Geo.Alp, Vol. 7, S. 39–53, 2010

PETROLOGIE, GEOCHEMIE UND GEOLOGIE DES AMPHIBOLIT/METAGABBRO KOMPLEXES VON GUFIDAUN (SÜDTIROL, ITALIEN)

Verena Rofner[1], Peter Tropper[1], Volkmar Mair[2]

Mit 25 Abbildungen

[1] Institut für Mineralogie und Petrographie, Fakultät für Geo- und Atmosphärenwissenschaften, Universität Innsbruck, Innrain 52f, A-6020 Innsbruck, Österreich
[2] Amt für Geologie und Baustoffprüfung, Eggentalerstrasse 48, I-39053 Kardaun (BZ), Italien

E-mail: Peter.Tropper@uibk.ac.at

Zusammenfassung

Das Kartierungsgebiet befindet sich bei Gufidaun/Gudon (Südtirol, Italien), nordöstlich von Klausen (BZ, I). Geologisch gesehen liegt das Arbeitsgebiet im nördlichsten Südalpin und umfasst den Amphibolit/Metagabbro Komplex sowie Quarzphyllit, Klausenit (Diorit), Hornfels, Orthogneis und Grünschiefer. Das Ziel der Arbeit war einerseits die petrologische Untersuchung der Metamorphoseentwicklung des Amphibolit/Metagabbro Komplexes von Gufidaun mittels thermobarometrischer Auswertung sowie eine geologische Kartierung im Maßstab 1:5000. Mineralchemisch wurden in beiden Gesteinsarten ähnliche Beobachtungen gemacht. Die Metagabbros enthalten folgende Mineralparagenese: Amphibol + Plagioklas + Klinozoisit + Chlorit + Titanit ± Ilmenit ± Quarz ± Kalzit. Die Amphibole der Metagabbros und Amphibolite zeigen teilweise starke chemische Zonierungen. In den Amphiboliten konnten texturell zwei Amphibolgenerationen (Amp I, Amp II) unterschieden werden. Chemisch sind sie aber sehr ähnlich in ihrer Zusammensetzung. Amp I könnte möglicherweise einen reliktischen, spätmagmatischen Amphibol darstellen. Amp II weist eine prograde, metamorphe Zonierung, wie in den Metagabbros, auf. Die Amphibole der Metagabbros weisen eine prograde Zonierung mit einem variszisch metamorphen, aktinolithischen Kern, und Mg-Hornblende und Pargasit bzw. Edenit in den Rändern, auf. Bei den nicht zonierten Amphibolen handelt es sich um Mg-Hornblenden. Es kann daher ein Temperaturanstieg während des Amphibolwachstums (vom Kern zum Rand hin) angenommen werden. Gegen Ende oder möglicherweise auch nach der Abkühlung der Intrusion setzte eine Dekompression ein. Die Granate der Hornfelse (kontaktmetamorpher Quarzphyllit) besitzen einen variszischen Kern und einen jüngeren Anwachssaum, wobei dieser z.B. die Folge der Permischen Kontaktmetamorphose darstellt. Thermobarometrische Berechnungen mit den Programmen THERMOCALC v.3.21 und PET 5.01 sowie semiquantitative Methoden ergaben für die Metagabbros und Amphibolite variszische Metamorphosebedingungen von 488-588°C und 3-5 kbar. Die Ergebnisse aus den untersuchten Metagabbros und Amphiboliten stimmen mit den P-T Daten von ca. 450-550°C und 5-6.5 GPa von Ring & Richter (1994) gut überein. Die P-T Bedingungen von 520-550°C und 5.3 GPa aus den Quarzphylliten bei Brixen (Wyhlidal, 2008), stimmen ebenfalls mit den errechneten Daten des Amphibolit/Metagabbro Komplexes überein. Auffällig ist das primäre, magmatische Gefüge der Metagabbros, die mit den randlichen Amphiboliten zusammen einen alkalischen Intrusivkörper bilden. Fraglich ist allerdings, wann die Platznahme des Komplexes erfolgt ist. Anhand der mineralchemischen Untersuchungen und der thermobarometrischen Ergebnissen lässt sich schließen, dass dieser Komplex bereits vor der variszischen Orogenese in das kristalline Basement des Südalpins intrudierte.

Abstract

This study area is located in the northernmost Southalpine basement. Geographically it is located in the Eisack Valley near Klausen (BZ, I). The area around the village Gufidaun was the focus of the mapping project in the course of this study. The aim of this study was the investigation of the petrology of the metagabbros and amphibolites and mapping on a scale of 1:5000. Within this rather uniform quartz-phyllite basement a large metagabbro/amphibolite complex occurs near the village Gufidaun. Since this basement has only been overprinted by the Variscan amphibolite-facies metamorphic event, it was the aim of this study to obtain Variscan P-T conditions from these metabasic rocks. The amphibolites and metagabbros contain the mineral assemblage amphibole + plagioclase + clinozoisite + chlorite + titanite ± ilmenite ± quartz ± calcite. Chemical zoning in idiomorphic amphiboles shows evidence for a prograde growth history. The cores of the chemical zoned amphiboles show actinolite composition and the rims can be chemically classified as Mg-hornblende, edenite, Mg-hastingsite and pargasite. The chemical zoning shows increasing edenite- and tschermakite substitutions towards the rims which indicates increasing T conditions during amphibole growth. On the other hand, matrix plagioclase is almost pure albite (Ab95An5). Garnet in the hornfelses shows Variscan cores and Permian rims. Application of multi-equilibrium thermobarometry (THERMOCALC v.3.21, PET) to the matrix assemblages of the metagabbros and amphibolites yielded P-T conditions of 488-588°C and 3-5 kbar. These P-T data agree with the P-T data of ca. 450-550°C and 5-6.5 kbar by Ring & Richter (1994) and the P-T data of 520-550°C and 5.3 kbar of quartzphyllites from Brixen by Wyhlidal (2008). The metagabbros show clear magmatic textures and form together with the amphibolites the intrusive complex of Gufidaun, which represents an alkaline magmatic complex, which intruded into the Southalpine Variscan basement prior to the Variscan metamorphic event.

1. Einleitung

Das Ziel dieser Arbeit war einerseits die petrologische Untersuchung der Metamorphoseentwicklung des Amphibolit/Metagabbro Komplexes von Gufidaun mittels thermobarometrischer Methoden sowie eine geologische Kartierung im Maßstab 1:5000. Die Bearbeitung des Amphibolit/Metagabbro Komplexes bei Gufidaun stellt eine interessante Aufgabenstellung dar, da bislang keine bekannten thermobarometrischen Daten dieser Gesteine existieren. Die vorhandene geologische Karte von Heißel & Ladurner (1936) stellt die dort anzutreffende komplexe Tektonik dar, jedoch ist eine moderne Kenntnis des Gesteinsbestandes unbedingt notwendig geworden. Obwohl der angrenzende Teil der Westlichen Dolomiten vermehrt Ziel geologischer und petrographischer Untersuchungen war (Brandner et al., 2007), fand das Gebiet um Gufidaun bisher nur in wenigen Arbeiten Erwähnung (Gisser, 1926; Heißel & Ladurner, 1936; Staindl, 1971). Unvollständig geklärt war bisher die Frage nach der genetischen Beziehung zwischen Amphibolit und Metagabbro, der Altersstellung der beiden Gesteine sowie ihre Metamorphoseentwicklung. Im Zuge der Geländearbeit wurden bereits bekannte und neue Lithologien festgestellt. Metagabbros wurden in fein- und grobkörnige Metagabbros unterschieden sowie das verschiedene Auftreten des Brixner Quarzphyllites dokumentiert. Die Gesteinseinheiten wurden anschließend mit Hilfe verschiedener Arbeitsmethoden petrographisch, petrologisch, mineralchemisch und thermobarometrisch untersucht.

2. Geographischer Überblick

Das Arbeitsgebiet befindet sich bei Gufidaun/Gudon in Südtirol (Italien) und umfasst eine Fläche von etwa 12 km². Die Ortschaft Gufidaun liegt nordöstlich von Klausen auf der östlichen Seite des Eisacktales am Eingang des Villnösser Tales auf einer Höhe von 730 m. Das in etwa 12 km lange Villnösser Tal zweigt nach Osten vom Eisacktal ab, und an dessen Ende ragen die Aferer und Villnösser Geisler auf.

Die Abgrenzung des Gebietes erstreckt sich im Norden oberhalb der Villnösser Haltestelle, vom Kropfsteiner Hof (unterhalb Feldthurns), bis nach Hauben oberhalb der Ortschaft Teis auf einer Höhe von 1258 m. Im Osten reicht das Gebiet bis nach Nigglun im Villnößtal, von dort aus zieht die Abgrenzung im Süden über Schülerbrunn und Spisserhof nach Schloss Anger, wo man dann auf die Brennerautobahn (A22) trifft. Die westliche Grenze der Kartierung verläuft orographisch rechts im Tal, etwa auf einer Höhe von 670 m (Weinbaugebiet). In einigen Bereichen des Kartierungsgebietes ist das Gelände aufgrund der steilen Hänge oder gefährlichen Abbruchzonen wie z.B. die

zahlreichen Hangsicherungen am Eingang und entlang des Villnösser Tales, nur sehr schlecht bzw. gar nicht zuglänglich. Der tiefe Einschnitt des Villnösser Tales bietet jedoch sehr gute Aufschlussverhältnisse.

3. Geologischer Überblick

Geologisch gesehen liegt das Arbeitsgebiet im nördlichsten Südalpin. Die Gesteinseinheiten, die zum Südalpin zählen sind überwiegend als mesozoische Sedimentauflagen in den Dolomiten den Karawanken und den Karnischen Alpen aufgeschlossen. Der Bereich des Südalpins war im Mesozoikum dem Austroalpin benachbart. Gegenüber den helvetischen Decken unterscheiden sich die Südalpen deutlich durch ihren tektonischen Bau. Im Gegensatz zu den großen Überschiebungen im Helvetikum zeichnet sich das Südalpin durch eine südvergente Falten- und Schuppentektonik aus. Das Südalpin wird im Norden durch das Periadriatische Lineament begrenzt und taucht im Süden unter die känozoische Füllung des Po-Beckens ab. Dieses Störungssystem des Periadriatischen Lineamentes entstand in seiner heutigen Ausprägung nach der Kollisionsphase durch eine dextrale Transpression zwischen der adriatischen Mikroplatte und dem europäischen Vorland (Schmidt et al., 2004). Die Überschiebungen im Südalpin sind en-échelon (abgestufte, konsequent überlappende Falten) angeordnet, was sich mit der gleichzeitigen dextralen Seitenverschiebung entlang des periadriatischen Störungssystems erklären lässt. Dabei handelt es sich um fiederartig ausgebildete Spalten, die im Bereich von Scherzonen diagonal zur eigentlichen Scherrichtung verlaufen. Im Oligozän kam es am Periadriatischen Lineament zu einer vertikalen Krustenbewegung von mehreren km und zu einer horizontalen Bewegung von 300 bis 500 km. Die Basis der Südalpen bilden paläozoische Sedimente oder magmatische Gesteine, sie tauchen nach Süden hin an großen Flexuren und Brüchen unter die Molasse der Poebene (Bögel & Schmidt, 1976) ab. An der Periadriatischen Linie oder in unmittelbarer Nähe treten Intrusionen wie Granit- (z.B. Kreuzberg-, Iffinger-, Brixener Granit) und Tonalitmassen verschiedenen Alters auf. Das Südalpin wurde an seinem Nordrand am stärksten herausgehoben da dort das kristalline Basement zutage tritt, während südlich davon durch stufenweises Absinken des Untergrundes jüngere Sedimente und Vulkanite auftreten. Ein durchgreifender Deckenbau im Südalpin ist nicht vorhanden obwohl seismisch ein ausgeprägter Vorlandsüberschiebungsgürtel nachgewiesen wurde. Geologisch kartierbar sind alpidische Faltungen und intensive bruchhafte Störungsbildungen, insbesondere in Nähe der Periadriatischen Linie. Die permomesozoischen Abfolgen lagern im Südalpin ebenfalls diskordant auf dem Kristallin (Brixner Quarzphyllit) und dem schwach metamorphem Paläozoikum.

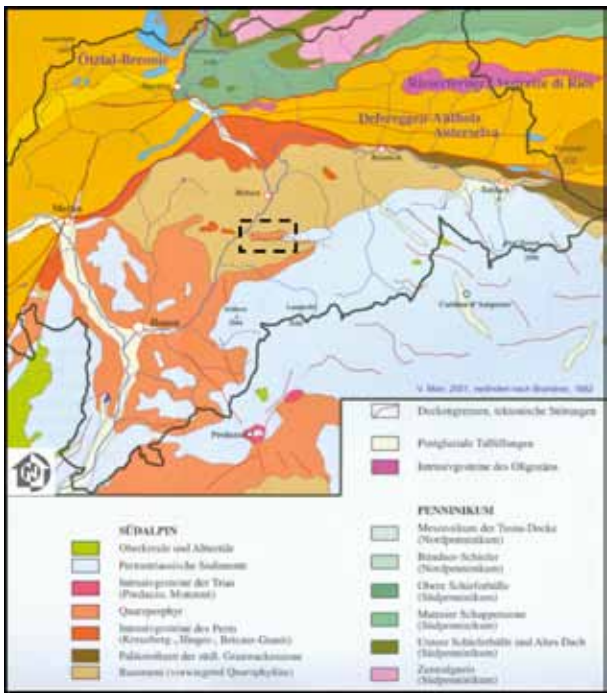

Abb. 1: Ausschnitt der geologischen Übersichtskarte von Südtirol nach Mair (2001, schriftl. Komm.) basierend auf Brandner (1982, schriftl Mitt.). Das Rechteck kennzeichnet die Lage des Arbeitsgebietes.

Im Mittelpunkt des Arbeitsgebietes steht der Amphibolit/Metagabbro Komplex bei Gufidaun (Abb. 1). Die wichtigste Frage ist wohl jene nach der Entstehungsgeschichte des Amphibolit/Metagabbro Körpers, welcher im Brixner Quarzphyllit (kristallines Basement) eingebettet ist. Vorwiegend westlich des Eisacktales, vereinzelt jedoch auch östlich davon, sind dem Quarzphyllit auch Gneise und Glimmerschiefer zwischengeschaltet. Innerhalb des Quarzphyllits stecken an verschiedenen Stellen Intrusionskörper, die sogenannten Klausenite (Diorite).

4. Metamorphoseentwicklung und Alter

Aufgrund der vorliegenden Geologie im Arbeitsgebiet können mehrere geodynamisch aktive Phasen unter-schieden werden: Die variszische Regionalmetamorphose (360-310 Ma), die permische Kontaktmetamorphose (290-250 Ma) und eine alpidische (100-30 Ma) tektonische Überprägung. Das dominante Ereignis, welches im gesamten Gebiet auftritt war jedoch die variszische Orogenese, welche die Gesteine bei niedrigen bis mittleren P-T Bedingungen überprägte (Ring & Richter, 1994; Wyhlidal, 2008). Folgende Ereignisse erfassten die Gesteine:

a) Variszische Metamorphose (360-310 Ma):

Die variszische Metamorphose erreichte ihren Höhepunkt vor 360 bis 310 Ma. In das kristalline Basement (Brixner Quarzphyllit) intrudierten jedoch schon vor-variszisch gabbroide Gesteine, die heute als Amphibolite und Metagabbros in der Gegend von Klausen, bei Gufidaun vorliegen. Dieser Amphibolit/Metagabbro Körper wurde von der variszischen Metamorphose geprägt, wobei die Intrusion im Kern noch die grobkörnige primäre Textur (Metagabbro) aufweist und zum Rand hin zunehmend feinkörniges und schiefriges Aussehen erreicht (Amphibolit).

b) Permische Kontaktmetamorphose (290-250 Ma):

Durch die Extensionstektonik (Grabenbruchsystem) im Perm kam es zur Bildung von tiefreichenden Störungszonen und damit verbundener Schertektonik. Diese bildeten die Aufstiegswege für einen ausgeprägten Magmatismus, wobei hier die sogenannten „Klausenite" in das variszische Basement intrudierten. Dadurch kam es zur Kontaktmetamorphose. Ein typisches Merkmal kontaktmetamorpher Gesteine sind die durch Mineralreaktionen hervorgerufene Knotenbildung sowie häufig das Fehlen einer Schieferung. Durch die Dioritintrusion (Klausenite) entstanden die im Arbeitsgebiet vorzufindenden Hornfelse (kontaktmetamorphe Quarzphyllite). In dieser Phase wurde auch die Villnösser Linie angelegt (Furlani-Cornelius, 1924).

c) Alpidische tektonische Überprägung (<100 Ma) und Reaktivierung der Villnösser Linie.

Die Villnösser Linie ist wahrscheinlich eine permisch angelegte, alpidisch reaktivierte E-W verlaufende Störung. Die spröde Deformation ist besonders gut bei Schloss Summersberg, das auf Amphibolit steht, aufgeschlossen. Es entstanden zahlreiche Risse und Klüfte im Gestein sowie im Gelände erkennbare Störungszonen und Bruchgräben.

5. Lithologische Einheiten

Aufgrund der durchgeführten Detailkartierung wurden im Gebiet einige neue sowie bereits bekannte Lithologien kartiert. Von Bedeutung und Schwierigkeit war die Unterscheidung zwischen Amphibolit und Metagabbro, sowie der Grünschiefer im Gelände. Der Amphibolit bildet mit dem Metagabbro einen Intrusionskörper, der sich über die gesamte Ortschaft von Gufidaun erstreckt. Das Gestein weist eine grüne Farbe auf und besitzt eine deutlich erkennbare Schie-

Abb. 2: Schloss Summersberg steht auf Amphibolit; das Gestein ist völlig zerklüftet und besitzt eine hellgrüne Farbe.

Abb. 3: Mittelkörniger Metagabbro (VR32).

Abb. 4: Grobkörniger Metagabbro (VR82).

ferung. Hauptsächlich aufgeschlossen findet man den Amphibolit beim Schloss Summersberg im Dorfkern (Wanderweg Richtung Villnösser Straße) sowie immer wieder als kleine Körper im Metagabbro (Abb. 2). Da diese Gesteine kaum Glimmer enthalten, sind sie sehr verwitterungsresistent und die Bildung von z.B. Rundhöcker oder Felsen wird dadurch begünstigt.

Weiters konnten mittelkörniger (Abb. 3) und grobkörniger Metagabbro (Abb. 4) beobachtet sowie der Übergang zwischen beiden Typen festgestellt und auskartiert werden. Mit dem Amphibolit bildet der Metagabbro einen Intrusionskomplex, wobei das Gestein die noch sehr gut erkennbare primäre magmatische Textur aufweist. An Handstücken der Metagabbros lässt sich makroskopisch der hohe Anteil an Amphibolen (dunkelgrüne Hornblendekristalle bis zu 1 cm Länge) deutlich erkennen.

Der im Arbeitsgebiet anzutreffende kontaktmetamorphe Quarzphyllit (Hornfels) weist starke Verwitterungserscheinungen auf. Man beobachtet Hornfelse als Kontaktgesteine zwischen den Metagabbrokörpern und den Quarzphylliten sowie im Zusammenhang mit der Intrusion der Klausenite südlich des Einganges des Villnösser Tales sowie vereinzelt im Ortskern von Gufidaun. Der Quarzphyllit tritt im gesamten Kartierungsgebiet als stark verfalteter, blättrig-schiefriger Phyllit auf. Der Amphibolit/Metagabbro Komplex steckt als Intrusionskörper im Quarzphyllit. Im Arbeitsgebiet beobachtet man nördlich der Ortschaft Gufidaun sowie südlich davon Quarzphyllit, der weit ins Villnösser Tal sowie nach Teis reicht. Auf der anderen Talseite des Eisacktales, in Richtung Pardell und Feldthurns, findet man Klausenite im Quarzphyllit.

6. Störungen

Im Arbeitsgebiet können einige Störungszonen beobachtet werden, da das gesamte Gebiet alpidisch reaktiviert wurde. Von großer und besonderer Bedeutung ist die vorkommende „Villnösser Linie". Es handelt sich um eine permisch angelegte, alpidisch reaktivierte E-W verlaufende Störung. Die Villnösser Linie wurde von Mutschlechner (1932) aus dem Gebiet der Peitlerkofel Gruppe, von Raniu bis etwa St. Peter im Villnöß verfolgt. Von St. Peter aus verläuft die Störungszone, sich immer an das südseitige Talgehänge haltend, bis zu den Höfen von Ganeit, wo sie dann auf die Nordseite des Tales übergreift (hier liegt Quarzphyllit auf Quarzporphyr).

Östlich der Einmündung des Flitzer Baches in den Villnösser Bach greift sie noch einmal für ein kurzes Stück auf die südliche Talgflanke über. Östlich von Pardell überquert sie wieder das Villnösser Tal, um dann für längere Zeit auf der nördlichen Talseite zu verlaufen (es finden sich keinerlei Anzeichen dafür, dass sie auf der südlichen Talflanke verläuft). Beim Gasthof Stern, Nahe dem Ausgang des Villnösser Tales, zeigt der Quarzphyllit des südlichen Talhanges starke Zerrüttungen, die tektonisch entstanden sind. Der sonst flach nach SW bis SE einfallende Quarzphyllit fällt hier ziemlich steil gegen N ein. Aus den dort komplex vorherrschenden tektonischen Verhältnissen sind weiter gegen W keine genauen Anhalts-

punkte gegeben, welche eine sichere Festlegung des weiteren Verlaufs der Villnösser Linie ermöglichen (Heißel & Ladurner, 1936).

Die in E-W Richtung verlaufende Villnösser Linie schneidet das Arbeitsgebiet in zwei Schollen: nämlich in eine südliche, tiefer liegende, und in eine nördliche, die von der Störungslinie gegen Norden abfällt. In beiden Schollen finden sich Störungen, die eine Verschiebung der Schollen in horizontaler Richtung, gegen S bzw. SW, anzeigen. Das Lagerungsverhältnis lässt somit erkennen, dass die Entstehung dieser Villnösser Linie, in diesem Gebiet nicht auf Senkung der Schollen zurückgeführt werden darf, sondern auf heftige, horizontal wirkende Kräfte. Auch weiter im Osten ist die Villnösser Linie als Überschiebungslinie erkannt worden.

7. Arbeitsmethoden

Durchlichtmikroskopie

Das Polarisationsmikroskop wurde für die mikroskopische Untersuchung der Gesteinsschliffe verwendet, wobei die Mineralparagenesen als auch die Strukturen und Texturen ermittelt werden konnten. Weiters ermöglichte die Durchlichtmikroskopie eine engere Probenauswahl für die Analytik mit der Elektonenstrahlmikrosonde.

Mikrosondenanalytik

Die Mineralanalyse wurde mit der Elektronenstrahlmikrosonde des Typs JEOL JXA 8100 SUPERPROBE am Institut für Mineralogie und Petrographie der Universität Innsbruck durchgeführt. Für die quantitativen Analysen der Minerale wurden wellenlängendispersive Messungen durchgeführt. Die Sondenschliffe wurden mit einer Beschleunigungsspannung von 15 kV und einem Probenstrom von 10 nA gemessen. Die Messzeiten lagen bei 20 Sek. (Peak) und 10 Sek. (Background). BSE Bilder (Backscattered Electron Images) wurden als wichtiges Abbildungsverfahren verwendet. Röntgenverteilungsbilder stellen die räumliche Verteilung der einzelnen Elemente in den Mineralen dar. Die Aufnahme erfolgte über einen definierten, flächigen Bereich. Dadurch konnten chemische Mineralzonierungen z.B. in Amphibolen, Epidoten und Granaten dargestellt und zur weiteren Interpretation herangezogen werden.

Röntgenfluoreszenzanalyse

Gemessen wurden die Haupt- und Spurenelemente von ausgewählten Gesteinsproben mittels WDXRFA Analyse (Wavelength Dispersive X-Ray fluorescence analysis, RFA: Röntgenfluoreszenzanalyse) am Institut für Mineralogie und Petrographie der Universität Innsbruck. Bei der Anlage handelt es sich um den Typ SPECTRO XEPOS. Für die Messungen wurden die ausgewählten Proben mit der Achat-Scheibenschwungmühle zu einem Pulver von etwa 5-10 g gemahlen. Die Probenmenge (mindestens 5 g) wurde anschließend im Ofen bei einer Temperatur von 1000°C über 3 Stunden geglüht und somit der Glühverlust (LOI durch H2O bzw. CO2 Emission) ermittelt. Zur Bestimmung der Hauptelemente wurden Schmelztabletten mit 0.6 g Probe und 4.6 g Dilithiumtetraborat Li2B4O7 homogenisiert, anschließend in einem Platintiegel über einer Flamme geschmolzen und vollautomatisch in eine kreisförmige Platinform gegossen. Für die Spurenelementanalyse wurden Presstabletten von ebenfalls 0.6 g Probenpulver und 4.6 g Dilithiumtetraborat Li2B4O7 in der dafür vorgesehenen Pressmaschine hergestellt.

8. Petrographie

Für die petrographischen Untersuchungen wurden an den Gesteinen Dünn- bzw. Sondenschliffauswertungen mit dem Polarisationsmikroskop (Abb. 5-8) und der Elektronenstrahlmikrosonde (BSE Bilder in Abb. 9, 11, 13, 14, 16) durchgeführt. Im Folgenden wird nur auf eine Auflistung der Mineralparagenesen in den Gesteinen eingegangen. Die verwendeten Mineralabkürzungen entsprechen der Norm nach Kretz (1983).

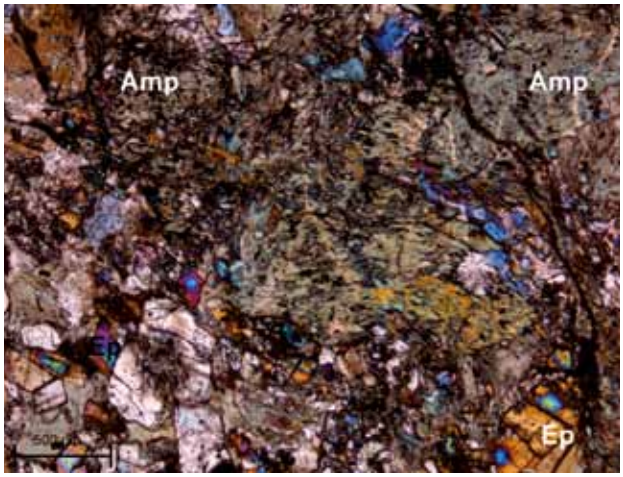

Abb. 5: Amphibole (Amp) und unregelmäßige Verteilung von zonierten Epidotkörnern (Ep) im Amphibolit (VR16). Maßstab: 500 µm. xN.

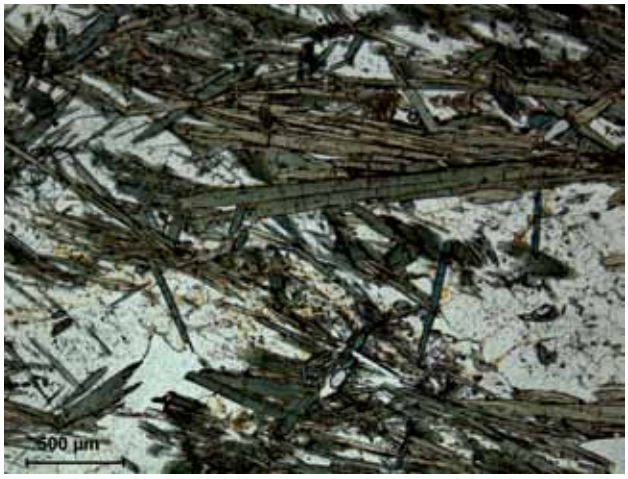

Abb. 6: Stengelig-nadelige Amphibole, im Metagabbro (VR82). Maßstab: 500 µm. IIP.

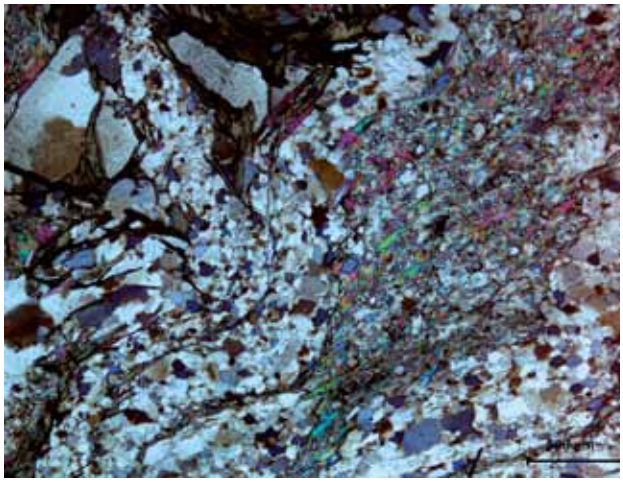

Abb. 7: Zahlreiche Granate im Hornfels sind in Lagen angereichert. Die Probe ist stark alteriert (VR14/2). Maßstab: 500 µm. IIN.

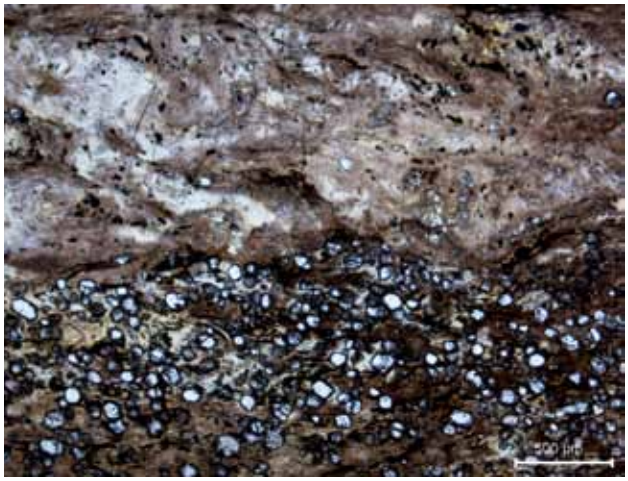

Abb. 8: Gefüge des Quarzphyllites (VR02E). Maßstab: 500 µm. xN.

Amphibolit:
Amp + Pl + Czo/Ep ± Chl ± Bt ± Ttn ± Ilm ± Cc ± Qtz ± Ap

Metagabbro:
Amp + Pl + Czo/Ep + Chl + Ttn ± Qtz ± Ilm ± Cc ± Ap

Diorit (Klausenit):
Pl + Cpx + Bt ± Ilm ± Mag ± Ttn ± Qtz ± Py ± Zr

Hornfels:
Chl + Ms + Qtz ± Grt ± Cc ± Ap ± Ilm

Quarzphyllit:
Ms + Chl + Bt + Pl + Qtz ± Cc

Orthogneis:
Pl + Kfs + Qtz + Ms + Bt

Grünschiefer:
Chl + Ab + Amp ± Qtz ± Cc ± Ep

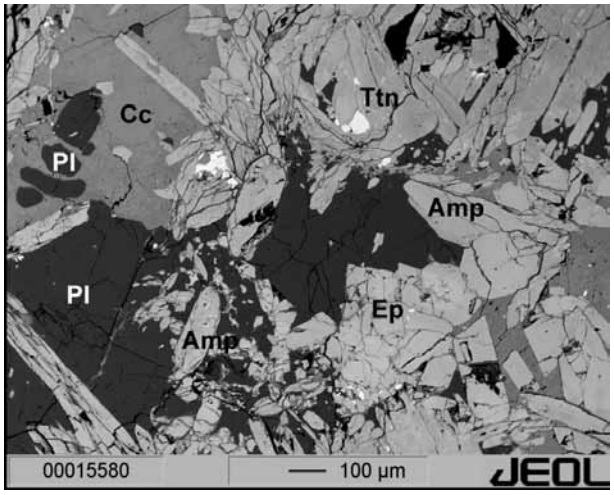

Abb. 9: Das BSE Bild zeigt einen Metagabbro mit unzonierten Amphibolen (VR03/1). Amp: Amphibol, Ep: Epidot, Pl: Plagioklas, Cc: Kalzit, Ttn: Titanit.

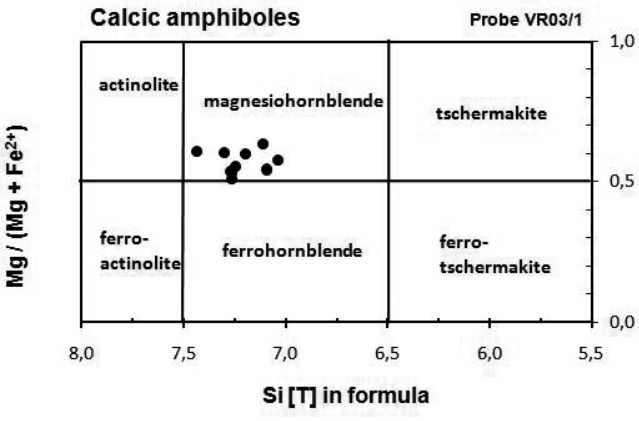

Abb. 10: Klassifizierung der Ca-Amphibole der Probe VR03/1 nach Leake et al. (1997). Diagramm Parameter: $Ca_B \geq 1.50$; $(Na + K)_A \leq 0.50$; $Ca_A < 0.50$.

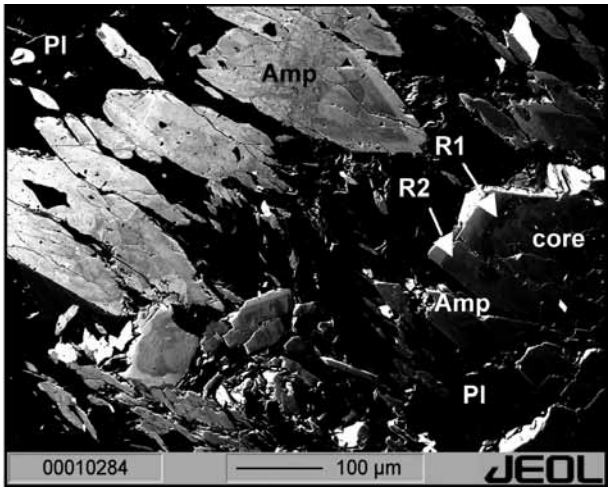

Abb. 11: Das BSE Bild zeigt die chemische Zonierung von idiomorphen Amphibolen (core, R1, R2) im Metagabbro (VR04). Amp: Amphibol, Pl: Plagioklas.

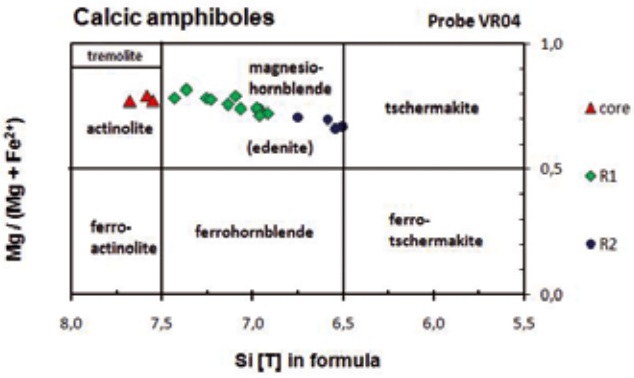

Abb. 12: Klassifizierung der Ca Amphibole der Probe VR04 nach Leake et al. (1997). Diagramm Parameter: $Ca_B \geq 1.50$; $(Na + K)_A \leq 0.50$; $Ca_A < 0.50$. Die roten Symbole kennzeichnen die Kerne (core), die Grünen die Ränder R1 und die Blauen die Ränder R2. Für das Edenit-Feld, welches sich mit dem Magnesiohornblendefeld deckt, gelten andere Parameter: $Ca_B \geq 1.50$; $(Na + K)_A \geq 0.50$; Ti <0.50. Davon sind nur sind die Punkte R2 (blau) betroffen.

9. Mineralchemie

Die P-T Geschichte einer Probe kann durch eine Kombination verschiedener qualitativer, textureller als auch quantitativer Methoden bestimmt werden. Diese beinhalten die Untersuchung von chemischen Zonierungen und Reaktionsgefügen, von Einschlüssen und Entmischungen in den auftretenden Mineralen und die Geothermobarometrie. Markante chemische Zonierungen weisen hauptsächlich Amphibole (Abb. 11) und Epidot/Zoisite (Abb. 13) aus den Metagabbros und den Amphiboliten auf. Plagioklas und Chlorit zeigen hingegen keine oder nur eine sehr schwache chemische Zonierung. Die Änderung der Zusammensetzung der Amphibole wurde mittels BSE Bildern und Röntgenverteilungsbildern dargestellt. Die Kationenzahlen werden in apfu (atoms per formula unit) angegeben. Für die Tabellen mit den gesamten mineralchemischen Daten wird auf die Diplomarbeit von Rofner (2010) hingewiesen.

9.1 Mineralchemie der Metagabbros

Amphibol

In den untersuchten Proben kann man zwischen nicht zonierten (Abb. 9) und zonierten Amphibolen (Abb. 10) unterscheiden. Zahlreiche Amphibole in den Metagabbros zeigen sehr starke chemische Zonierungen, wobei sich sowohl einfache als auch komplexe Zonierungen ermitteln lassen. Die untersuchten Amphibole der Metagabbros gehören nach der Nomenklatur der Amphibole von Leake et al. (1997) zu den Ca-Amphibolen. Die Abbildung 9 stellt die Zusammensetzung der nicht-zonierten Amphibole dar, Abbildung 11 zeigt die Amphibolzonierungen, welche im Kern aus Aktinolith und zum Rand hin aus Mg-Hornblende (R1) und Edenit (R2) bestehen.

Plagioklas

Die untersuchten Feldspäte der Metagabbros sind kaum, wenn überhaupt zoniert und sehr selten lassen sich Zwillingslamellen erkennen. In der Probe VR1a koexistiert Plagioklas und Kalifeldspat, wobei es sich um Plagioklase mit XAb = 99.6 und Kalifeldspäte mit XKfs = 99.7 handelt. In allen anderen Analysen ist fast reiner Albit (XAb = 0.99) zu finden. Die Plagioklase in den Metagabbros sind also sehr albitreich und variieren nicht in ihrer Zusammensetzung.

Epidot/Klinozoisit

Die Epidot/Klinozoisite zeigen deutliche chemische Zonierungen, wobei die Ränder R1, R2, R3 und der Kern (core) unterschieden werden können. Man erkennt Fe-reiche Kerne und Fe-ärmere Ränder und zudem variieren die Ti- und Al-Gehalte, wobei Ti (wie auch Fe) vom Kern zum Rand abnimmt und Al vom Kern zum Rand zunimmt. Die SiO2-Gehalte liegen zwischen 37.40-38.66 Gew.%. Nur geringe Veränderungen zeigen die Elemente wie Mn (max. 0.28 Gew.%) und Ca (zwischen 23-24 Gew.%). Sr weist maximale Werte von 0.3 Gew.% auf. Die Analysen der Epidot/Klinozoisite weisen meistens keine REE (Rare Earth Elements) wie Ce, La und Pr auf und nur eine Analyse zeigt hohe Gehalte an Mn, Sr, Ce, La (sowie auch Pr). Bei dieser Analyse handelt es sich um den in Abbildung 13 weißen Bereich (Kern), der sich von allen anderen Analysen deutlich unterscheidet und als Allanit innerhalb der Epidotgruppe angesprochen werden kann.

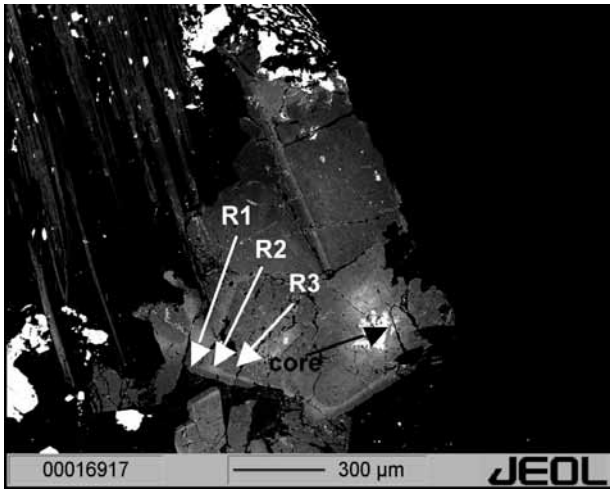

Abb. 13: BSE Bild eines chemisch zonierten Epidotes mit Allanit im Kern (core, weißer Bereich) und Rändern (R1-R3) mit unterschiedlichen REE Gehalten (VR06J).

Chlorit

Die Chlorite der untersuchten Metagabbros plotten nach Hey (1954) in das Feld der Rhipidolite und gehören somit zur Gruppe der Mg-Fe Chlorite (Diabantit-Pyknochlorit-Rhipidolit Reihe).

Kalzit

Bei den untersuchten Karbonaten handelt es sich um fast reinen Kalzit, nur untergeordnet sind Mg, Mn und Fe eingebaut. Dolomit ist nicht vorhanden. Die Kalzite der Metagabbros enthalten im Durchschnitt 98% CaCO3, 1% MgCO3, 0.1% FeCO3 und <0.1% MnCO3.

9.2 Mineralchemie der Amphibolite

Amphibol

Teilweise weisen die Amphibolite texturell zwei Generationen von Amphibolen (Amp I, Amp II) auf, die sich jedoch chemisch nicht unterscheiden. Amp I repräsentiert idiomorphe, reliktische Kristalle, während Amp II längliche, idiomorphe Nadeln bildet. Man

erkennt auch Amphibole die von Plagioklas zersetzt werden (Abb. 14). Ausgeprägte chemische Zonierungen sind in den untersuchten Amphiboliten seltener.

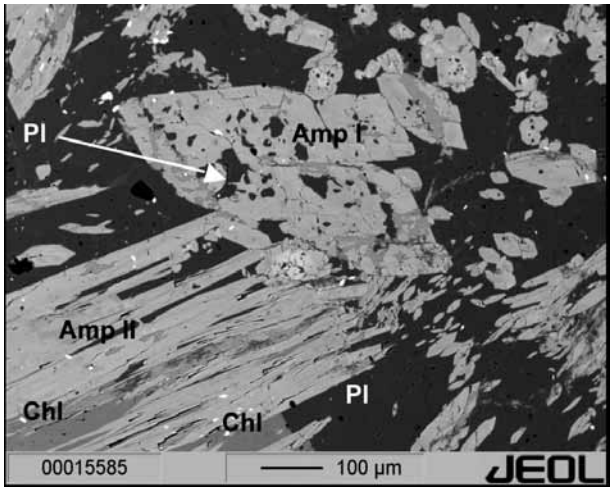

Abb. 14: Das BSE Bild zeigt zwei texturell unterschiedliche Generationen von Amphibolen, Amp I und Amp II (VR22). Amp: Amphibol, Ep: Epidot, Pl: Plagioklas, Cc: Kalzit, Chl: Chlorit.

Nach Leake et al. (1997) plotten die Amphibole beider Generationen (Amp I und Amp II) ins Feld der Mg-Hornblende (Abb. 15).

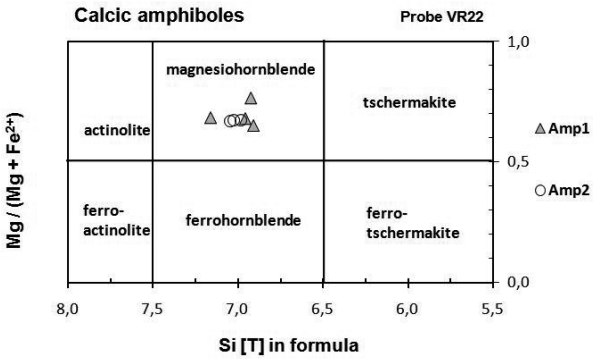

Abb. 15: Klassifizierung der Ca-Amphibole der Probe VR22 nach Leake et al. (1997). Diagramm Parameter: $Ca_B \geq 1.50$; $(Na + K)_A \leq 0.50$; $Ca_A < 0.50$.

Die Amphibole, Amp I, weisen Ti-Gehalte von 0.09-0.17 Gew.% TiO2 und Mn-Gehalte von 0.28-0.33 Gew.% MnO auf, die Amphibole, Amp II, zeigen hingegen Ti-Gehalte von 0.22 Gew.% TiO2 und 0.26-0.31 Gew.% MnO. Die Cr-Gehalte ändern sich bei beiden Generationen kaum (max. 0.16 Gew.% Cr2O3). Die Na- und K-Gehalte beider Amphibolgenerationen variieren leicht zwischen 1.28-1.91 Gew.% Na2O und 0.31-0.40 Gew.% K2O.

Plagioklas

Bei den untersuchten Plagioklasen handelt es sich ebenfalls um fast reinen Albit (XAb = 0.95) mit durchschnittlichen Anorthitgehalten <5 Mol%. Die Plagioklase zeigen keine chemischen Zonierungen und sind in ihrer Zusammensetzung sehr konstant.

Epidot/Klinozoisit

Die Epidot/Klinozoisite in den untersuchten Amphiboliten zeigen ebenfalls deutliche Zonierungen (Abb. 16), wobei die Ränder R1 und R2 und der Kern (core) unterschieden werden. Die Epidot/Klinozoisite zeigen eine Abnahme des Fe^{3+} Gehaltes vom Kern zum Rand.

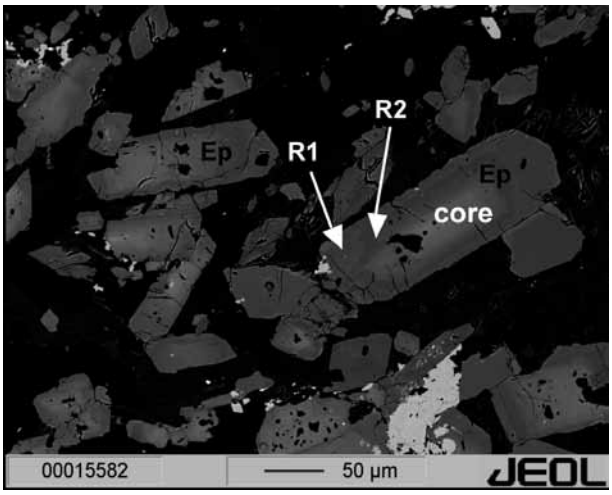

Abb. 16: BSE Bild der Zonierungen (core, R1, R2) im Epidot, ep (VR22).

Chlorit

Chlorit tritt in Amphiboliten auf, allerdings selten und wenn meist mit Hornblende und Plagioklas. Die analysierten Chlorite der Amphibolite plotten im Klassifikationsdiagramm nach Hey (1954) in das Feld der Rhipidolithe.

10. Geochemie der Amphibolite und Metagabbros

Geochemische Gesteinsklassifizierung

Die Klassifikation mittels SiO2-Gehalt wurde mithilfe der RFA durchgeführt. Bei den im Arbeitsgebiet vorkommenden Metagabbros und Amphiboliten handelt es sich daher um ultrabasische bis basische Gesteine. Der höchste SiO2-Gehalt beträgt etwa 47.5 Gew.%. Eine klassische Diskriminierung magmatischer Gesteine ist nach Cox (1979) im sogenannte TAS-Diagramm (Total Alkalis versus Silica) gegeben. In diesem Diagramm wird SiO2 gegen Na2O + K2O aufgetragen wird. Die gekrümmte Linie trennt die alkalischen (oberer Teil) von den subalkalischen Gesteinen (unterer Teil).

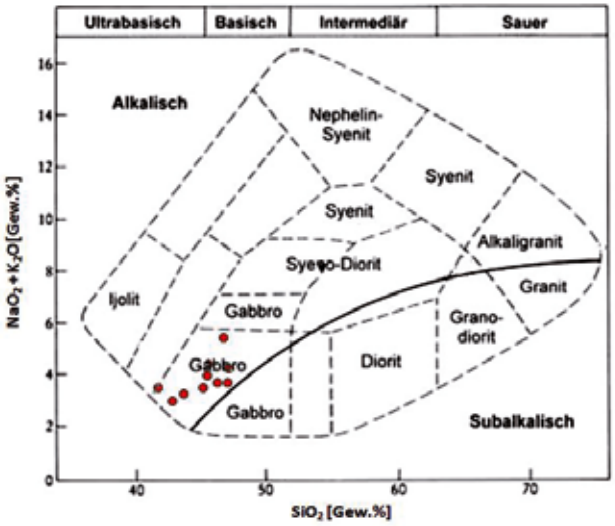

Abb. 17: Das TAS-Diagramm nach Cox (1979), abgeändert nach Wilson (1989) für plutonische Gesteine.

In Abbildung 17 ist zu erkennen, dass die Gesteinsansprache im Gelände auch mit den geochemischen Daten übereinstimmt. So fallen die Proben auch ins entsprechende Feld der alkalisch betonten Gabbros. Grobkörnige Amphibolite spiegeln daher die ehemals magmatische Textur wider und als Ausgangsgesteine kommen daher Gabbros in Frage.

Geotektonisches Setting

Nachdem die Gesteine geochemisch klassifiziert wurden, konnten diese nun geochemisch mit einem plattentektonischen Setting korreliert werden. Von mehreren Autoren wurde mit Hilfe von unterschiedlich vielen Proben aus verschiedenen geotektonischen Positionen versucht, einzelne Felder gegeneinander abzugrenzen, die typisch für die jeweilige geotektonische Positionen sind. Die geotektonische Einordnung magmatischer Sequenzen anhand geochemischer Daten erfolgte mittels sogenannter geotektonischer Diskriminierungsdiagramme. In der Abbildung 18 ist deutlich erkennbar, dass die analysierten Proben ins Feld „within-plate basalt" d.h. ins Feld der Intraplattenbasalte plotten. Es handelt sich daher bei den untersuchten Gesteinen um Produkte eines „Intraplattenvulkanismus".

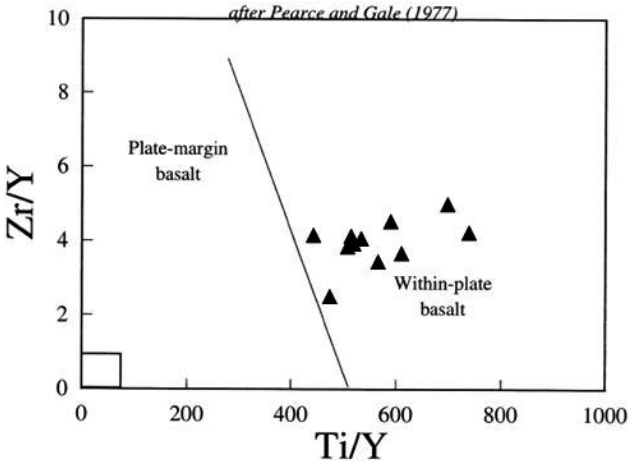

Abb. 18: Geotektonisches Diskriminierungsdiagramm Ti/Y [ppm] versus Zr/Y [ppm] nach Pearce & Gale (1977).

Nach Pearce et al. (1984) zeigen Intraplattenbasalte, ob alkalisch oder tholeiitisch, generell eine Anreicherung der Elemente Th bis Ti. Die untersuchten Gesteine entsprechen in etwa dem beschriebenen Verteilungsmuster, variieren jedoch in der Anreicherung dieser Elemente. Derartige heterogene Ergebnisse sind vor allem für kontinentale, Intraplattengesteine charakteristisch, da eine starke Beeinflussung durch den subkontinentalen Mantel zu erwarten ist (Pearce et al., 1984).

11. Geothermobarometrie

11.1 Semiquantitative Thermobarometrie

Ti-in-Hornblende Geothermometer: Der Ti-Gehalt in Amphibolen kann in magmatischen und metamorphen Gesteinen als Geothermometer verwendet werden (Otten, 1984). Der Ti-Gehalt ist temperaturabhängig und nimmt bei steigender Temperatur zu (Otten, 1984; Ernst & Liu, 1998). Das Thermometer von Otten (1984) wurde für ilmenitführende Gabbros in einen Druckbereich von 6-10 kbar kalibriert. Die errechnete Durchschnittstemperatur der Metagabbros liegt bei 506°C, die Temperatur der Amphibolite bei 504°C (Otten, 1984).

Metamorphe Faziesserien nach Laird & Albee (1981): Die Amphibole der untersuchten Metagabbros und Amphibolite plotten in den Diagrammen nach Laird & Albee (1981) in Abbildung 19 in den Bereich der Niederdruck-Fazies (Abukuma Typ) und in die Mitteldruck-Fazies (Dalradian Typ).

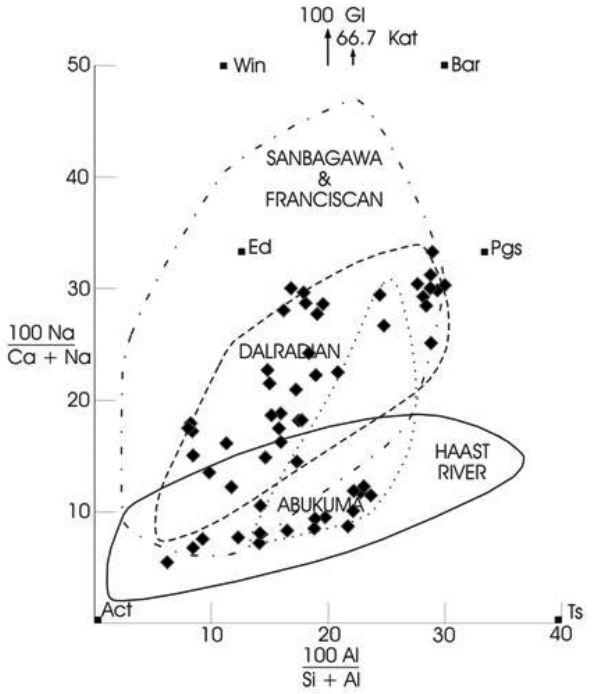

Abb. 19: Faziesserien der Amphibole nach Laird & Albee (1981), welche Amphibolanalysen verschiedener mafischer Serien aus HP-, MP- und LP-Gesteinseinheiten darstellen. Die Felder ermöglichen die Abgrenzung von Amphibolen, die unter unterschiedlichen Metamorphosebedingungen gebildet wurden. Die Symbole stellen die Analysen aus den Metagabbros dar.

11.2 Geothermobarometrie

Zur Berechnung der P-T Daten wurden hauptsächlich die Programme THERMOCALC v.3.21 von Holland & Powell (1998), und PET 5.01 von Dachs (1997) verwendet. Mit dem Programm THERMOCALC werden alle möglichen Mineralreaktionen zwischen einem definierten Set an Phasenkomponenten berechnet. Aus diesen ergeben sich einzelne Gruppen an Reaktionen, welche einen Schnittpunkt ergeben. Es ergaben sich folgende P-T Daten:

THERMOCALC v.3.21

Probe wobei aH2O=1		Metagabbro VR1a	Metagabbro VR15b	Amphibolit VR22
T[°C]	452 - 483	550 - 583		536 - 565
P[kbar]	4-5	4-5		4-5

PET steht für „Petrological Elementary Tools" (Dachs, 1997). Dabei können zahlreiche Anwendungen wie Mineralformeln und Aktivitäten berechnet sowie Geothermobarometer verwendet werden. Die Ermittlung von Mineralgleichgewichten basiert auf dem intern konsistenten Datensatz von Holland & Powell (1998). Zusätzlich können die errechneten Ergebnisse in Diagrammen dargestellt werden. Es wurden das Geothermometer Amphibol-Plagioklas und das Geobarometer Amphibol-Chlorit verwendet.

Geothermometer Amphibol – Plagioklas: Die Temperaturen wurden nach der Kalibration von Holland & Blundy (1994) ermittelt (Abb. 20, 21).

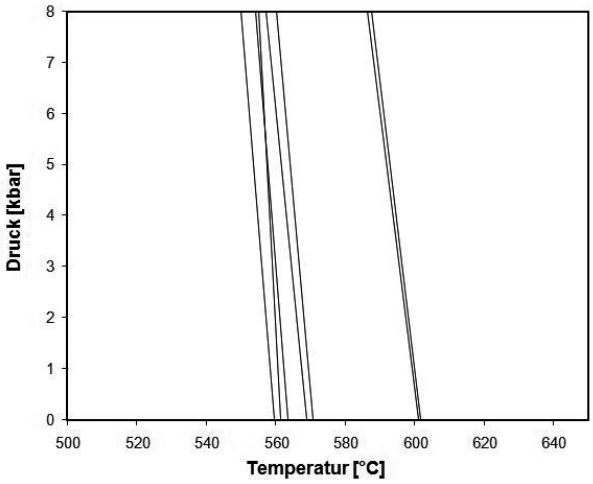

Abb. 20: Amphibol-Plagioklas Thermometrie nach Holland & Blundy (1994) nach der Kalibration 0 (Edenit – Tremolit) mittels der Reaktion Albit + Tremolit = Edenit + Quarz (Probe VR03/1, Metagabbro).

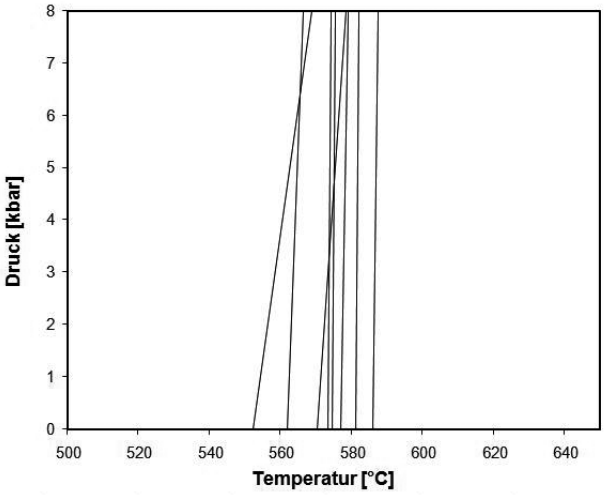

Abb. 21: Amphibol-Plagioklas Thermometrie nach Holland & Blundy (1994) mittels der Kalibration 0 der Probe VR22 (Amphibolit).

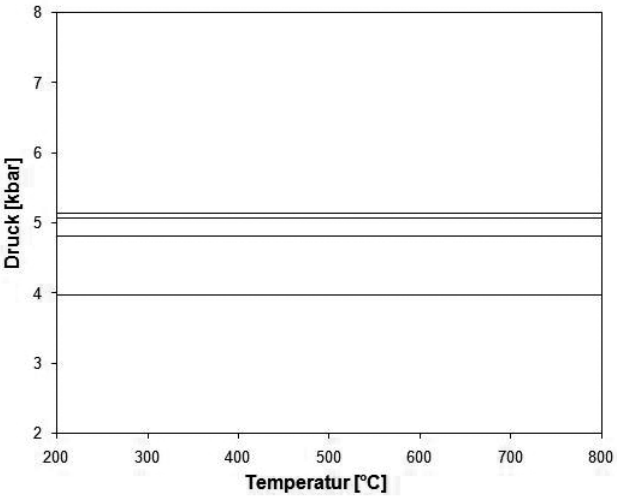

Abb. 22: Amphibol-Chlorit Barometrie nach Cho (1988, schriftl. Mitt., in Laird, 1988) der Probe VR04J (Metagabbro).

Geobarometer Amphibol – Chlorit: Die Drucke beruhen auf dem Fe-Mg Austausch zwischen Amphibol und Chlorit nach Cho (1988, schriftl. Mitt., in Laird, 1988). Eine detaillierte Studie über die Druckabhängigkeit des FeMg-1 Austausches zwischen Aktinolith und Chlorit zeigt, dass der Kd-Wert zwischen Amphibol und Chlorit druckabhängig ist und somit als Geobarometer in niedriggradigen Metabasiten angewandt werden kann (Abb. 22):

$$P\,[\text{kbar}] = 10.5 \ln Kd + 0.5$$

wobei $Kd = (Mg/Fe)Act / (Mg/Fe)Chl$

Zusammenfassend ergaben sich folgende P-T Daten:

MATHEMATICA – PET 5.01
Amphibol-Plagioklas Thermometrie

Probe	Metagabbro VR03/1	Amphibolit VR15b	Amphibolit VR22
T [°C]			
P = 5 kbar			
550 - 588	Kalibration 0:		
405 - 447	Kalibration 1:		
488 – 568	Kalibration 0:		
567 – 587	Kalibration 0:		

Amphibol-Chlorit Barometrie

	Metagabbro VR04J	VR19
P [kbar]	3.97 – 5.13	3.00 – 4.50

12. Diskussion

Den Schwerpunkt der Arbeit bildete der Amphibolit/Metagabbro Komplex bei Gufidaun und dessen geochemische und thermobarometrische Untersuchungen. Mineralchemisch wurden in beiden Gesteinsarten ähnliche Beobachtungen gemacht. Die Amphibole der Metagabbros und Amphibolite zeigen teilweise starke Zonierungen. In den Amphiboliten konnten texturell zwei Amphibolgenerationen (Amp I, Amp II) unterschieden werden. Chemisch sind sie aber sehr ähnlich in ihrer Zusammensetzung. Amp I könnte möglicherweise einen reliktischen, spätmagmatischen Amphibol darstellen. Amp II weist eine prograde Zonierung, wie in den Metagabbros, auf. Die Amphibole der Metagabbros weisen eine prograde Zonierung mit einen variszisch metamorphen, aktinolithischen Kern, und Mg-Hornblende und Pargasit bzw. Edenit in den Rändern, auf. Bei den nicht zonierten Amphibolen handelt es sich um Mg-Hornblende. Es kann daher ein Temperaturanstieg in den Amphibolen (vom Kern zum Rand hin) angenommen werden. Gegen Ende oder möglicherweise auch nach der Abkühlung der Intrusion setzte eine Dekompression ein. Die Granate der Hornfelse (kontaktmetamorpher Quarzphyllit) besitzen einen variszischen Kern und einen jüngeren Anwachssaum, wobei dieser die Folge der Permischen Kontaktmetamorphose darstellt. Granat wurde nur im Hornfels gefunden, in allen anderen Gesteinen fehlt er völlig.

Thermobarometrische Berechnungen mit den Programmen THERMOCALC V.3.21 und PET 5.01 sowie semiquantitative Methoden ergaben für die Metagabbros und Amphibolite variszische Metamorphosebedingungen von 488-588°C und 3-5 kbar (Abb. 23). Die Ergebnisse aus den untersuchten Metagabbros und Amphiboliten stimmen mit den P-T Daten von ca. 450-550°C und 5-6.5 kbar von Ring & Richter (1994) gut überein. Die P-T Bedingungen von 520-550°C und 5.3 kbar aus den Quarzphylliten bei Brixen (Wyhlidal, 2008), stimmen ebenfalls mit den errechneten Daten des Amphibolit/ Metagabbro Komplexes überein.

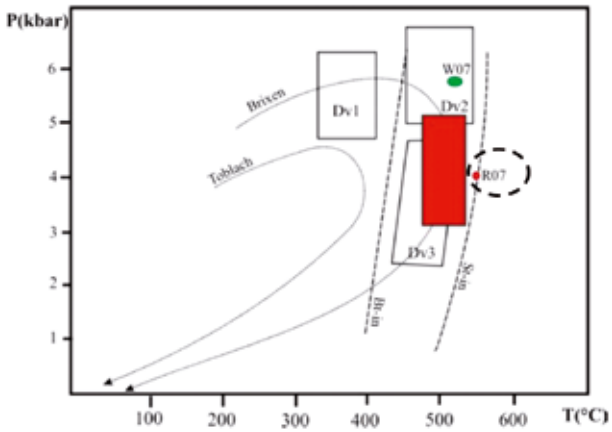

Abb. 23: P-T Diagramm mit den thermobarometrischen Daten dieser Arbeit (rotes Rechteck und strichlierter Kreis). Die Bereiche Dv1, Dv2 und Dv3 repräsentieren die P-T Abschätzungen von Deformationsevents der Gesteine von der Gegend bei Brixen und Toblach (von Ring & Richter, 1994). Die Stabilitätskurven Biotit (Bt-in) und Staurolith (St-in) stammen von Yardely (1989). Eingezeichnet sind thermobarometrische Daten von Wyhlidal (2008) (Probe W07) und Rofner (2010) (Probe R07).

Danksagung

Dank gilt Dr. Richard Tessadri für die Hilfe bei der Vorbereitung und Messung am Röntgenfluoreszenzspektrometer. Mag. Martina Tribus und Bernhard Sartory wird für die Hilfe an der Elektronenstrahlmikrosonde gedankt. Dr. Werner Thöny wird für die Durchsicht des Manuskriptes gedankt.

Literatur

Bögel, H. & Schmidt, K. (1976): Kleine Geologie der Ostalpen. – Thun (Ott), 231 S.

Brandner, R., Gruber, A. & Keim, L. (2007): Geologie der Westlichen Dolomiten: Von der Geburt der Neotethys im Perm zu Karbonatplattformen, Becken und Vulkaniten der Trias. – Geo.Alp 4: 95-121.

Cox, K.G. (1979): The interpretation of igneous rocks. – George Allen & Hyman, London.

Dachs, E. (1997): PET: petrological elementary tools for mathematica. – Comp. Geosci. 24: 219-235.

Ernst, W.G. & Liu, J. (1998): Experimental phase-equilibrium study of Al- and Ti-contents of calcic amphibole in MORB - a semiquantitative thermobarometer. – Am. Mineral. 83: 952–969.

Furlani-Cornerlius, M. (1924): Zur Kenntnis der Villnösser Linie. – Verh. Geol. B.-A., 7: 125–131.

Gisser, A. (1926): Zur Petrographie der Klausenite. – Der Schlern 11, 64 S.

Heißel, W. & Ladurner, J. (1936): Geologie des Gebietes von Villnöß-Gröden-Schlern-Rosengarten. – Jb. Geol. B.-A. 86, Wien, 63 S.

Hey, M.H. (1954): A new review of the chlorites. – Mineral. Mag. 30: 277-292.

Holland, T.J.B. & Blundy, J. (1994): Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. – Contrib. Mineral. Petrol. 116: 433-447.

Holland, T.J.B. & Powell, R. (1998): An internally consistent thermodynamic dataset for phases of petrological interest. – J. Metam. Geol. 16: 309-343.

Kretz, R. (1983): Symbols for rock-forming minerals. – Am. Mineral. 68: 277 – 279.

Laird, J. (1988): Chlorites: metamorphic petrology. – Rev. Mineral. 19: 405-442.

Laird, J. & Albee, A.L. (1981): High pressure metamorphism in mafic schist from Northern Vermont. – Am. J. Sci. 281: 97-126.

Leake, B.E. et al. (1997): Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. – Can. Mineral. 35: 219-246.

Mutschlechner, G. (1932): Geologie der St. Vigilier Dolomiten. – Jb. Geol. B.-A. 82: 163-273.

Otten, M.T. (1984): The origin of brown hornblende in the Artjället gabbro and dolerites. – Contrib. Mineral. Petrol. 86: 189-199.

Pearce, J.A., Harris, N.B.W. & Tindle A.G. (1984): Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks. – J. Petrol. 25: 956-983.

Ring, U. & Richter, C. (1994): The Variscan structural and metamorphic evolution of the eastern Southalpine basement. – J. Geol. Soc., London, 151: 755-766.

Rofner, V. (2010): Petrologie und Geologie des Amphibolit/Metagabbro Komplexes von Gufidaun (Südtirol, Italien). – Unveröffentl. Diplomarb., Univ. Innsbruck, 139 S.

Schmidt, S.M., Fügenschuh, B., Kissling, E. & Schuster, R. (2004): Tectonic map and overall architecture of the Alpine orogen. – Ecl. Geol. Helv. 97: 93-117.

Staindl, A. (1971): Klausen geologisch gesehen. – Der Schlern 45: 372-379.

Stingl, V. & Mair, V. (2005): Einführung in die Geologie Südtirols. – Autonome Provinz Bozen, Amt für Geologie und Baustoffprüfung, Kardaun (BZ), 80 S.

Wilson, M. (1989): Igneous petrogenesis. – London, Unwin Hyman, 456 S.

Wyhlidal, S. (2008): Petrological and experimental investigations on the Permian contact metamorphic event in the Southalpine domain (South Tyrol, Italy). – Unveröffentl. Diss., Univ. Innsbruck, 262 S.

Yardley, B.W.D. (1989): An Introduction to Metamorphic Petrology. – Longman Earth Science Series, 248 S.

Manuskript eingereicht: 21.6.2010
Überarbeitetes Manuskript angenommen: 24.8.2010

Verband der selbständigen Geologen Österreichs
VSGÖ Verband der selbständigen Geologen Österreichs
Hölzlstraße 5 · A-5071 Wals bei Salzburg · Österreich
Tel. +43-(0)662-65 9 65-334 · Fax +43-(0)662-65 9 65-10
E-Mail geologie@geoconsult.at
Gemeinsame Exkursionen & Tagungen
Förderung für den Berufseinstieg von Absolventen
Bewerberdatenbank
Optimierung von Ressourcen durch Austausch von Personal und Messgeräten

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Geo.Alp

Jahr/Year: 2010

Band/Volume: 007

Autor(en)/Author(s): Rofner Verena, Tropper Peter, Mair Volkmar

Artikel/Article: Petrologie, Geochemie und Geologie des Amphibolit/Metagabbro Komplexes von Gufidaun (Südtirol, Italien) 39-53