

Zur Geochemie und Entstehungsgeschichte der Granat-Amphibolite des Gambarognogebietes, Ticino, Südalpen

Autor(en): **Bulletti, Marco**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen
= Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie**

Band (Jahr): **63 (1983)**

Heft 2-3

PDF erstellt am: **23.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-48733>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Zur Geochemie und Entstehungsgeschichte der Granat-Amphibolite des Gambarognogebietes, Ticino, Südalpen

von *Marco Buletti**

Abstract

24 garnet amphibolites of the Gambarogno region (Ticino, Southern Alps) have been chemically analyzed. With the XRF method 10 major elements and 13 trace elements have been recognized.

Various diagrams, on which major and trace elements are plotted, show that the garnet amphibolites are of orthogenic origin. Other diagrams display the original tholeiitic chemistry of the garnet amphibolites. In the PEARCE and CANN (1973) diagrams the garnet amphibolites clearly occupy the field of the Ocean-floor basalts. Petrological facts as well as age-determinations indicate that the garnet amphibolites experienced Caledonian metamorphism under amphibolite-facies conditions. Therefore the tholeiitic-basaltic protolith must have originated of an active, divergent plate margin in Precambrian time.

Keywords: amphibolites, geochemistry, metavolcanic rocks, tholeiitic composition, Southern Alps

Riassunto

In 24 campioni di anfiboliti granatiferi della regione del Gambarogno (Ticino, alpi meridionali) sono stati analizzati con il metodo della XRF i 10 elementi maggiori e 13 tracce.

L'analisi grafica di questi risultati dimostra l'origine magmatica di queste rocce. In dettaglio esse presentano un carattere tholeiitico dei magmi protolitici e una spiccata tendenza verso i basalti oceanici (Ocean-floor basalts, PEARCE and CANN 1973).

Argomenti petrologici e le datazioni mostrano che le anfiboliti granatiferi subirono un metamorfismo caledoniano di facies anfibolitica. Ne risulta che il protolito basaltico-tholeiitico dovrebbe trovare la sua origine in età precambriana al margine attivo di una placca divergente.

Einleitung

Diese Arbeit soll das Ursprungsgestein der Granatamphibolite des Gambarognogebietes charakterisieren und die Entstehungsgeschichte aufzeigen.

Die geochemischen Daten von 24 Gesteinsproben ergeben aufgrund der Haupt- und Spurenelementverteilung ein recht klares Bild und geben Hinweise auf den Protolith und seine Entwicklung zu Granatamphiboliten.

* Mineralogisch-Petrographisches Institut, Universität Bern, Baltzerstr. 1, 3012 Bern.

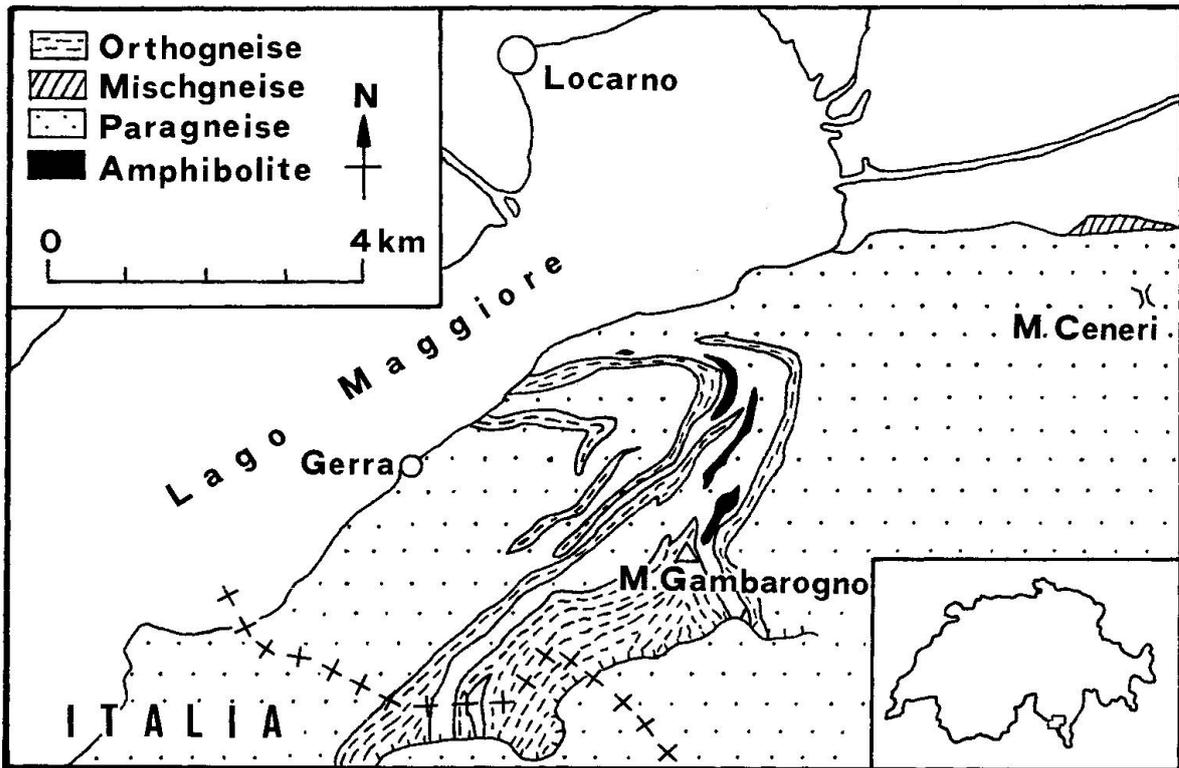


Fig. 1 Geol. Übersichtskarte des Gambarognogebietes. Vereinfacht nach M. REINHARD (1964).

Geologischer Überblick

Die Riviera del Gambarogno befindet sich am nördlichen Ostufer des Lago Maggiore. Das bearbeitete Gebiet liegt im nördlichen Teil des Seengebirges in der Ceneri-Zone. Tektonisch wird diese hier durch einen steilachsigen Schlingenbau beherrscht. Bearbeiter der Ceneri-Zone (BAECHLIN 1937, REINHARD 1964) unterschieden bei ihren Kartierungen Orthogneise, Mischgneise, Paragneise und Amphibolite (Fig. 1).

Der Metamorphosegrad nimmt im kristallinen Grundgebirge der Tessiner Südalpen von SE gegen NW zu. In der nördlichen Ceneri-Zone erreichte die Metamorphose die höhere Amphibolitfazies (SCHMID und WOOD 1976).

Die Frage, wann die amphibolitfazielle Regionalmetamorphose die Gesteine der Ceneri-Zone überprägte, ist nicht völlig geklärt. Altersbestimmungen an einer Monazitprobe datieren diese Metamorphose als altpaläozoisch (KÖPPEL und GRÜNENFELDER 1971). Alterswerte von Glimmern und Hornblenden dagegen weisen der Amphibolitfazies-Metamorphose ein herzynisches Alter zu (MCDOWELL 1970).

KÖPPEL (1974) schliesst aufgrund weiterer Daten, dass die Metamorphose in der Ivrea-Zone und der daran anschliessenden Ceneri-Zone mindestens 250 m. y. dauerte. Sie umfasste also eine Zeitspanne, von welcher man annimmt, dass sie zwei verschiedene Orogenphasen enthalte.

Viele Faktoren sprechen dafür, dass die Ceneri-Zone und die Ivrea-Zone dem gleichen Teil des Grundgebirges angehören und deshalb eine ähnliche Metamorphosegeschichte erlebten. HUNZIKER und ZINGG (1980) geben ein Abkühlungsmodell für die Ivrea-Zone. Auf eine kaledonische Metamorphose unter granulit- und amphibolitfaziellen Bedingungen folgte eine langsame, 250 m. y. dauernde Abkühlung auf etwa 300°C.

Beschreibung und Mineralogie der Granatamphibolite

Die Granatamphibolite des Gambarogngebietes werden von BAECHLIN (1937) als Granatamphibolite und z. T. als Eklogitamphibolite bezeichnet.

Die Aufschlussgrößen variieren von einem kleinen, metergrossen Bachanriss bis zu einem Granatamphibolitzug, der über 600 m verfolgbar ist.

Die meisten der chemisch analysierten Proben stammen von einem Querprofil durch diesen Granatamphibolitzug. Stellvertretend sei dieser Aufschluss kurz charakterisiert. Innerhalb von diesem Granatamphibolitzug wechseln granatreiche Partien mit Stellen ab, wo die Granate stark zersetzt sind oder zum Teil völlig fehlen, das heisst total aufgelöst wurden. Anstelle von Granaten sieht man dann weissgraue Mineralaggregate, die dem Amphibolit ein gesprenkeltes Aussehen verleihen. Solche Amphibolite findet man oft gegen den Kontakt zum Nebengestein, aber auch unregelmässig über den ganzen Granatamphibolitkörper verteilt. Die Übergänge sind kontinuierlich, wobei mehrmals granatreiche Partien mit granatarmen und schliesslich granatfreien, gesprenkelten Partien abwechseln können. Im Handstück zeigen die Granatamphibolite in einer fleckig-dunkelgrünen Grundmasse bis 7 mm grosse, dunkelrote Granatkörner und kleine, oft parallel angeordnete, dunkelgrüne Hornblendestengel.

Im Mikroskop betrachtet erkennt man, dass die Grundmasse der Granatamphibolite zu einem grossen Teil aus einem mikrodiablastischen Grundgewebe von Hornblende und Plagioklas besteht. Mit gekreuzten Polarisatoren sieht man, dass es sich um Pseudomorphosen nach älteren Pyroxenen oder Hornblenden handelt. Diese Beobachtung könnte frühere, höhergradige Paragenesen andeuten. Einige Hornblenden weisen eine Zonierung auf. Dabei umgibt ein dunklerer, grüner Rand einen blässeren, bläulichen Kern.

Die Granatkörner sind rundlich und immer stark von Rissen durchzogen. Randlich sind sie meistens kelyphitisiert. Mikrosondenanalysen zeigten, dass nicht nur die Hornblenden, sondern auch die Granate zoniert sind. Die Zonierung der Granate widerspiegelt einen steigenden Metamorphosegrad während ihres Wachstums. Die Ergebnisse der Mikrosondenanalysen an den Hornblenden untermauern diese Aussage (BULETTI 1981).

Geochemie der Granatamphibolite

Mit der Röntgenfluoreszenz-Methode wurden 10 Hauptelemente und 13 Spurenelemente bestimmt. Das zweiwertige Fe wurde colorimetrisch und CO₂ coulometrisch analysiert.

Der durch die Standardisierung bedingte Fehler (= grösster Fehler) bei den Hauptelementanalysen beträgt auf die Gesamtsumme bezogen ~1%. ~0,6% des Fehlers beziehen sich auf das SiO₂. Bei den andern Hauptelementen ist der Fehler jeweils <0,1%. Die Fehlergrenze der einzelnen Spurenelemente wird hier aus Platzgründen nicht aufgeführt. Sie bewegt sich in einem Bereich, der die Aussagekraft der folgenden Diagramme aber in keinem Fall beeinträchtigt.

Die Analysedaten sind im Appendix zusammengestellt. Obwohl die Granatamphibolite metamorphe Gesteine sind, wird im folgenden versucht, diese geochemisch zu klassifizieren.

QML- und AFM-Dreieck

In Figur 2 sind die QML-Werte der untersuchten Granatamphibolite eingetragen. Die Werte zweier Proben kommen knapp über, einer auf, die restlichen unter die Quarzsättigungslinie PF zu liegen. Der grösste Teil der Werte liegt somit im Teildreieck PFR und ist auf ein eng begrenztes Feld beschränkt, das dem der Tholeiite entspricht (LE MAITRE 1976).

Im AFM-Dreieck (Figur 3) kann trotz der relativ geringen Variation in den Fe- und Mg-Gehalten ein schwacher Trend in Richtung steigender Fe/Mg-Verhältnisse bei konstant bleibenden Natrium- und Kalium-Gehalten beobachtet

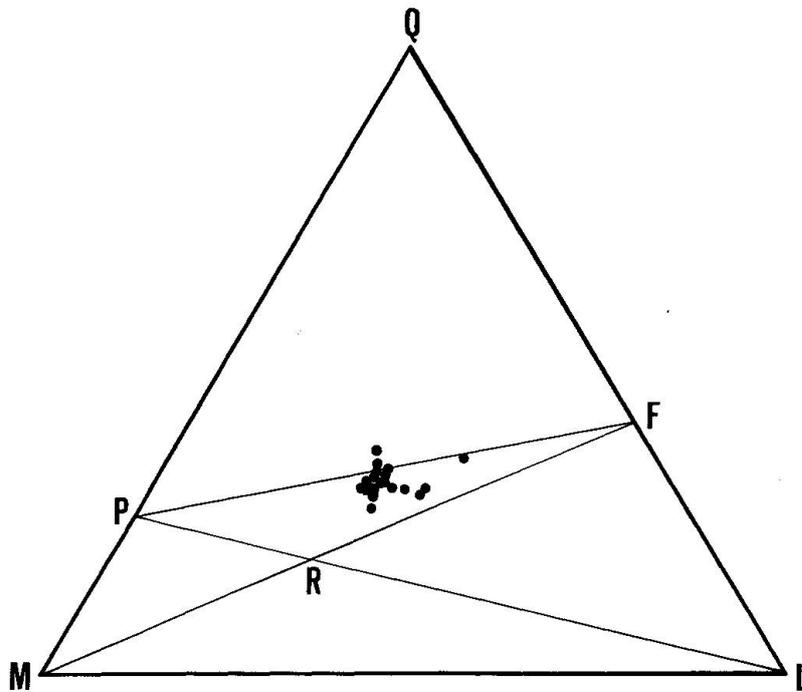


Fig. 2 QML-Dreieck.

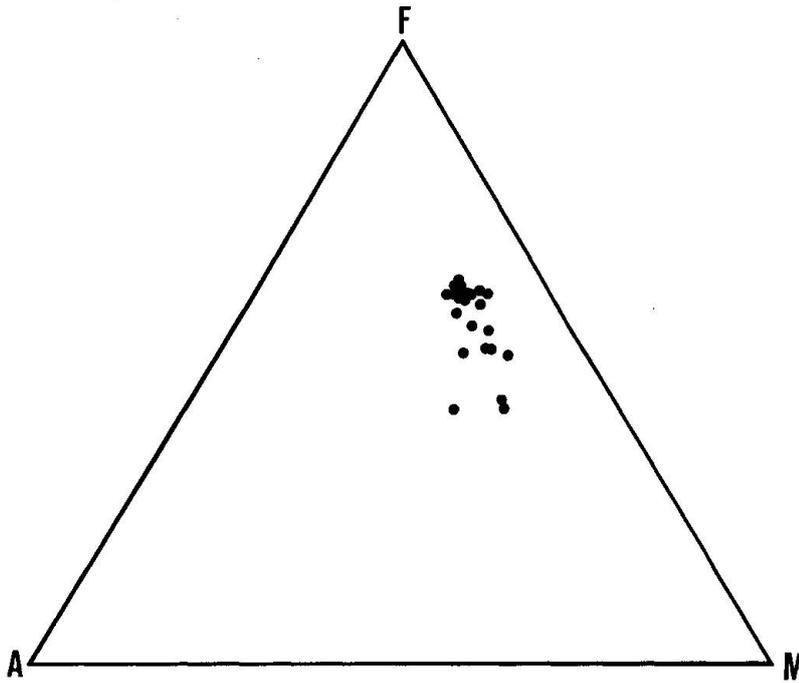


Fig. 3 AFM-Dreieck (F=FeO+Fe₂O₃).

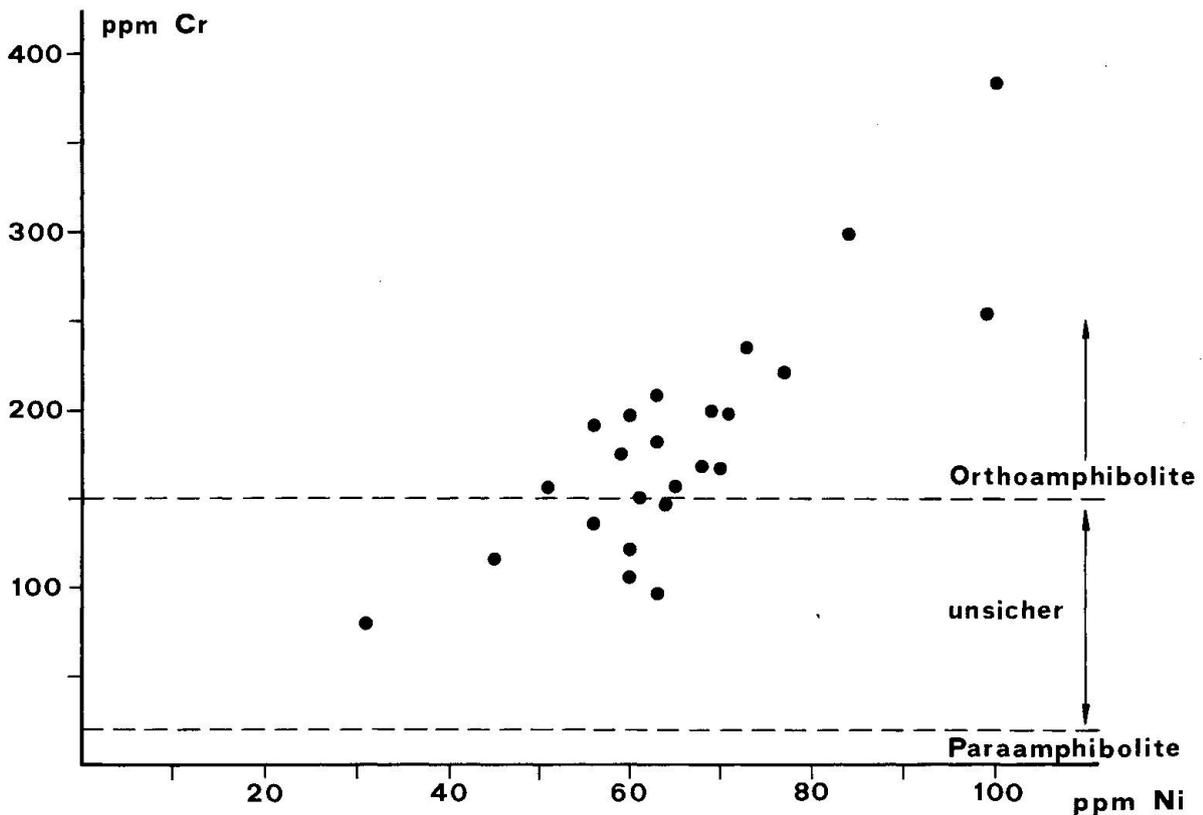


Fig. 4 Cr-Ni-Diagramm. Nach FRÖHLICH (1960) handelt es sich bei Amphiboliten mit Gehalten von mehr als 150 ppm Cr um Orthoamphibolite, Werte unter 20 ppm Cr weisen auf Paracharakter hin. Das Feld zwischen 20 ppm und 150 ppm Cr kann von Ortho- und Paraamphiboliten eingenommen werden.

werden. Die Natrium-, Kalium-, Eisen- und Magnesiumwerte der Granatamphibolite entsprechen denen tholeiit-basaltischer Gesteine.

Cr-Ni-Diagramm, c-mg-Diagramm und c-mg-(al-alk)-Dreieck

Mit diesen drei Darstellungen soll gezeigt werden, ob die Granatamphibolite Para- oder Orthogesteine sind.

In Figur 4 sind die Cr-Werte gegen die Ni-Werte der analysierten Proben aufgetragen. Die Cr-Gehalte streuen von 80 ppm bis 384 ppm. Die Ni-Gehalte variieren weniger, sie liegen zwischen 31 ppm und 100 ppm. Mit steigenden Cr-Gehalten sind auch die Ni-Gehalte jeweils leicht erhöht.

Im c-mg-Diagramm (Figur 5) beschreiben die untersuchten Proben einen für magmatische Gesteine charakteristischen, horizontalen Trend (LEAKE 1964). Im Gegensatz dazu würden Mischungen von Dolomiten und Kalken oder beiden mit Peliten – wie in der Figur mit geraden Pfeilen angedeutet – vertikale Trends zeigen.

Im c-mg-(al-alk)-Dreieck (Figur 6) bilden die Werte der Granatamphibolite ein kleines, deutlich umgrenztes Feld. Die Punkte liegen aber eindeutig auf der Trendlinie, die von einer magmatischen Entwicklung gebildet wird (LEAKE 1964). Mögliche Sedimentmischungen sind in der Figur auch angegeben. Sie heben sich klar von der magmatischen Trendlinie ab.

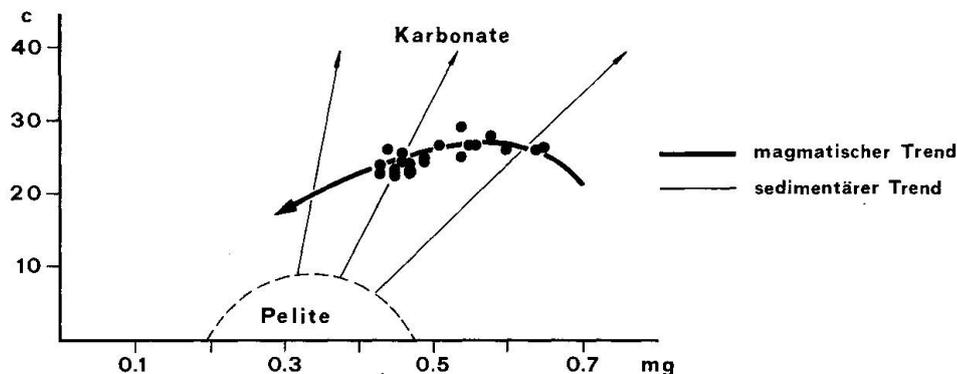


Fig. 5 c-mg-Diagramm nach LEAKE (1964).

Zusammenfassend ergibt sich:

Die Cr-Gehalte der Granatamphibolite variieren zwischen 80 und 384 ppm. Nach FRÖHLICH (1960) handelt es sich bei Amphiboliten mit Gehalten von mehr als 150 ppm Cr um Orthoamphibolite. Das Feld zwischen 20 ppm und 150 ppm kann von Ortho- und Paraamphiboliten eingenommen werden. Werte unter 20 ppm weisen auf Paracharakter hin. Die Werte von sieben Granatamphiboliten liegen im Zwischengebiet. Alle andern Werte liegen im Feld der Orthogesteine. Kein einziger Wert liegt im Parafeld (Figur 4).

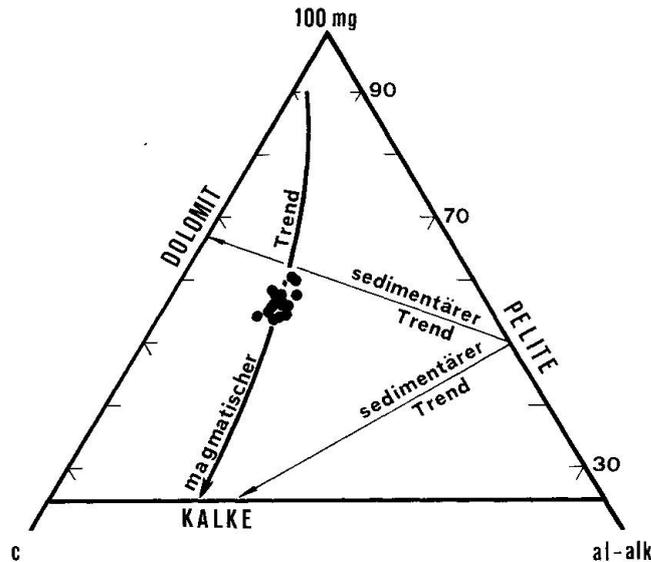


Fig. 6 c-mg-(al-alk)-Dreieck nach LEAKE (1964).

Die Cr-Ni-Verhältnisse der Granatamphibolite sind ausnahmslos grösser als 1. Damit ist nach KUKLEY (1975) eine Bedingung für den Orthocharakter von Amphiboliten erfüllt.

22 Proben weisen Co-Gehalte von mehr als 40 ppm und V-Gehalte grösser als 200 ppm auf. Sämtliche 24 Proben haben mehr als 20 ppm Sc. Die Granatamphibolite erfüllen damit nach LANGE (1965) drei Bedingungen für den Orthocharakter von Amphiboliten.

Im c-mg-Diagramm (Figur 5) beschreiben die untersuchten Granatamphibolite den von LEAKE (1964) definierten magmatischen Trend, was wiederum für einen orthogenen Ursprung der Granatamphibolite spricht.

Im c-mg-(al-alk)-Dreieck (Figur 6) nach LEAKE (1964) kann kein deutlicher Trend festgestellt werden. Die Werte liegen aber deutlich auf der Trendlinie, die von einer basischen, magmatischen Entwicklung gebildet wird, und nicht auf den Sedimentmischungslinien von Peliten mit Kalken oder Dolomiten.

Die Cr-, Ni-, Co-, V- und Sc-Gehalte der untersuchten Proben sprechen für einen orthogenen Ursprung der Granatamphibolite. Die Hauptelementgehalte zusammen mit ihren Variationstrends weisen ebenfalls auf ein magmatisches Ausgangsgestein hin.

Die Proben liegen auf Variationstrends, welche das Differentiationsverhalten basaltischer Magmen widerspiegeln.

Alle diese Tatsachen legen einen orthogenen Ursprung der Granatamphibolite des Gambarogngebietes nahe.

Ursprungsgestein der Granatamphibolite

Nachdem der Orthocharakter der Granatamphibolite nachgewiesen ist, soll nun das Ursprungsgestein näher charakterisiert werden.

SiO₂-(Na₂O+K₂O)-Diagramm

In Figur 7 sind die SiO₂-Gehalte der Granatamphibolite gegen die Alkaligehalte aufgetragen.

Die Werte der Proben liegen deutlich im tholeiitischen Feld.

Zr/P₂O₅-Verhältnisse

Figur 8 zeigt die Zr/P₂O₅-Verhältnisse der Granatamphibolite. Mit steigenden P₂O₅-Gehalten nehmen auch die Zr-Gehalte zu. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass bei steigendem Metamorphosegrad die P₂O₅-Gehalte und Zr-Gehalte leicht zunehmen können. Das Verhältnis von Zr/P₂O₅ wird aber demnach kaum ändern (WINCHESTER und FLOYD 1976).

Sämtliche Werte der Granatamphibolite liegen im tholeiitischen Feld.

Die Zr/P₂O₅-Verhältnisse alkali-basaltischer Gesteine sind meist kleiner als 0,05, frische Tholeiite hingegen haben meist grössere Verhältnisse als dieses (WINCHESTER 1976). Ausser bei zwei Proben sind sämtliche Zr/P₂O₅-Verhältnisse grösser als 0.05 und weisen damit auf ein tholeiitisches Ursprungsgestein hin (Figur 9).

TiO₂-Zr/P₂O₅-Diagramm

Ti, P und Zr zeigen während der Metamorphose basaltischer Gesteine eine begrenzte Mobilität (ELLIOTT 1973, WINCHESTER und FLOYD 1976). Diese Elemente eignen sich also, Alkali-Basalte von Tholeiiten zu unterscheiden.

Alle Granatamphibolite liegen eindeutig im tholeiitischen Bereich (Figur 9).

TiO₂-Zr-Verhältnisse

In Figur 10 sind die TiO₂/Zr-Verhältnisse der Granatamphibolite eingetragen. Man beobachtet eine parallel zu Ti gehende Anreicherung von Zr. Nach FLOYD und WINCHESTER (1975) überschneiden sich die Felder der Tholeiite und Alkali-Basalte bei TiO₂-Gehalten, die grösser als 2% sind. Die TiO₂- und Zr-

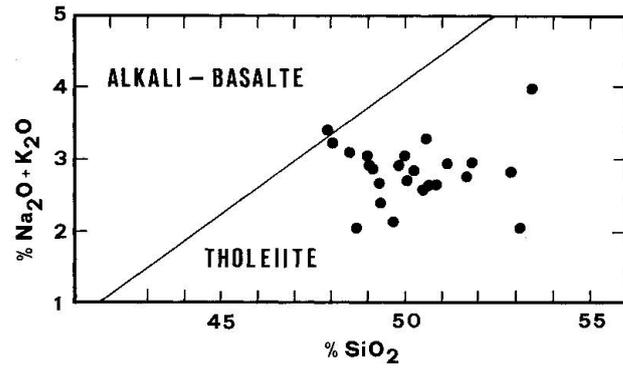


Fig. 7 SiO₂-(Na₂O+K₂O)-Diagramm. Trennlinie zwischen Tholeiiten und Alkalibasalten nach MACDONALD und KATSURA (1964).

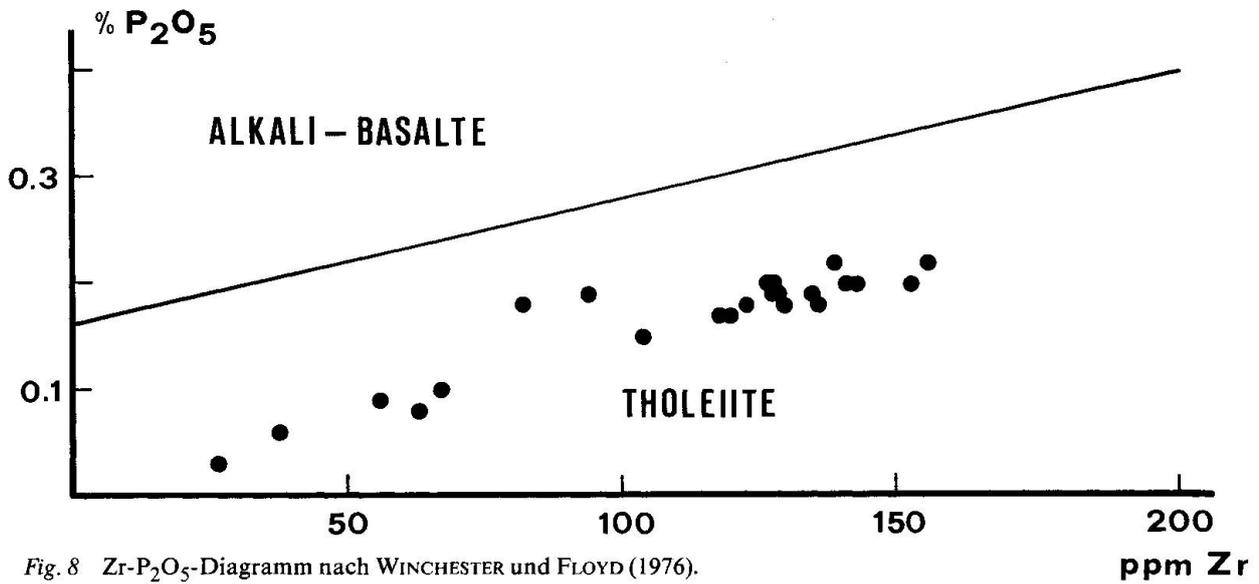


Fig. 8 Zr-P₂O₅-Diagramm nach WINCHESTER und FLOYD (1976).

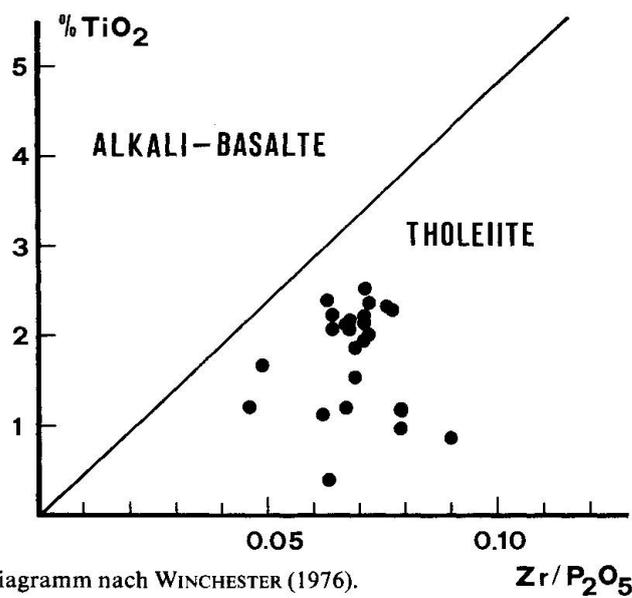


Fig. 9 TiO₂-Zr/P₂O₅-Diagramm nach WINCHESTER (1976).

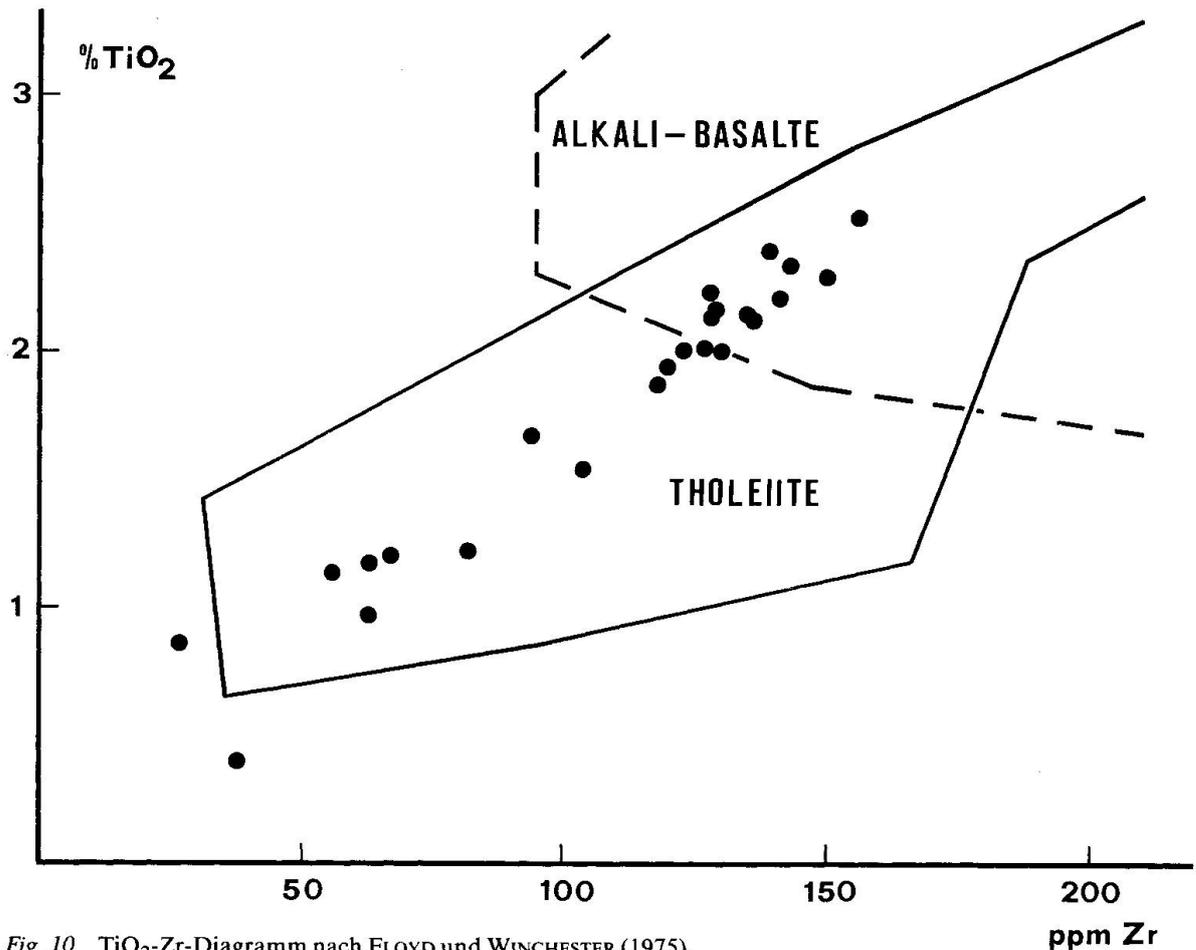


Fig. 10 TiO₂-Zr-Diagramm nach FLOYD und WINCHESTER (1975).

Werte von Alkali-Basalten würden einen horizontalen Trend entwickeln. Tholeiite hingegen zeigen eine positive Korrelation dieser beiden Elemente. Auch dieses Diagramm legt uns somit ein tholeiitisches Ursprungsgestein für die Granatamphibolite nahe.

In sämtlichen aufgeführten Diagrammen, die zur Bestimmung der Alkalinität von Basalten dienen, weisen die Werte der Granatamphibolite deutlich auf einen tholeiitischen Ursprungsschemismus hin.

Sowohl im QML-Dreieck wie auch im AFM-Dreieck fallen die Granatamphibolite ins Feld der Tholeiite.

Ti-Zr-Diagramm und Ti/100-Zr-Y₃-Dreieck (nach PEARCE und CANN 1973)

Für diese beiden Diagramme wurden nur Proben verwendet, welche nach der Definition von MANSON (1967) basaltischen Chemismus aufweisen.

Da die Proben metamorph sind, wurden in Figur 11 die Ti- gegen die Zr-Gehalte der Granatamphibolite aufgetragen. Die beiden Elemente sind deutlich

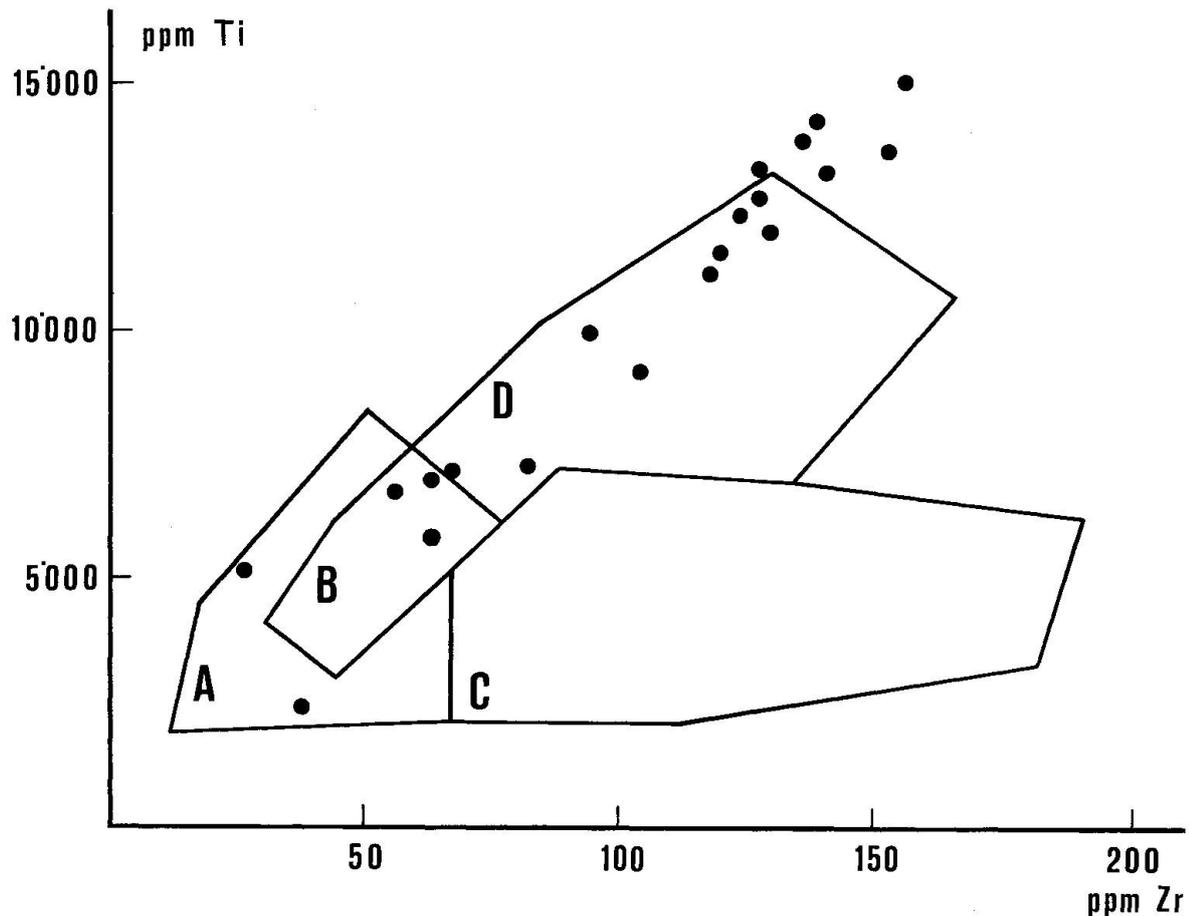


Fig. 11 Ti-Zr-Diagramm nach PEARCE und CANN (1973). Felder D,B = Ocean-floor Basalte, Felder A,B = low K-Tholeiite, Felder C,B = kalk-alkali Basalte.

positiv korreliert. Die meisten Proben liegen in den Feldern B und D. In diese beiden Felder projizieren nach PEARCE und CANN (1973) die «Ocean-floor»-Basalte. Auch die Werte ausserhalb der eingezeichneten Felder schliessen sich dem angezeigten Trend der andern Proben deutlich an.

Im Ti/100-Zr-Y.3-Dreieck (Figur 12) fallen 18 der dargestellten 20 Proben ins Feld B. Feld B grenzt wieder den Bereich der «Ocean-floor»-Basalte ab (PEARCE und CANN 1973).

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

In einem ersten Teil dieser Arbeit konnte anhand geochemischer Untersuchungen gezeigt werden, dass es sich bei den Granatamphiboliten des Gambarogngebietes um Orthoamphibolite handelt.

Die Proben liegen auf Variationstrends, welche das Differentiationsverhalten basaltischer Magmen widerspiegeln.

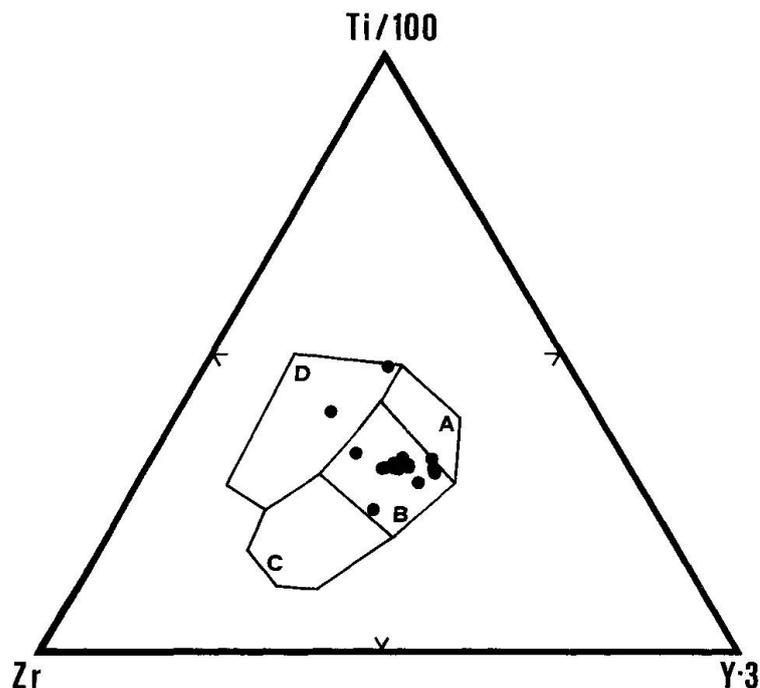


Fig. 12 Ti/100-Zr-Y.3-Dreieck nach PEARCE und CANN (1973). Feld D = within-plate Basalte, Feld B = Ocean-floor Basalte, Felder A, B = low K-Tholeiite, Felder C, B = kalk-alkali Basalte.

In den Diagrammen, in denen Alkali-Basalte von Tholeiiten unterschieden werden, fallen die untersuchten Granatamphibolite immer ins tholeiitische Feld. In den PEARCE- und CANN-Darstellungen (1973) projizieren die Granatamphibolite deutlich in die «Ocean floor»-Basalte-Felder.

Petrologische Argumente und Altersdatierungen deuten darauf hin, dass die Granatamphibolite eine kaledonische Metamorphose unter amphibolitfazialen Bedingungen erfahren haben (KÖPPEL und GRÜNENFELDER 1971, KÖPPEL 1974, HUNZIKER und ZINGG 1980, BULETTI 1981). Der tholeiitisch-basaltische Protolith muss deshalb an einer präkaledonisch aktiven, divergenten Plattengrenze entstanden sein.

Verdankungen

Für die vielen anregenden Diskussionen und Hinweise sowie die kritische Durchsicht des Manuskriptes möchte ich Prof. E. Niggli, Roland Oberhänsli, Peter Stille und Ivan Mercolli herzlich danken. Für die Englischkorrektur danke ich Fr. Dr. M. Mange.

| Appendix | MB-OA1 | MB-OA2 | MB-OA4 | MB-O49 | MB-O53 | MB-O56 | MB-O58 | MB-O61 | MB-O70 | MB-O71 | MB-125 | MB-248 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Probennr. | | | | | | | | | | | | |
| Gew% | | | | | | | | | | | | |
| SiO2 | 48.05 | 48.97 | 50.48 | 51.69 | 53.43 | 50.23 | 49.68 | 48.52 | 49.84 | 51.85 | 49.15 | 49.30 |
| TiO2 | 1.67 | 0.86 | 1.20 | 1.17 | 0.40 | 2.08 | 0.97 | 1.22 | 2.21 | 2.29 | 1.13 | 2.32 |
| Al2O3 | 17.18 | 17.78 | 14.56 | 14.21 | 18.19 | 13.31 | 15.36 | 16.25 | 13.47 | 12.74 | 14.08 | 13.52 |
| Fe2O3 | 3.83 | 2.09 | 4.45 | 2.99 | 2.21 | 6.59 | 1.92 | 2.09 | 5.14 | 4.02 | 2.77 | 3.68 |
| FeO | 6.15 | 6.09 | 7.95 | 7.89 | 4.96 | 7.57 | 8.18 | 6.71 | 9.41 | 9.88 | 8.82 | 10.97 |
| MnO | 0.17 | 0.16 | 0.17 | 0.20 | 0.11 | 0.26 | 0.18 | 0.18 | 0.25 | 0.22 | 0.19 | 0.25 |
| MgO | 6.40 | 8.41 | 7.84 | 7.50 | 6.01 | 6.60 | 7.87 | 8.57 | 6.90 | 6.31 | 8.27 | 7.16 |
| CaO | 12.16 | 10.96 | 10.52 | 10.77 | 9.92 | 10.49 | 11.56 | 10.97 | 10.12 | 9.09 | 11.45 | 9.56 |
| Na2O | 2.85 | 2.74 | 2.27 | 2.43 | 3.44 | 2.56 | 0.83 | 1.92 | 2.38 | 2.53 | 2.26 | 2.18 |
| K2O | 0.36 | 0.31 | 0.30 | 0.33 | 0.53 | 0.28 | 1.31 | 1.17 | 0.27 | 0.42 | 0.60 | 0.48 |
| P2O5 | 0.19 | 0.03 | 0.10 | 0.08 | 0.06 | 0.20 | 0.08 | 0.18 | 0.20 | 0.20 | 0.09 | 0.18 |
| H2O* | 1.22 | 1.75 | 1.46 | 1.50 | 1.32 | 1.21 | 2.56 | 2.52 | 1.24 | 1.55 | 1.67 | 1.81 |
| CO2 | 0.06 | 0.05 | 0.09 | 0.04 | 0.14 | 0.07 | 0.17 | 0.17 | 0.09 | 0.12 | 0.11 | 0.07 |
| Total | 100.29 | 100.20 | 101.39 | 100.80 | 100.72 | 101.45 | 100.67 | 100.47 | 101.52 | 101.22 | 100.59 | 101.48 |
| ppm | | | | | | | | | | | | |
| Nb | 13 | <3 | <3 | <3 | <3 | 6 | <3 | 7 | 8 | 7 | <3 | <3 |
| Zr | 94 | 27 | 67 | 63 | 38 | 127 | 63 | 82 | 141 | 153 | 56 | 136 |
| Y | 18 | 9 | 33 | 31 | 12 | 52 | 27 | 21 | 53 | 50 | 28 | 51 |
| Sr | 382 | 290 | 233 | 161 | 265 | 151 | 182 | 232 | 125 | 109 | 211 | 110 |
| Rb | <4 | <4 | 7 | <4 | 11 | 4 | 70 | 57 | <4 | <4 | 18 | 5 |
| Ga | 14 | 11 | 17 | 16 | 14 | 18 | 15 | 16 | 18 | 17 | 15 | 16 |
| Zn | 90 | 70 | 91 | 96 | 60 | 120 | 126 | 114 | 147 | 120 | 122 | 133 |
| Cu | 20 | 60 | 43 | 96 | 12 | 86 | <7 | 11 | 146 | 51 | <7 | 41 |
| Ni | 31 | 84 | 56 | 71 | 63 | 64 | 59 | 100 | 60 | 45 | 60 | 63 |
| Co | 52 | 34 | 63 | 61 | 27 | 69 | 59 | 46 | 80 | 60 | 77 | 73 |
| Cr | 80 | 299 | 191 | 197 | 97 | 147 | 175 | 384 | 106 | 116 | 197 | 182 |
| V | 234 | 170 | 260 | 289 | 276 | 321 | 284 | 158 | 374 | 370 | 345 | 381 |
| Sc | 35 | 28 | 39 | 44 | 30 | 47 | 46 | 32 | 50 | 47 | 53 | 53 |

* H2O aus Glühverlust berechnet

| Probennr. | MB-249 | MB-250 | MB-251 | MB-252 | MB-253 | MB-254 | MB-255 | MB-257 | MB-261 | MB-262 | MB-263 | MB-264 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Gew% | | | | | | | | | | | | |
| SiO2 | 47.89 | 49.98 | 50.66 | 48.68 | 49.35 | 51.14 | 50.07 | 52.88 | 49.83 | 50.54 | 53.12 | 49.04 |
| TiO2 | 2.13 | 2.16 | 2.07 | 2.23 | 2.14 | 2.52 | 2.37 | 2.01 | 1.54 | 1.87 | 1.94 | 2.39 |
| Al2O3 | 13.51 | 13.43 | 12.99 | 13.77 | 13.74 | 12.88 | 13.25 | 12.82 | 15.42 | 13.85 | 13.23 | 13.66 |
| Fe2O3 | 4.11 | 6.12 | 3.95 | 4.51 | 6.29 | 4.23 | 6.11 | 3.91 | 4.04 | 4.11 | 4.15 | 5.44 |
| FeO | 10.49 | 8.74 | 10.23 | 10.08 | 7.75 | 10.52 | 9.07 | 9.58 | 8.17 | 9.37 | 9.09 | 9.84 |
| MnO | 0.23 | 0.30 | 0.26 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.23 | 0.21 | 0.22 | 0.24 | 0.24 |
| MgO | 6.29 | 6.73 | 6.84 | 7.61 | 7.36 | 6.28 | 6.30 | 6.61 | 7.01 | 6.72 | 6.52 | 6.78 |
| CaO | 10.92 | 9.30 | 9.96 | 10.25 | 10.43 | 9.01 | 9.70 | 8.88 | 11.22 | 9.31 | 9.34 | 9.60 |
| Na2O | 2.97 | 2.68 | 2.35 | 1.79 | 2.26 | 2.45 | 2.20 | 2.36 | 2.37 | 2.46 | 1.59 | 2.48 |
| K2O | 0.44 | 0.36 | 0.29 | 0.26 | 0.13 | 0.48 | 0.49 | 0.46 | 0.55 | 0.82 | 0.45 | 0.38 |
| P2O5 | 0.19 | 0.19 | 0.18 | 0.20 | 0.19 | 0.22 | 0.20 | 0.18 | 0.15 | 0.17 | 0.17 | 0.22 |
| H2O* | 2.02 | 1.28 | 1.46 | 1.69 | 1.20 | 1.75 | 1.74 | 1.70 | 1.58 | 1.87 | 1.76 | 1.83 |
| CO2 | 0.09 | 0.12 | 0.10 | 0.06 | 0.18 | 0.09 | 0.11 | 0.10 | 0.10 | 0.17 | 0.15 | 0.14 |
| Total | 101.28 | 101.39 | 101.34 | 101.37 | 101.26 | 101.81 | 101.85 | 101.72 | 102.19 | 101.48 | 101.75 | 102.04 |
| ppm | | | | | | | | | | | | |
| Nb | 7 | <3 | <3 | 9 | <3 | <3 | 8 | 5 | <3 | 8 | 9 | <3 |
| Zr | 128 | 129 | 123 | 128 | 135 | 156 | 143 | 130 | 104 | 118 | 120 | 139 |
| Y | 51 | 54 | 50 | 49 | 50 | 55 | 53 | 47 | 34 | 41 | 44 | 54 |
| Sr | 153 | 103 | 77 | 116 | 95 | 133 | 114 | 105 | 167 | 114 | 63 | 196 |
| Rb | 5 | <4 | <4 | <4 | 4 | 10 | <4 | 5 | 11 | 21 | 13 | <4 |
| Ga | 17 | 17 | 17 | 17 | 18 | 17 | 18 | 17 | <2 | 16 | 16 | 20 |
| Zn | 132 | 128 | 121 | 166 | 139 | 137 | 142 | 113 | 110 | 126 | 128 | 144 |
| Cu | 55 | 60 | 40 | 86 | 67 | 27 | 68 | 35 | 17 | 49 | 74 | 70 |
| Ni | 73 | 70 | 65 | 69 | 77 | 56 | 60 | 51 | 99 | 63 | 68 | 61 |
| Co | 82 | 83 | 69 | 41 | 85 | 74 | 83 | 64 | 68 | 64 | 82 | 80 |
| Cr | 235 | 167 | 157 | 199 | 221 | 136 | 122 | 156 | 254 | 208 | 168 | 150 |
| V | 457 | 381 | 352 | 293 | 405 | 378 | 445 | 285 | 324 | 318 | 361 | 371 |
| Sc | 55 | 53 | 49 | 46 | 52 | 51 | 55 | 41 | 48 | 47 | 50 | 54 |

* H2O aus Glühverlust berechnet

Literaturverzeichnis

SMPM = Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.

- BAECHLIN, R. (1937): Geologie und Petrographie des M.-Tamaro-Gebietes. SMPM 17, 1-79.
- BULETTI, M. (1981): Mineralogisch-petrographische Untersuchungen im Gebiete des M. Gambarogno, Südalpen, Ticino. Unpubl. Diplomarbeit Univ. Bern.
- ELLIOTT, R. B. (1973): The Chemistry of Gabbro/Amphibolite Transitions in South Norway. *Contr. Mineral. and Petrol.* 38, 71-79.
- FLOYD, P. A. and WINCHESTER, J. A. (1975): Magma type and tectonic setting discrimination using immobile Elements. *Earth and Planet. Sci. Lett.* 27, 211-218.
- FRÖHLICH, F. (1960): Ein Beitrag zur Geochemie des Chroms. *Geochem. Cosm. Acta* 20, 215-240.
- HUNZIKER, J. C. and ZINGG, A. (1980): Lower Palaeozoic Amphibolite to Granulite Facies Metamorphism in the Ivrea Zone (Southern Alps, Northern Italy). SMPM 60, 181-213.
- KÖPPEL, V. and GRÜNENFELDER, M. (1971): A Study of Inherited and Newly Formed Zircons from Paragneises and Granitised Sediments of the Strona-Ceneri-Zone (Southern Alps). SMPM 51, 385-409.
- KÖPPEL, V. (1974): Isotopic U-Pb Ages of Monazites and Zircons from the Crust-Mantle Transition and Adjacent Units of the Ivrea and Ceneri Zones (Southern Alps, Italy). *Contr. Mineral and Petrol.* 43, 55-70.
- KUKLEY, L. N. (1975): Origin of amphibolites of the precambrian Ol'khonsk series (Northwestern Baykal region). *Trans. from Geokhimiya* 1, 26-35.
- LANGE, H. (1965): Zur Genese der Metabasite im Sächsischen Erzgebirge. *Freiberger Forsch. H. RC* 177.
- LEAKE, B. E. (1964): The Chemical Distinction Between Ortho- and Para-amphibolites. *Journ. of Petrol.* 5/2, 238-254.
- LE MAITRE, R. W. (1976): The Chemical Variability of some Common Igneous Rocks. *Journ. of Petrol.* 17/4, 589-637.
- MACDONALD, G. A. and KATSURA, T. (1964): Chemical Composition of Hawaiian Lavas. *Journ. of Petrol.* 5/1, 82-133.
- MCDOWELL, F. W. (1970): Potassium-Argon Ages from the Ceneri Zone, Southern Swiss Alps. *Contr. Mineral. and Petrol.* 28, 165-182.
- MANSON, V. (1967): Geochemistry of basaltic rocks: major elements in HESS, H. H. and POLDERVAART, A.: *Basalts*. Vol. 1, 215-270.
- PEARCE, J. A. and CANN, J. R. (1973): Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth and Planet. Sci. Lett.* 19, 290-300.
- REINHARD, M. (1964): Über das Grundgebirge des Sottoceneri im Süd-Tessin und die darin auftretenden Ganggesteine. *Beitr. geol. Karte der Schweiz*, NF 117.
- SCHMID, R. and WOOD, B. J. (1976): Phase Relationships in Granulitic Metapelites from the Ivrea-Verbano-Zone (Northern Italy). *Contr. Mineral. and Petrol.* 54, 255-279.
- WINCHESTER, J. A. and FLOYD, P. A. (1976): Geochemical magma type discrimination: Application to altered and metamorphosed basic igneous rocks. *Earth and Planet. Sci. Lett.* 28, 459-469.
- WINCHESTER, J. A. (1976): Different Moininan amphibolite suites in northern Ross-shire. *Scott. J. of Geol.* 12/3, 187-204.

Manuskript erhalten 8. Juli 1983.