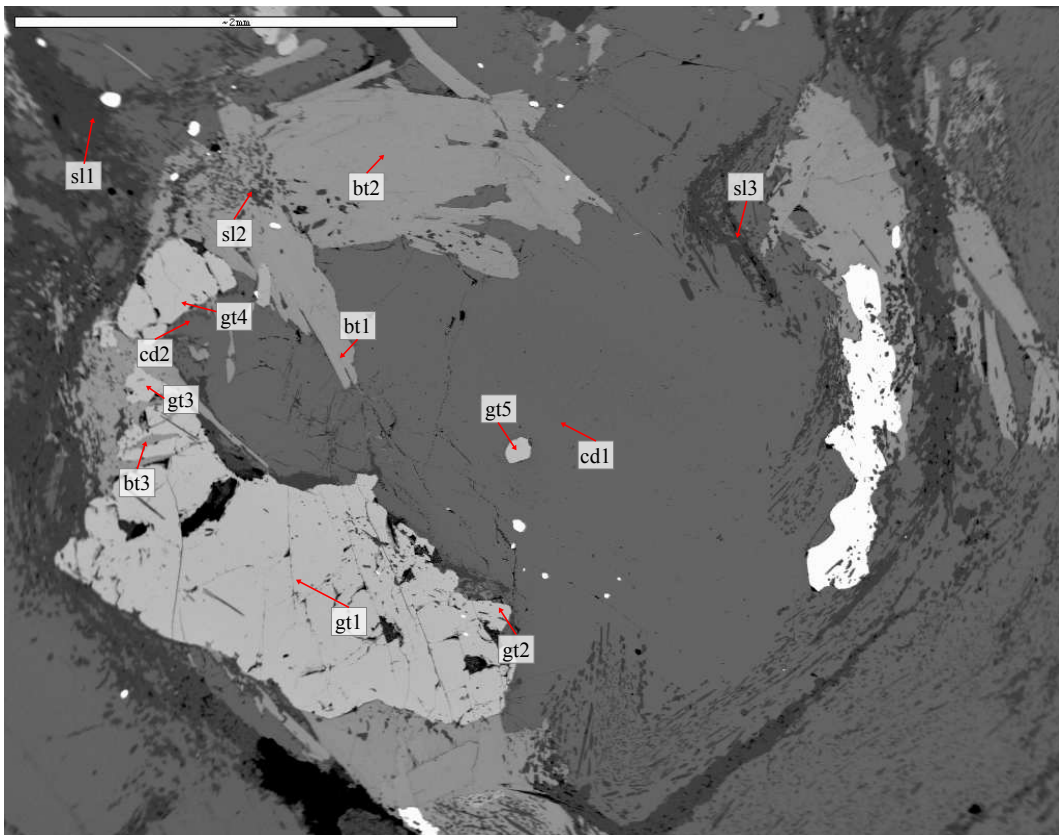


Abbildung 41: Messpunkte ML05-16_2. Maßstabballen: 2mm.

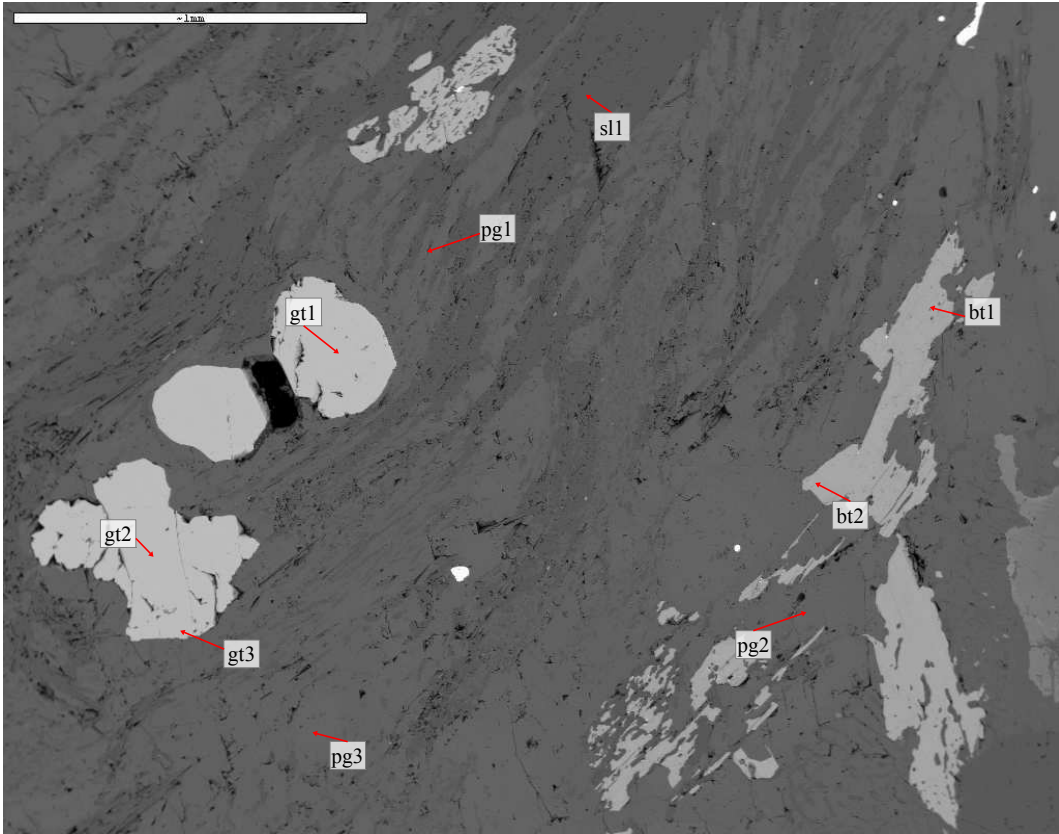


Abbildung 42: Messpunkte ML05-16_3. Maßstabballen: 1mm.

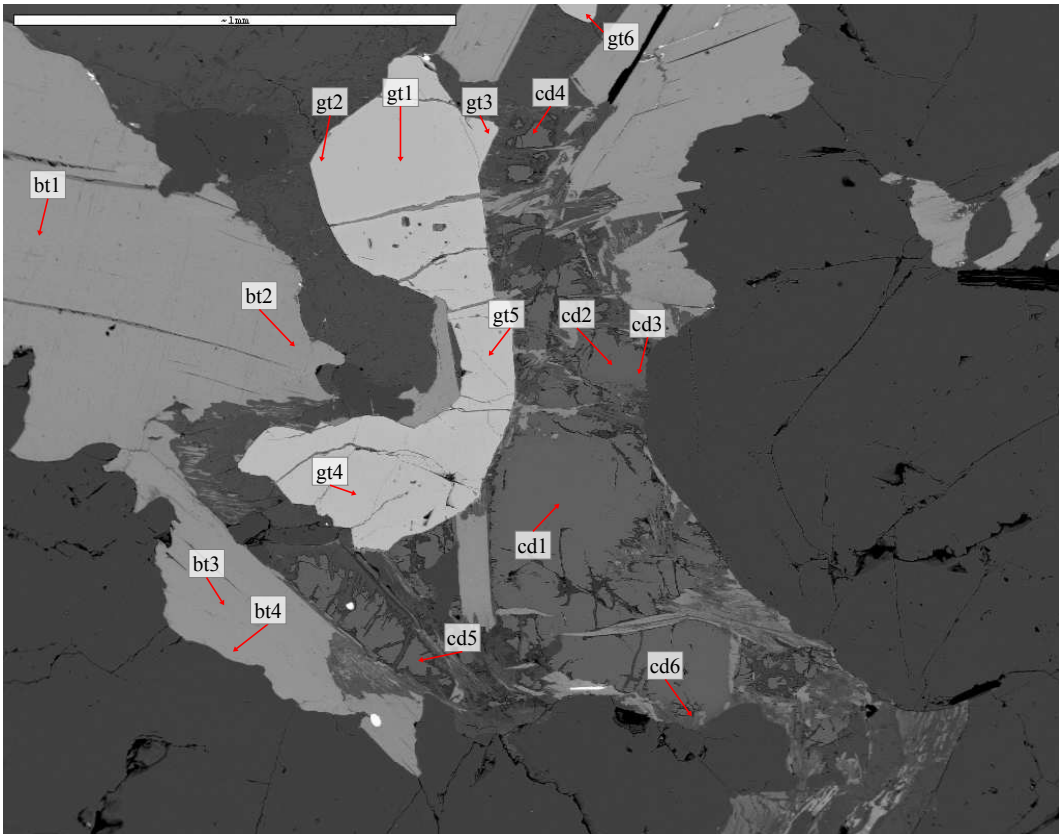


Abbildung 43: Messpunkte ML07-1B_1 Teil 1. Maßstabballen: 1mm.

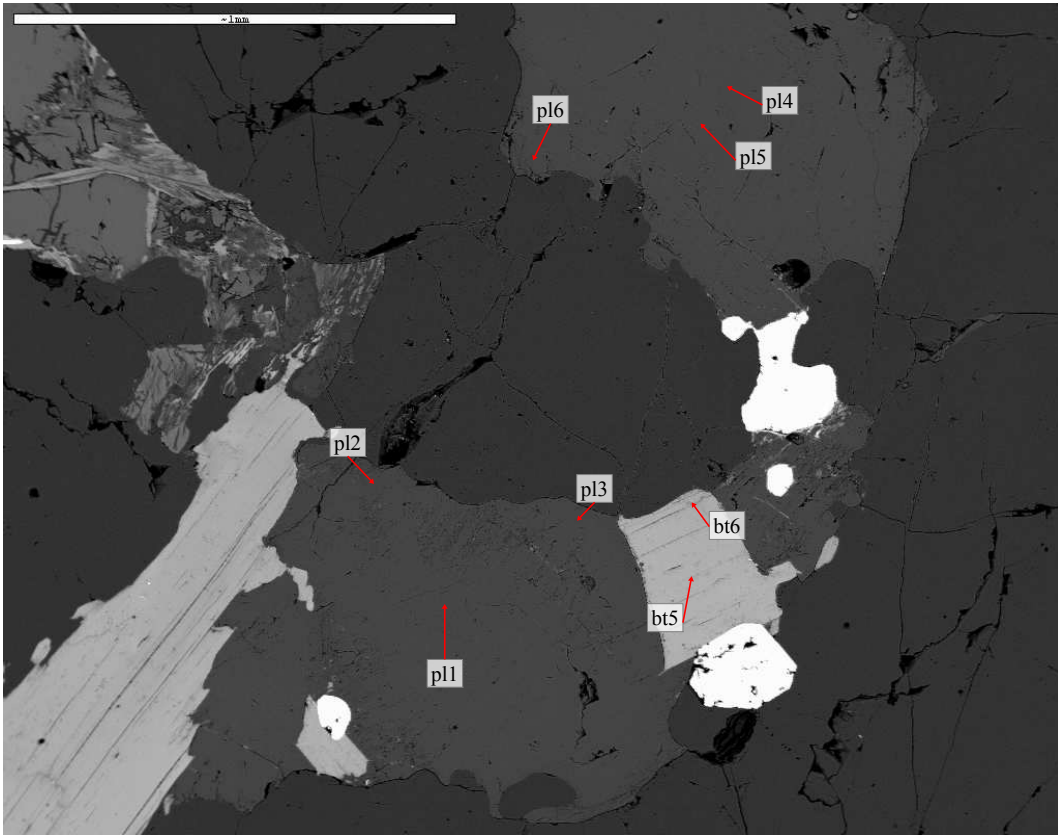


Abbildung 44: Messpunkte ML07-1B_1 Teil 2. Maßstabballen: 1mm.

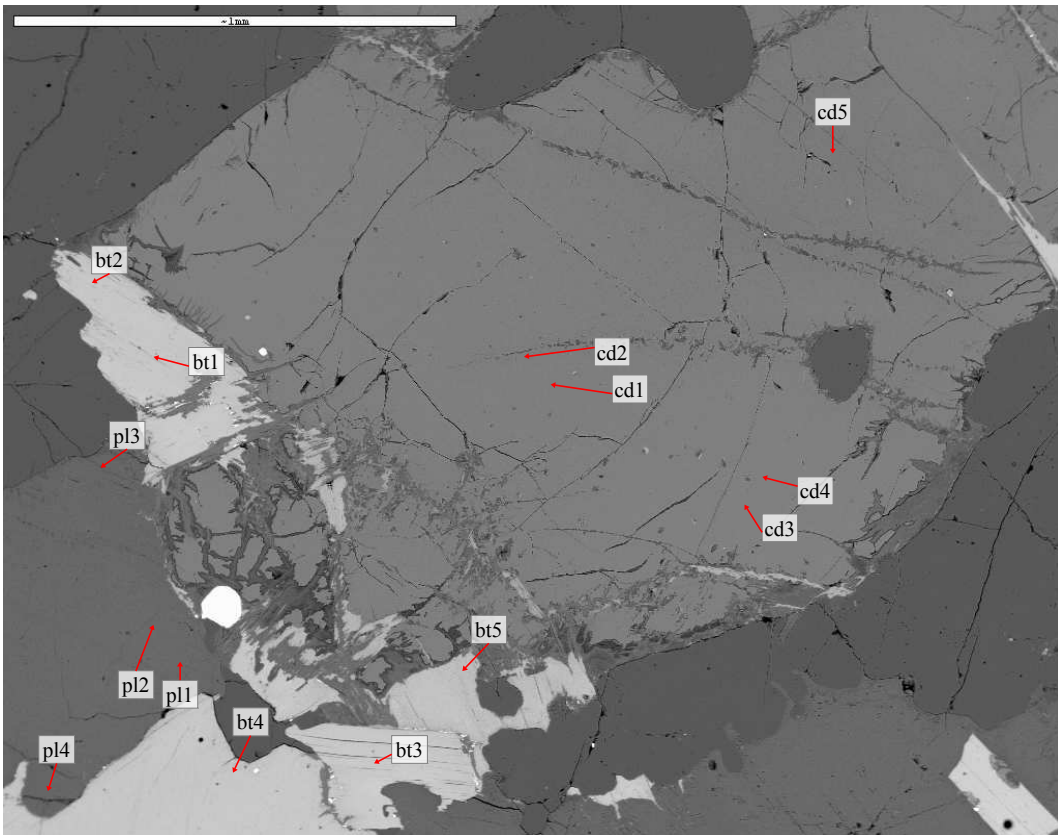


Abbildung 45: Messpunkte ML07-1B_2. Maßstabballen: 1mm.

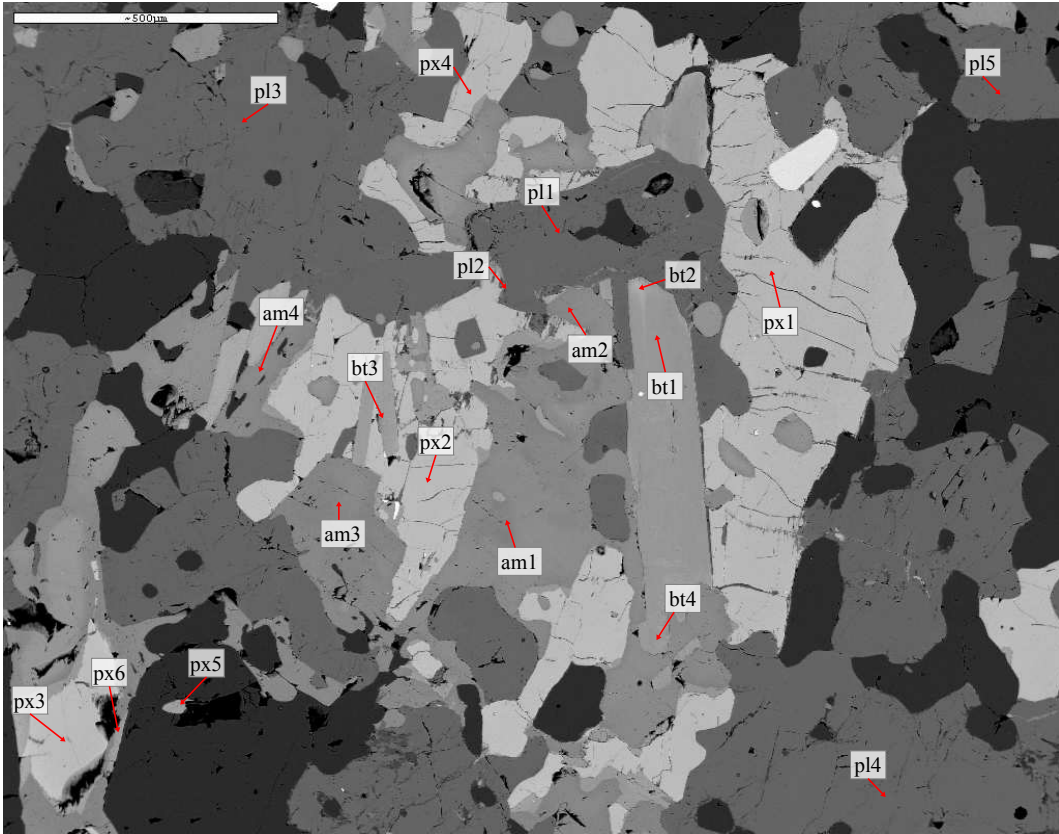


Abbildung 46: Messpunkte ML09-16. Maßstabbalken: 0,5mm.

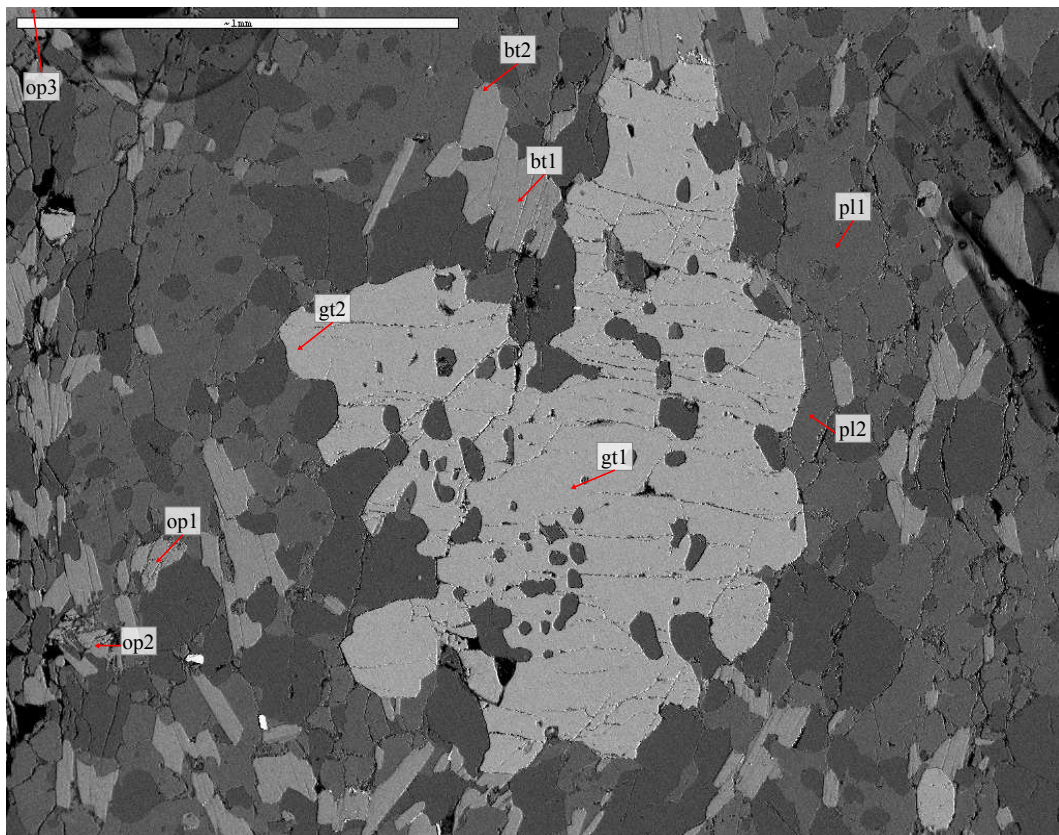


Abbildung 47: Messpunkte BA7_1. Maßstabbalken: 1mm.

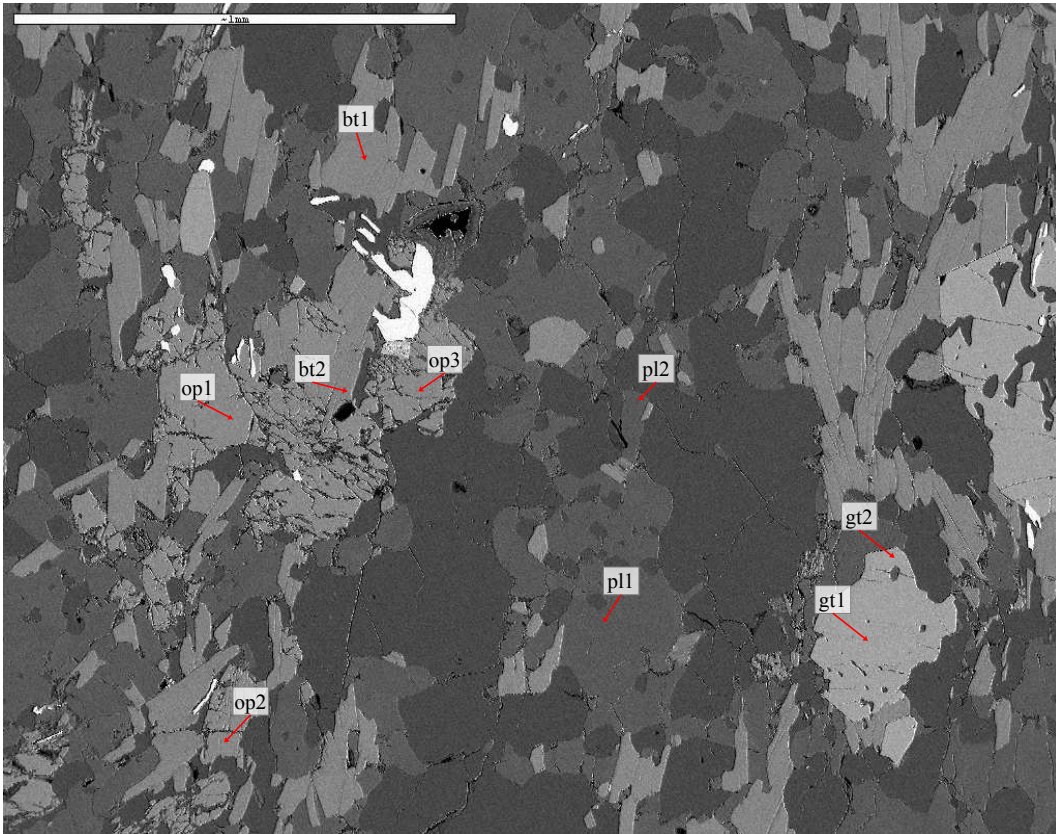


Abbildung 48: Messpunkte BA7_2. Maßstabballen: 1mm.

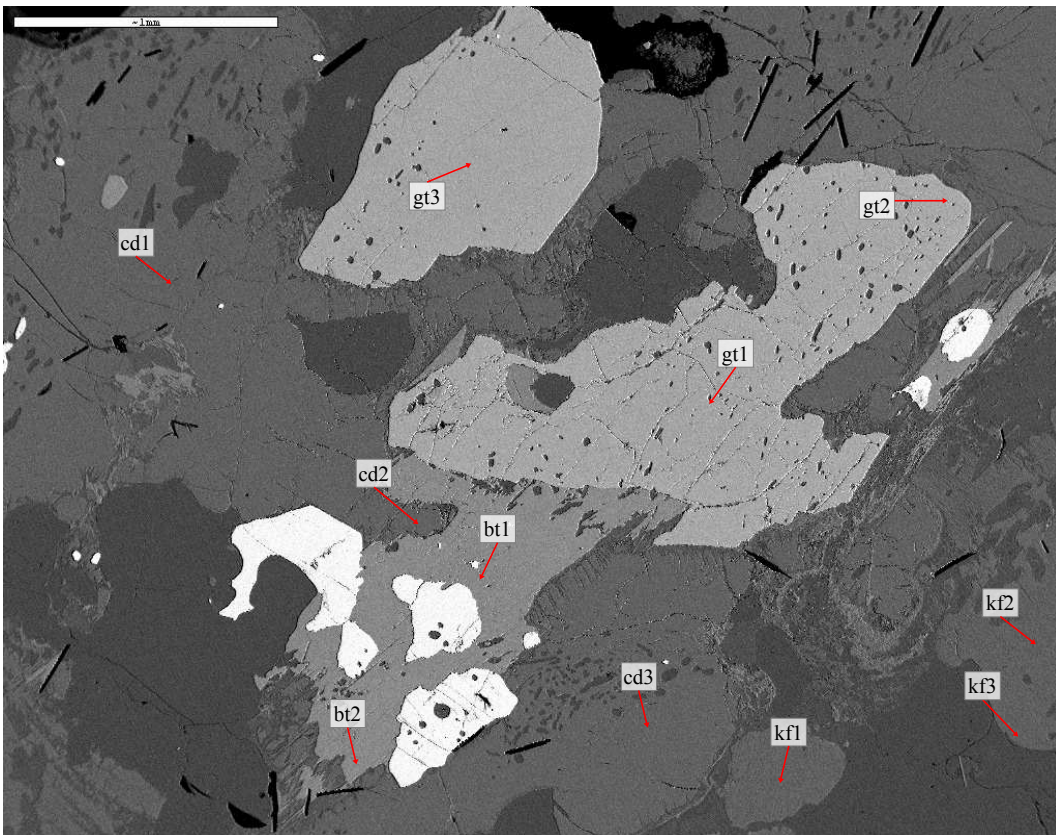


Abbildung 49: Messpunkte BA10_1. Maßstabballen: 1mm.

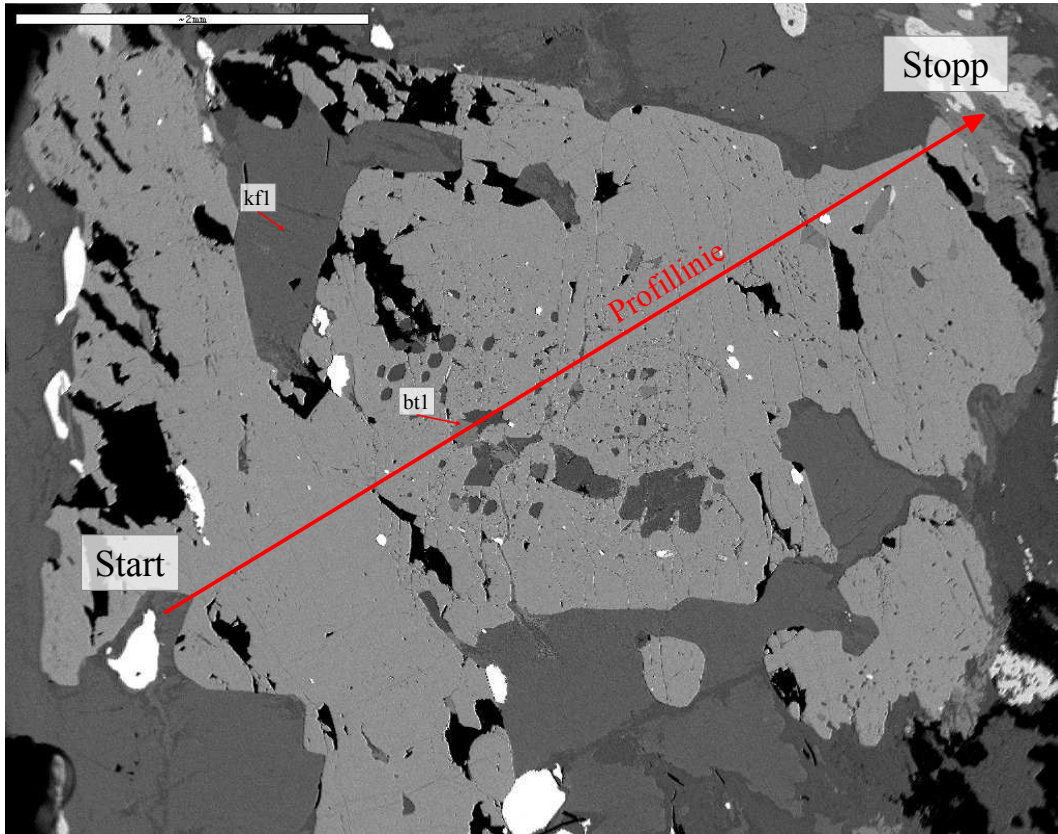


Abbildung 50: Messpunkte BA10_2. Maßstabbalken: 2mm.