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

Band: 76 (1996)

Heft: 3

Artikel: Fedozer Metagabbro und Forno-Metabasalt (Val Malenco, Norditalien) : vergleichende petrographische und geochemische Untersuchungen = Fedoz metagabbro and Forno metabasalt (Val Malenco, N Italy) : comparative petrographic and geochemical investigations

Autor: Ulrich, T. / Borsien, G.-R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-57713

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

SCHWEIZ. MINERAL. PETROGR. MITT. 76, 521–535, 1996

Fedozer Metagabbro und Forno-Metabasalt (Val Malenco, Norditalien): Vergleichende petrographische und geochemische Untersuchungen

Fedoz metagabbro and Forno metabasalt (Val Malenco, N Italy): comparative petrographic and geochemical investigations

von *T. Ulrich*[1,2] und *G.-R. Borsien*[1]

Abstract

The Fedoz metagabbro (W Val Malenco area) exhibits intrusive contacts to ultramafic and metapelitic rocks although it was overprinted by Alpine greenschist facies metamorphism. The varieties of the metagabbro correspond to members of a single differentiation series. Geochemical investigations of the metagabbro indicate a tholeiitic differentiation trend and the separation of a residual melt in two immiscible melts. It is suggested that the generation of a highly differentiated TiO_2-, P_2O_5- and Fe_2O_3-rich (apatite-ilmenite-ferrogabbro) and a SiO_2- and alkali-rich (quartz diorite) melt is caused by a miscibility gap. These highly differentiated residual melts show with respect to some major and trace elements complementary values.

The Forno metabasalt, originally a MOR-basalt, is macroscopically difficult to distinguish from one of the Fedoz metagabbro varieties. But both metabasic rock types can be distinguished geochemically in a Y-vs.-Zr-diagram.

From the relation of the lithologic units with their country rocks and using chemical data, conclusions can be drawn about emplacement and development of the melts at the crust-mantle boundary (gabbro) and of melt ascent through the crust (basalt).

Keywords: metagabbro, metabasalt, differentiation, residual melts, geochemistry, Val Malenco, Central Alps.

Zusammenfassung

Der Fedozer Metagabbro besteht aus grünschieferfaziell überprägten Gesteinen mit Intrusivkontakten zu ultramafischen und metapelitischen Gesteinen des Val Malenco. Die beobachteten Gabbro-Varietäten entsprechen einzelnen Gliedern einer Differentiationsserie. Geochemische Untersuchungen des Fedozer Metagabbros belegen eine tholeiitische Differentiation, deren Restschmelze in zwei unmischbare Teilschmelzen aufgetrennt wurde. Es wird eine Mischungslücke für die Entwicklung einer hochdifferenzierten TiO_2-, P_2O_5- und Fe_2O_3-reichen (Apatit-Ilmenit-Ferrogabbro) und einer an SiO_2 und Alkalien angereicherten (Quarzdiorit) Schmelze angenommen. Diese Trennung führt zu Differentiationsprodukten, die in einigen Haupt- und Spurenelementen komplementäre Werte aufweisen.

Der Forno-Metabasalt, ursprünglich ein MOR-Basalt, ist einer Varietät des Fedozer Metagabbros (Ferrogabbro) makroskopisch sehr ähnlich. Die beiden Metabasica können aber geochemisch mit Hilfe des Y-vs.-Zr-Diagramms unterschieden werden.

Die Stellung dieser Gesteinstypen zu ihren Rahmengesteinen und die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen erlauben Aussagen zur Platznahme und Entwicklung einer Schmelze an der Kruste/Mantel-Grenze (Gabbro) bzw. zum Aufstieg einer Schmelze durch die Kruste (Basalt).

[1] Institut für Mineralogie und Petrographie, Eidgenössische Technische Hochschule, ETH Zentrum, CH-8092 Zürich, Schweiz.

[2] Derzeitige Adresse: Institut für Isotopengeologie und Mineralische Rohstoffe, Eidgenössische Technische Hochschule, ETH Zentrum, CH-8092 Zürich, Schweiz. E-mail: ulrich@erdw.ethz.ch.

Einleitung

Bis in die 70er Jahre wurden die ultramafischen Gesteine der grössten ultramafischen Masse der Alpen, des Malenco-Komplexes, zusammen mit dem Fedozer Gabbro und dem Forno-Basalt als Teil einer mesozoischen Ophiolithabfolge aufgefasst (TROMMSDORFF und DIETRICH, 1980; TRÜMPY, 1980). Die Detailuntersuchungen der letzten beiden Jahrzehnte im Gebiet Bergell–Malenco–Poschiavo lieferten eine grundsätzlich unterschiedliche Interpretation. GAUTSCHI (1979) konnte einen ophiolithischen Ursprung des Fedozer Gabbros ausschliessen, und für die ultramafischen Gesteine entwickelten TROMMSDORFF et al. (1993) neue Vorstellungen.

Demnach können Gabbros, Basalte und Ultramafitite im untersuchten Gebiet nicht in den Zusammenhang einer Ophiolithabfolge gestellt werden. Es handelt sich hier um zeitlich getrennte und unabhängige Entwicklungen. Die ultramafischen Gesteine repräsentieren subkontinentalen Mantel. Der Gabbro intrudierte an der Kruste/Mantel-Grenze; das Intrusionsalter wird von HANSMANN et al. (1995/96) mit 270 Ma angegeben. Nur der subvulkanische Forno-Basalt, der sich zu einem späteren Zeitpunkt in ozeanischem Milieu gebildet hat (Ligurischer

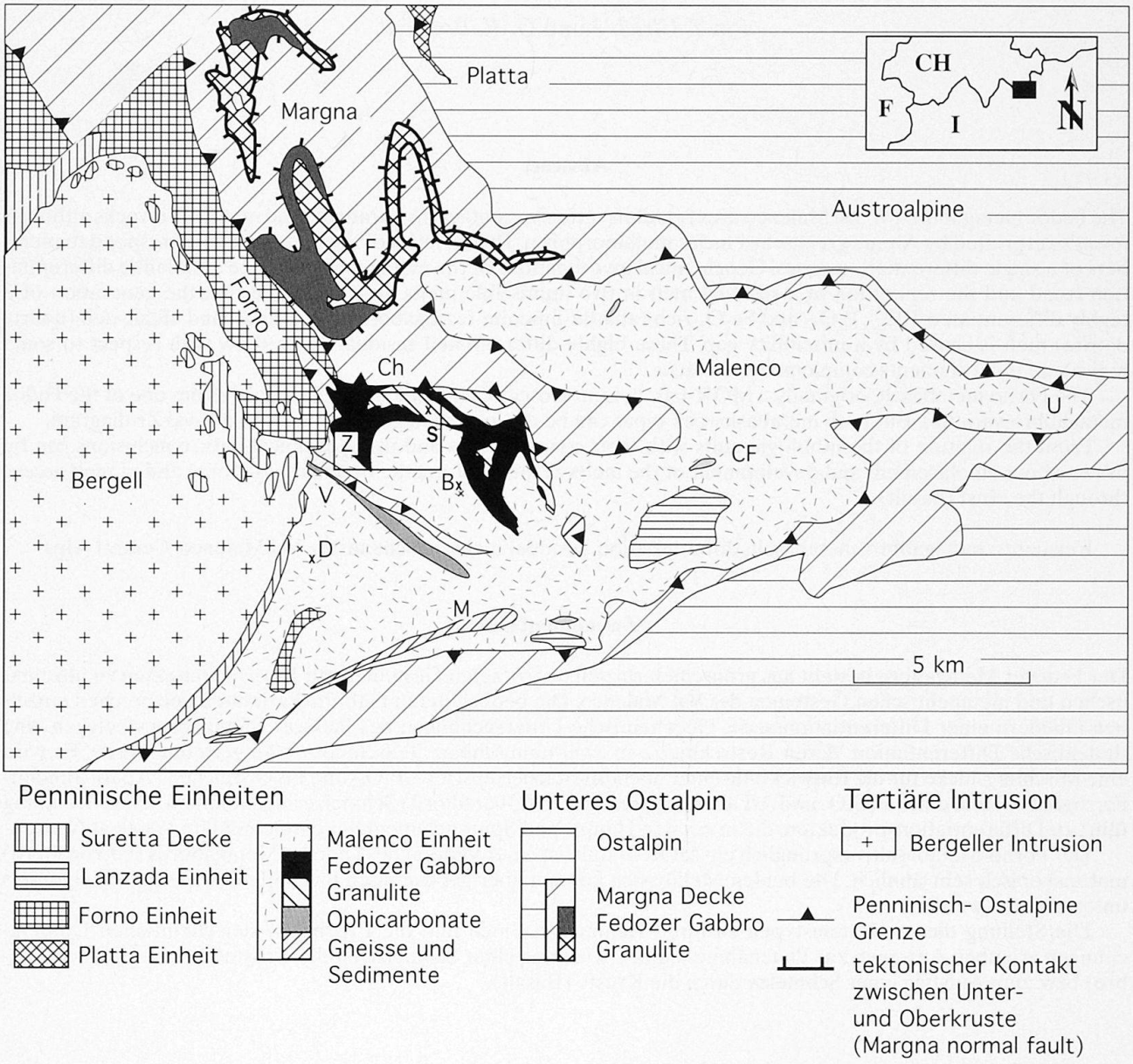


Abb. 1 Geologisch-tektonische Übersichtskarte des Bergeller Ostrandes und des Val Malenco. Das untersuchte Gebiet ist eingerahmt. Nach HERMANN und MÜNTENER (1996).
Abkürzungen: B: Monte Braccia, Ch: Chiareggio, D: Monte Disgrazia, F: Piz Fora; U: Passo d'Ur, S: Monte Senevedo, Z: Alpe Zocca.

Ozean der Tethys), weist ophiolithischen Charakter auf.

Früher wurden die Kontakte zwischen ultramafischen Gesteinen und Gabbro in diesem Gebiet als alpin tektonisch beschrieben (STAUB, 1946; BANGERTER, 1978; GAUTSCHI, 1979, 1980; TROMMSDORFF und DIETRICH, 1980). Neuere Untersuchungen zeigen aber, dass der Gabbro auch in primärem Kontakt zu ultramafischen Gesteinen auftritt (TROMMSDORFF et al., 1993; MÜNTENER und HERMANN, 1996). Anhand detaillierter Feldarbeit über den Fedozer Metagabbro sind ausserdem primäre Kontakte zu Granuliten (metapelitische Gesteine) gefunden worden (ULRICH, 1995).

In der vorliegenden Arbeit wird über geologische und geochemische Detailuntersuchungen des Fedozer Gabbros und des Forno-Basaltes berichtet, welche frühere Untersuchungen u.a. von LINIGER (1987); GUNTLI (1987); LINIGER und GUNTLI (1988), GUNTLI und LINIGER (1989), SPILLMANN (1993); SPILLMANN und BÜCHI (1993); MÜNTENER und HERMANN (1996) und BORSIEN (1995) vertiefen und ergänzen. Es ging zunächst um eine Charakterisierung des Fedozer Metagabbros und seiner Varietäten anhand von Feldbeobachtungen und geochemischen Untersuchungen mit dem Ziel, den Differentiationsverlauf des Gabbros zu ermitteln. Mit Hilfe von Spurenelementanalysen wurde versucht, Fedozer Metagabbro und Forno-Metabasalt zu unterscheiden, welche makroskopisch nicht immer eindeutig auseinandergehalten werden können. Neben dem Vergleich der beiden Metabasika bildet auch deren Stellung bezüglich der Rahmengesteine, insbesondere der granulitischen Unterkrustengesteine der Malenco-Einheit, einen weiteren Schwerpunkt dieser Arbeit.

Regionale Geologie

Das untersuchte Gebiet liegt im oberen Val Malenco südlich von Chiareggio (Norditalien), (Abb.

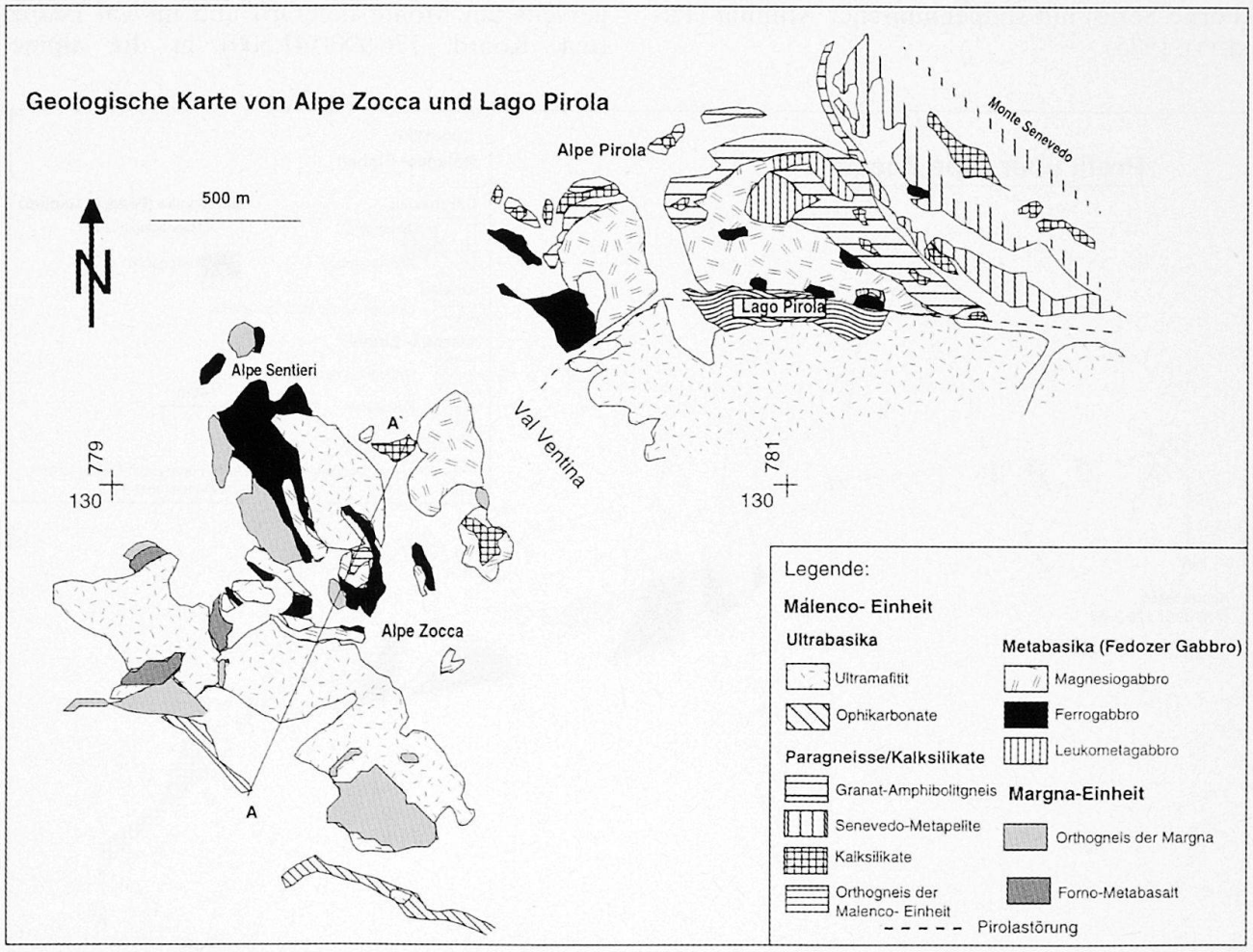


Abb. 2 Geologische Karte von Lago Pirola und Alpe Zocca. Modifiziert nach einer Detailkartierung 1:5000 von BORSIEN, REBER und ULRICH (1995). A–A'-Profilspur von Abb. 1. Koordinaten der Schweiz. Landeskarte.

1). Die analysierten Gesteine stammen aus Aufschlüssen beim Lago Pirola und auf Alpe Zocca im Val Ventina (Abb. 2) im Grenzbereich zwischen Penninikum (Malenco-Forno-Lizun-Einheiten) und Ostalpin (Margna-Decke). Sie entsprechen einerseits der Kruste/Mantel-Grenze (Lago Pirola), andererseits dem äusseren Bereich eines passiven Kontinentalrandes (Alpe Zocca). Diese unterschiedlichen Faziesbereiche sind – als Folge der alpinen Gebirgsbildung – unmittelbar nebeneinander aufgeschlossen.

In der detaillierten Kartierung im Massstab 1:5000 (BORSIEN et al., 1995) wurden die zwei tektonischen Einheiten, Malenco-Forno-Lizun-Komplex und Margna-Decke ausgeschieden. Die Malenco-Einheit setzt sich aus unterschiedlich stark serpentinisierten, ultramafischen Gesteinen (Malenco-Serpentinit), Ophikarbonaten, Fedozer Metagabbro und Unterkrustengesteinen der Malenco- Einheit (Granulite) zusammen. Die Forno-Einheit besteht aus basischen Gesteinen (Pillowlaven und vulkanoklastische Gesteine) mit MORB-Chemismus (MONTRASIO, 1973; GAUTSCHI, 1980) und einer Metasedimentbedeckung (Forno-Serie) mit südpenninischer Affinität (PERETTI, 1985).

Die Margna-Decke liegt im Hangenden des Malenco-Forno-Lizun-Komplexes und wird zum Ostalpin gestellt (MONTRASIO und TROMMSDORFF, 1983; MONTRASIO, 1984;). Sie kann in vier lithologische Einheiten unterteilt werden (SPILLMANN, 1993):

- Maloja-Serie (Altkristallin) — Oberkruste
- Orthogneise (Maloja- und Fora-Gneise) — Oberkruste
- Fedoz-Serie (Altkristallin) — Unterkruste
- Fedozer Gabbro — Unterkruste

Maloja- und Fedoz-Serie unterscheiden sich in Zusammensetzung und im prä-alpinen Metamorphosegrad. Die Herkunft der Fedoz-Serie, welche strukturell eng mit dem Fedozer Metagabbro verbunden ist, wird in tieferen Krustenbereichen angenommen, während die Maloja-Serie Oberkruste darstellt. Die Orthogneise der Margna werden entsprechend den Teildecken in einen Maloja- bzw. Fora-Gneis aufgeteilt.

Der grün-weiss geflaserte Fedozer Magnesiometagabbro tritt sowohl in der Margna-Decke wie in der Malenco-Einheit auf (Abb. 3). Er ist einerseits am Monte dell'Oro und im Val Fedoz (u.a. Koord. 776.900/141.500) in die alpine

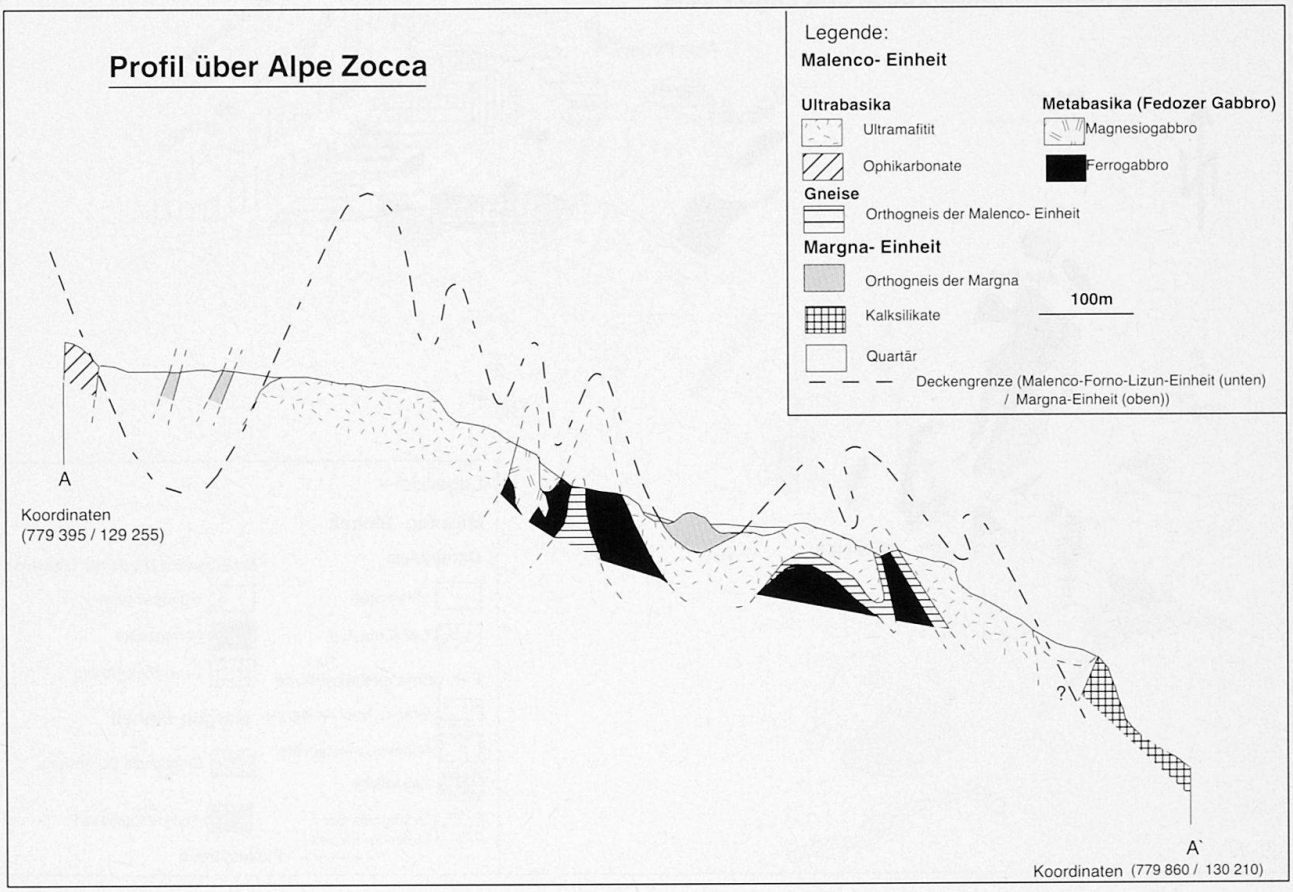


Abb. 3 Geologisches Profil über Alpe Zocca (vgl. Profilspur auf Abb. 2). Sichtbar sind die spitzen Einfaltungen des Ferrogabbros und die unterschiedliche Position der Orthogneise in der Malenco-Einheit bzw. in der Margna-Decke.

Deckenstruktur der Margna-Decke integriert (LINIGER und GUNTLI, 1988), andererseits zeigt er im untersuchten Gebiet primäre Kontakte zur Malenco-Einheit, zu Unterkrustengesteinen am Monte Senevedo (Granulite) (Abb. 2), zu ultramafischen Gesteinen am Monte Braccia (Abb. 1). TROMMSDORFF et al. (1993) und MÜNTENER und HERMANN (1996) interpretieren deshalb den Fedozer Metagabbro als Intrusion an der Kruste/Mantel-Grenze.

Im untersuchten Gebiet kann eine reliktische prä-alpine Metamorphose nur in den granulitischen Senevedo-Metapeliten am Monte Senevedo sowie in einzelnen Kalksilikaten gefunden werden, die in der Granulitfazies equilibrierten. Der Metamorphosegrad der alpinen Regionalmetamorphose, welche die Gesteine retrograd überprägte, reicht von unterer Grünschieferfazies bis untere Amphibolitfazies. Die Gesteinstypen auf Alpe Zocca sind durch die Kontaktmetamorphose der Bergeller Intrusion noch teilweise überprägt. In dieser Kontaktaureole reicht der Metamorphosegrad bis zur oberen Amphibolitfazies (TROMMSDORFF und EVANS, 1972).

Petrographie der Metabasika

VARIETÄTEN UND FELDBEZIEHUNGEN DES FEDOZER METAGABBROS:

Im Feld konnten fünf Gesteinstypen ausgeschieden und kartiert werden. Sie treten in unterschiedlicher Häufigkeit auf und sind zum Teil stark grünschieferfaziell überprägt. Dennoch lassen sich primäre Kontakte der einzelnen Varietäten untereinander sowie auch zu deren Rahmengesteinen nachweisen. Viele der untersuchten Basika liegen nahe am Kontakt zu ultrabasischen oder sauren Gesteinen und sind deshalb alteriert. Anzeichen dieser Alterationen sind Rodingite und Blackwalls.

Magnesiometagabbro: Der Hauptteil der Gabbromasse besteht aus einem grün-weiss geflaserten Albit-Klinozoisit-Chlorit-Mg-Hornblende-Metagabbro. Proben aus dem äusseren Rand der Kontaktaureole der Bergeller Intrusion auf Alpe Zocca zeigen verschiedene Generationen (Anwachsränder) von Amphibol. Messungen mit der Elektronenmikrosonde ergaben verschiedene chemische Zusammensetzungen der Anwachsränder. Die Zusammensetzungen variieren von Mg-Hornblende, Tschermakit-Pargasit, zu Rändern aus Tremolit-Aktinolith. Im Kern treten gelegentlich reliktische Ti-Pargasite auf (GAUTSCHI, 1979, 1980; BORSIEN, 1995).

Am Kontakt des Magnesiometagabbros zu den Granat-Amphibolgneisen im Gebiet des Lago Pirola findet man kleine Xenolithe metapelitischer Gesteine, die teilweise aufgeschmolzen wurden. Die Schmelze bewegte sich aus den Xe-

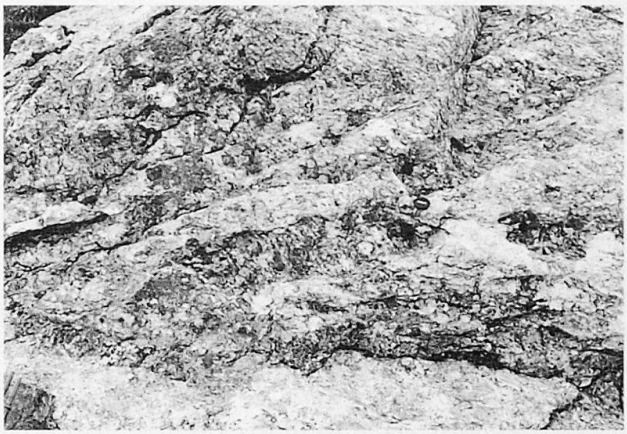


Abb. 4 Ein aplitischer Gang, der durch Aufschmelzung eines Metapelitxenolithen im Magnesiogabbro entstanden ist. Diese feinen Apophysen sind zu geringmächtig und sind deshalb nicht in Abb. 2 eingetragen.

Abb. 5 Der Gabbrogang am Monte Senevedo verläuft in den Senevedo-Metapeliten (Koord. 781.240/130.940). Dies ist ein primärer Kontakt zu Unterkrustengesteinen der Malenco-Einheit.

nolithen heraus und bildet feine aplitische Apophysen in den Metagabbro hinein (Abb. 4), welche eine primär magmatische Fliesstextur des Magnesiometagabbros durchschlagen. Diese Aplite bestehen aus Plagioklas, Quarz, Biotit und Granatrelikten und sehen Gesteinen ähnlich, welche sich aus einer granitischen Schmelze bei Minimumstemperatur bilden (ULRICH, 1995). Die alpine Schieferung verläuft an dieser Kontaktzone diskordant über den Kontakt hinweg und schliesst somit einen tektonischen Kontakt ebenfalls aus. Am Monte Senevedo existiert ein weiterer primärer Kontakt zwischen Senevedo-Metapeliten und Metagabbro. Ein nur schwach metamorpher Magnesiogabbrogang mit einem nahezu ursprünglichem Mineralbestand (Plagioklas, Pyroxen, Hornblende) durchschlägt die metapelitischen Gesteine der Malenco-Einheit (Abb. 5).

Ferrogabbro: Als weitere Varietät tritt ein dunkler Ferrogabbro (Amphibolit) auf, der Biotit und Chlorit enthält und mehr Amphibole (Aktinolith und Mg-Hastingsit) als der Magnesiometagabbro zeigt. Oft ist der Ferrogabbro in Form verfalteter Gänge oder kleiner Körper im Magnesiometagabbro aufgeschlossen.

Leukometagabbro: Zusammen mit dem Ferrogabbro tritt ein Leukometagabbro mit bis 4 mm grossen Chloritblasten auf. Das Gestein enthält neben Plagioklas, Aktinolith, Epidot/Klinozoisit und Chlorit wenig Quarz. Er erscheint nördlich der Pirola-Störung als grössere Masse zusammen mit dem Magnesiometagabbro nahe der Kontaktzone zu den granulitischen Granat-Amphibolgneisen (Abb. 2).

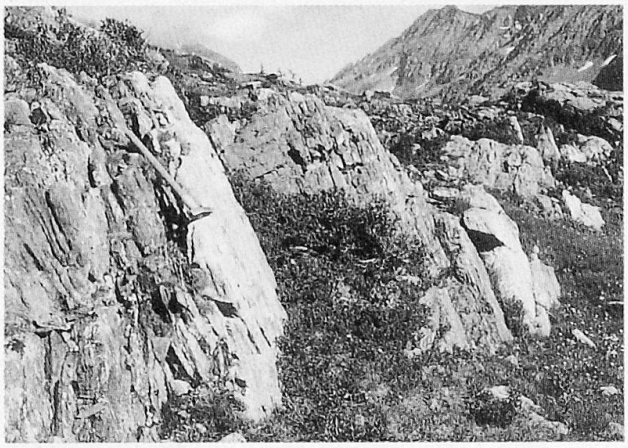


Abb. 6 Ein Quarzdioritgang durchschlägt den Ferrogabbro auf Alpe Zocca. Anhand solcher Feldbeziehungen konnte eine relative Altersabfolge hergeleitet werden. Nicht in Abb. 2 eingetragen, weil zu geringmächtig. Nähere Erläuterungen, siehe Text.

Hochdifferenzierter Apatit-Ilmenit-Ferrogabbro: An der Westseite des Monte Senevedo sind hochdifferenzierte Apatit-Ilmenit-führende Hornblende-Metagabbrogänge (Apatit-Ilmenit-Ferrogabbrogänge) mit primärem Kontakt zu Magnesiometagabbro und zu den Senevedo-Metapeliten (Granulite) aufgeschlossen. Sie zeigen eine feingranoblastische Struktur aus Amphibolen und enthalten ausserdem Biotit, Chlorit und Titanit (nicht in Abb. 2 eingetragen, weil zu geringmächtig; Koord. 781.240/130.940).

Quarzdiorit: Helle, geringmächtige Gänge treten im Gebiet von Alpe Zocca und der weiteren Umgebung von Lago Pirola auf. Sie werden als Quarzdiorite bezeichnet und schlagen quer durch den Ferrogabbro auf Alpe Zocca (Abb. 6). Der Mineralgehalt umfasst eine Plagioklas-reiche Grundmasse mit Quarz und Phänokristalle von grünem Amphibol, Chlorit und wenig braunem Biotit (nicht in Abb. 2 eingetragen, weil zu geringmächtig, Koord. 779.520/129.940).

Auf Alpe Zocca sind die Metabasika als gabbroide (Fedozer Metagabbro) und basaltische (Forno Metabasalt) Gesteinstvarietäten aufgeschlossen. Es wurden nur die Varietäten Quarzdiorit, Magnesio- und Ferrogabbro gefunden. Dazu treten Rodingite mit einem Mineralbestand aus Granat, Epidot, Diopsid, Vesuvian und untergeordnet Calcit, Titanit und Tremolit auf.

Gangartig erscheinende Vorkommen von Ferrogabbro im Malenco-Serpentinit erwiesen sich als spitze Einfaltungen, wie mit Strukturmessungen gezeigt werden konnte (Abb. 3). Einzelne Kontakte dieser eingefalteten Gesteine sind rodingitisiert und stellen einen früheren primären Kontakt dar. In anderen Aufschlüssen erscheint der Ferrogabbro jedoch in Form völlig rodingiti-

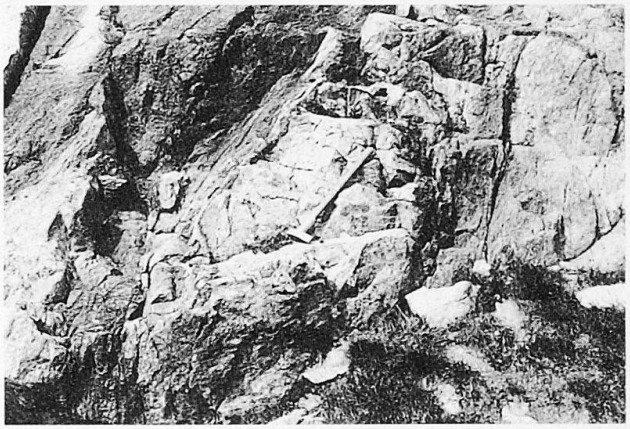


Abb. 7 Rodingitisierter Gang von Fornobasalt im Serpentinit oberhalb Alpe Zocca. Der Gang ist boudiniert und von einem Blackwall umgeben.

sierter, primärer Gänge. Wenn mächtigere Linsen des Ferro- und Magnesiometagabbros im primären Kontakt zu ultramafischen Gesteinen auftreten, weisen sie oft alterierte Kontakte auf.

Weiter treten auf Alpe Zocca zusätzlich zu den Metagabbrovarietäten Orthogneise in zwei Positionen auf. Zum einen bilden sie eine Art Klippe der Margna-Decke auf der Malenco-Einheit, und zum anderen sind sie mit dem Metagabbro unterhalb des Malenco-Serpentinits assoziiert (Abb. 3).

Zusammenfassend kann eine relative Altersabfolge der Gabbrovarietäten hergeleitet werden. Der Magnesiogabbro wird vom Ferrogabbro und Apatit-Ilmenit-Ferrogabbro durchschlagen, und der Quarzdiorit durchschlägt den Ferrogabbro. Somit ist der Magnesiogabbro älter als die Varietäten Ferrogabbro, Apatit-Ilmenit-Ferrogabbro und Quarzdiorit. Der Ferrogabbro ist wiederum älter als der Quarzdiorit. Die Altersbeziehungen zwischen dem Leukogabbro und den anderen Varietäten konnte im Feld aufgrund fehlender diskordanter Intrusivkontakte nicht klar definiert werden.

FELDBEZIEHUNGEN DER FORNO-METABASALTE

Der Metabasalt im untersuchten Gebiet um Alpe Zocca erscheint einheitlich als dunkles massiges Gestein mit hellen Plagioklasporphyroblasten. Im Gebiet am Lago Pirola wurden keine Forno-Metabasalte gefunden.

Makroskopisch sind Forno-Metabasalt und Ferrogabbro (Amphibolit) sehr ähnlich. Als mikroskopisches Unterscheidungsmerkmal dienen gelegentlich reliktische Ti-Pargasite im Metagabbro, die im Metabasalt nicht auftreten. Der Forno-Metabasalt tritt oberhalb Alpe Zocca im Malenco-Serpentinit in kleineren Gängen rodingitisiert (Abb. 7) und in grösseren Massen mit unklaren Kontakten im Val Sissone als isochemisch umgewandelter Basalt auf. Er ist weniger häufig als der Fedozer Metagabbro. Intrusionen von Forno-Basalt in Fedozer Gabbro konnte nicht beobachtet werden. Einzig der parallele Verlauf von Metagabbro und Metabasalt innerhalb eines Ganges zeigt einen Kontakt der beiden Metabasika.

Abgesehen von primären Kontakten und dem Auftreten von Ti-Pargasit konnten Ferrogabbros und Metabasalte nicht unterschieden werden. Deshalb wurde versucht, mit Spurenelementanalysen Unterschiede festzustellen (vgl. unten).

Geochemische Untersuchungen des Fedozer Metagabbros

Mit Hilfe der Röntgenfluoreszenz (XRF) an Glaspillen und Pulverpillen wurden die Hauptelemente bzw. die Spurenelemente der im Feld ausgeschiedenen Gesteine analysiert. Die einzelnen Varietäten sind in einem TiO_2-vs.-XFeO*- sowie SiO_2-vs.-XFeO*-Diagramm (FeO* = FeO + 0.9 Fe_2O_3) aufgetragen, um den Differentiationstrend aufzuzeigen (Abb. 8 a, b). XFeO* gibt den Differentiationsindex FeO*/FeO* + MgO an. Tabelle 1 enthält die Analysenergebnisse zusammen mit teilweise unpublizierten Daten verschiedener Autoren (GAUTSCHI, 1980; KUBLI, 1983; GIERÉ, 1985; HERMANN, unpubl.; PUSCHNIG, unpubl.).

Magnesiometagabbro: Die Untersuchungen zeigen für den Magnesiometagabbro tiefe Werte (< 0,5) im Differentiationsindex (XFeO*) und niedere TiO_2-Werte, welche dem Magnesiometagabbro den Charakter eines schwach differenzierten Mg-reichen Gabbros verleihen (Abb. 8 a, b).

Ferrogabbro: Im Vergleich zum Magnesiometagabbro zeigt der Ferrogabbro ein erhöhtes XFeO* (> 0.5) sowie höhere TiO_2-, MnO- und P_2O_5-Gehalte. In den Spurenelementen des Ferrogabbros sind gegenüber dem Magnesiogabbro Sr, Y, Zr und zum Teil La und V angereichert.

Leukometagabbro: Der Leukometagabbro fällt mit etwas erhöhten SiO_2-, Al_2O_3- und Na_2O-Gehalten auf. Der TiO_2-Gehalt und die Spurenelemente Y, Zr und V sind leicht tiefer im Vergleich zum Ferrogabbro. Der Differenzierungsindex liegt um 0,60, und die Gehalte an Ba und Sr sind höher, verglichen mit dem Ferrogabbro. Diese Anzeichen deuten auf einen abweichenden Differentiationsverlauf (vgl. Abb. 8 a, b). Wie sich herausstellen wird, gehört der Leukometagabbro zu einem zweiten Differentiationsverlauf (vgl. unten).

Quarzdiorit: Wie erwähnt, zeigen die hellen Gänge makroskopisch Plagioklas und freien Quarz. Dies wird auch aus der chemischen Analyse dieser Gesteine ersichtlich. Sie sind noch etwas stärker angereichert an SiO_2 und Na_2O und ebenfalls an K_2O als der Leukometagabbro, weisen aber tiefere Werte für TiO_2 auf (Abb. 8 a, b).

Hochdifferenzierte Apatit-Ilmenit-Ferrogabbrogänge: Diese schwarzen Gänge am Fusse des Monte Senevedo weisen die höchsten TiO_2-, MnO- und P_2O_5-Werte aller Analysen auf, wogegen SiO_2 und Al_2O_3 abgereichert sind. Die Ele-

Tab. 1 Repräsentative Gabbro- und Basaltanalysen (neue Analysen der Autoren) und Vergleichsdaten von (GAUTSCHI, 1980; KUBLI, 1983; GIERÉ, 1985; HERMANN, unpubl.; PUSCHNIG, unpubl.). Hauptelemente in Gew.%, Spurenelemente in ppm.

Gestein	Ferrogabbro					Mg-Gabbro					Leukogabbro			Quarz-Diorit		Apatit-Ilmenit Ferrogabbro	
Proben Nr.	T13	T36	T50	G18	Mittel	T41	G36	G49	G50	G30	T14	T29	T40	G27	T21	T44	T45
SiO_2	48,16	47,36	48,86	44,18	47,32	47,7	43,35	43,66	38,82	33,97	54,79	55,48	52,21	61,89	63,68	39,49	38,81
TiO_2	3,17	2,46	2,28	3,51	2,8	0,78	0,62	0,21	0,21	0,92	0,87	0,87	0,8	0,51	0,32	6,37	6,28
Al_2O_3	15,47	15,01	10,17	13,1	13,6	17,46	18,98	12,85	18,5	23,99	17,77	18,78	18,15	18,4	18,43	9,95	10,46
Fe_2O_3*	12,44	13,07	15,08	18,16	13,6	9,99	7,96	7,24	5,08	8,38	7,93	7,51	8,94	4,93	2,24	18,99	17,85
FeO	0[1]	0[1]	0[1]	0[1]	0[1]	0[1]	0[1]	0[1]	0[1]	0[1]	0[1]	0[1]	0[1]	0[1]	0[1]	0[1]	0[1]
MnO	0,22	0,2	0,27	0,22	0,24	0,09	0,14	0,1	0,07	0,11	0,12	0,14	0,1	0,1	0,02	0,44	0,38
MgO	6,61	6,55	8,53	6,19	6,79	9,08	12,16	15,56	10,3	9,67	4,49	4,29	5,49	2,34	0,84	7,89	7,34
CaO	9,07	7,62	10,17	10,51	8,99	10,04	13,27	16,92	11,79	15,93	7,57	7,31	8,64	4,96	5,19	10,78	10,6
Na_2O	2,6	4,05	1,76	3,69	2,59	2,26	2,03	0,71	1,88	0	2,97	3,67	2,89	5,09	6,51	1,38	1,85
K_2O	0,28	0,28	0,23	0,24	0,63	0,18	0,26	0,08	1,11	0	0,78	0,67	0,56	0,69	0,13	0,12	0,16
P_2O_5	0,03	0,5	1,33	0,14	0,57	0,05	0,06	0,01	0	0,15	0,16	0,16	0,1	0,14	0,08	2,35	2,82
NiO	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,05	0,06	0,03	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cr_2O_3	0,02	< 0,01	0,01	< 0,01	0,01	0,06	0,03	0,1	0,04	0,03	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01
Glühverlust	1,88	1,24	0,84	0,27	1,2	1,31	0,93	3,04	12	5,2	1,07	1,17	1,3	0,66	0,43	1,08	0,5
Total	99,95	98,34	99,53	100,21	98,34	99,01	99,84	100,54	99,83	98,38	98,53	100,05	99,18	99,71	97,87	98,85	97,12
XFeO*	0,63	0,64	0,61	0,73	0,64	0,5	0,37	0,3	0,31	0,44	0,61	0,61	0,59	0,65	0,71	0,68	0,69
F	386	286	1020	189	714	166	174	426	655	166	325	334	305	209	< 50	975	1141
Ba	71	50	57	26	189	63	8	3	252	4	286	314	215	524	41	27	16
Rb	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8
Sr	254	150	62	193	186,5	315	913	329	427	980	341	372	376	352	237	48	46
Nb	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	26	15	5
La	< 20	< 20	< 20	37	19,75	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	138	133
Ce	< 15	< 15	33	25	25,75	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	61	74
Nd	< 25	22	28	< 25	23,5	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	55	66
Y	< 3	24	45	18	23	8	5	< 3	< 3	9	5	< 3	13	< 3	< 3	51	49
Zr	< 10	59	61	86	86,25	32	45	< 10	87	64	63	50	43	15	70	45	59
V	340	265	343	1095	318	219	96	123	116	145	193	188	210	84	< 10	485	529
Cr	105	126	57	10	91	420	228	825	326	201	53	28	83	13	< 6	71	41
Ni	40	60	21	26	43,5	103	376	450	58	286	28	19	33	11	15	55	39
Co	54	59	71	103	65,25	39	54	62	26	59	6	7	19	15	12	124	79
Cu	9	< 3	22	143	26	< 3	< 3	6	8	62	< 3	< 3	< 3	< 3	3	204	44
Zn	89	122	165	98	128	84	46	33	41	58	80	70	92	61	< 6	90	100
Ga	16	16	11	17	14,5	15	9	< 4	4	12	15	15	16	16	16	10	12
Sc	40	39	70	73	45,25	41	15	22	28	13	24	21	34	11	< 2	61	54
S	130	< 50	356	< 50	483,5	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	243	5677	906

Fortsetzung Tab. 1

	Ferrogabbro HERMANN (unpubl.)			Forno-Basalt			Forno-Amphibolit GAUTSCHI (1980)		Forno-Amphibolit KUBLI (1983)			Forno-Amph. GIERÉ (1985)		Forno-Amphibolit PUSCHNIG (unpubl.)		
Proben Nr.	B-F11A	Mg20/10	B-F126	G35	G46	FOG2	KM210	KM228	Wu 4	Wu 5	CAV1	SD For	Sd dike	AP9529	AP9429	AP9466
SiO_2	47,72	49,19	48,49	40,48	42,11	48,47	48,01	49,3	46,38	48,98	49,22	48,4	49,55	45,56	48,2	46,93
TiO_2	2,49	2,51	1,64	1,81	2,25	2,21	2,05	1,61	2,28	1,98	2,03	1,7	1,16	1,74	1,48	1,76
Al_2O_3	15,98	15,17	15,15	15,93	16,83	16,05	16,82	17,6	19,23	17,37	15,44	16,66	19,32	15,99	18,04	16,26
Fe_2O_3*	12,76	12,15	10,24	10,43	12,06	11,27	3,19	3,57	4,22	2,51	3,22	4,25	2,21	10,05	8,37	9,99
FeO	0[1]	0[1]	0[1]	0[1]	0[1]	0[1]	6,00	6,00	6,05	6,30	7,03	4,55	4,80	0[1]	0[1]	0[1]
MnO	0,19	0,21	0,18	0,19	0,17	0,17	0,2	0,14	0,17	0,17	0,18	0,16	0,13	0,27	0,15	0,26
MgO	7,56	6,69	7,14	10,05	7,63	6,05	6,97	6,09	5,15	6,05	5,71	7,67	6,75	7,47	6,38	7,33
CaO	9,84	9,79	10,17	14,67	14,67	10,21	12,31	10,65	11,63	11,32	9,8	11,66	10,77	12,64	9,12	11,83
Na_2O	2,32	2,76	2,1	3,11	2,43	4,82	3,14	4,05	2,54	3,03	4,88	3,11	3,69	3,55	4,46	3,57
K_2O	0,37	0,37	0,26	0,29	0,26	0,23	0,35	0,3	0,9	0,23	0,22	0,17	0,24	0,19	0,33	0,17
P_2O_5	0,2	0,27	0,18	0,27	0,19	0,24	0,22	0,24	0,33	0,2	0,24	0,12	0,16	0,22	0,2	0,21
NiO	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	0,01	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cr_2O_3	0,02	0,02	0,03	0,04	0,03	0,03	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,03	0,03	0,03
Glühverlust	0,00	0,09	0,64	2,17	0,59	0,44	1,35	1,32	1,2	1,22	1,41	0,83	0,95	0,53	1,42	0,24
Total	99,45	99,22	96,22	99,45	99,23	100,20	100,61	100,87	100,08	99,36	99,38	99,28	99,73	98,24	98,18	98,58
XFeO*	0,60	0,62	0,56	0,48	0,59	0,63	0,56	0,6	0,66	0,59	0,63	0,52	0,50	0,55	0,54	0,55
F	164	71	< 50	365	419	437	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	314	425	409
Ba	120	164	117	48	26	30	37	15	31	23	14	13	21	13	24	7
Rb	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	12	< 8	< 8	n.b.	n.b.	< 8	< 8	< 8
Sr	280	278	322	821	383	147	270	279	222	238	235	201	258	358	417	334
Nb	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	< 4	< 4	< 4
La	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	37	< 20	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	< 20	< 20	< 20
Ce	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	< 15	< 15	< 15
Nd	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	n.b.	n.b.	< 25	< 25	< 25
Y	23	21	26	24	38	40	33	30	42	37	35	27	18	27	5	13
Zr	56	50	67	161	206	172	197	149	169	152	185	121	88	155	119	138
V	325	387	182	267	408	356	205	209	294	292	284	198	147	298	228	267
Cr	144	148	173	281	209	190	205	250	271	275	124	257	221	142	177	202
Ni	81	73	47	141	153	106	66	68	70	90	34	79	97	62	71	68
Co	54	47	38	65	79	59	42	40	33	37	46	43	26	50	36	53
Cu	27	29	23	< 3	< 3	27	25	53	40	25	< 3	109	82	< 3	101	< 3
Zn	85	94	78	80	79	89	68	68	77	69	64	46	37	87	49	87
Ga	16	< 4	< 4	12	14	16	17	16	19	13	16	8	7	16	11	12
Sc	36	42	43	4[illegible]	38	41	35	33	47	42	46	43	29	42	34	44
S	1318	1581	284	< 50	< 50	< 50	267	322	< 50	504	< 50	n.b.	n.b.	< 50	< 50	< 50

n.b.: nicht bestimmt

[1] Fe_2O_3 = Totaleisen

mente Y, La und V sind in diesen Gesteinen stärker als im Ferrogabbro angereichert (vgl. Tab. 1). Durch die hohen TiO_2-, MnO- und P_2O_5-Werte stellen diese dunklen Gänge die höchstdifferenzierte Metagabbrovarietät in der tholeiitischen Differentiationsserie des Fedozer Gabbros dar (Abb. 8a).

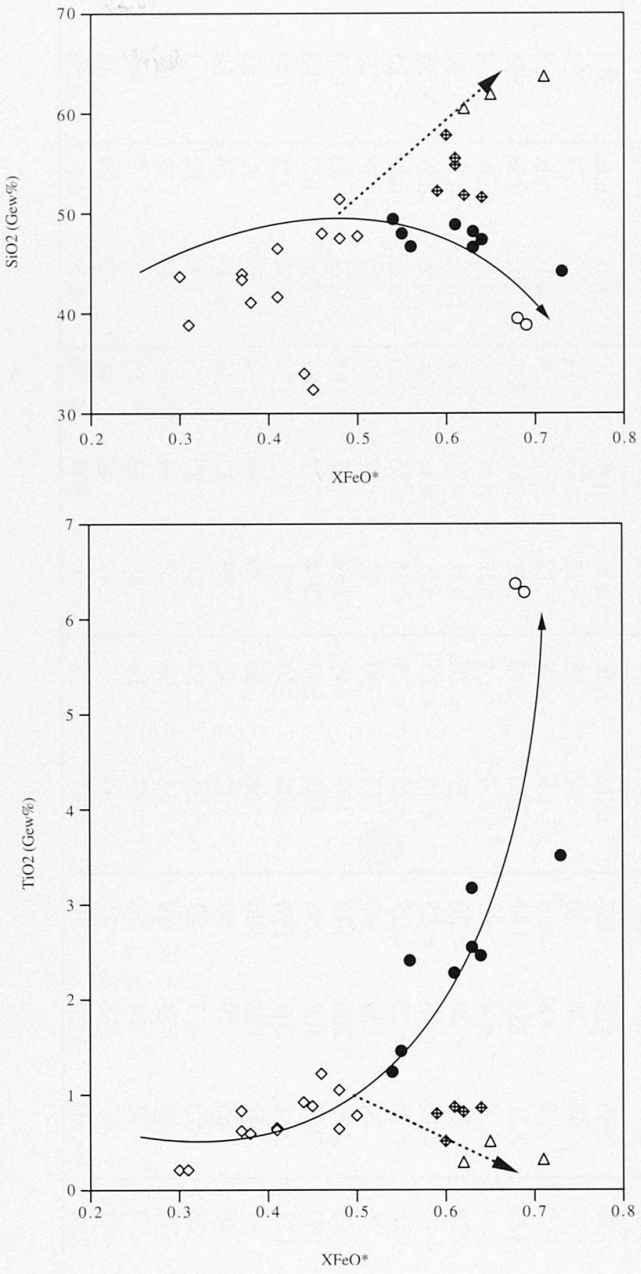


Abb. 8 Mit zunehmender Differentiation durch fraktionierte Kristallisation spaltet sich die Restschmelze in einen Quarzdiorit und eine Fe-Ti-reiche unmischbare Phase auf.

Mit den Metagabbrovarietäten, die in den Abbildungen 8a und 8b einen kontinuierlichen Trend anzeigen, und der Anreicherung der Elemente TiO_2, MnO, FeO, P_2O_5, Sr, Y, Zr, ± La und ± V ist eine zunehmende Differentiation dieser Gesteine angezeigt.

Aus einer Darstellung aller Metagabbrovarietäten im SiO_2-vs.-XFeO*- bzw. TiO_2-vs.-XFeO*-Diagramm (Abb. 8 a, b) wird, ausgehend von einer primären Schmelze, eine deutliche Aufspaltung in zwei verschiedene Trends mit zwei Hochdifferentiaten (Quarzdiorit und Apatit-Ilmenit-Ferrogabbrogänge) sichtbar. An der Stelle, wo sich die beiden Entwicklungen trennen, stehen der Leukometagabbro und der Ferrogabbro. Der Leukometagabbro tendiert in Richtung Quarzdiorit-Restschmelze und der Ferrogabbro zu den Apatit-Ilmenit-Ferrogabbrogängen.

Ein Vergleich von Quarzdiorit und Apatit-Ilmenit-Ferrogabbrogängen ergibt in den Hauptelementen (SiO_2, Al_2O_3, TiO_2, MgO, Na_2O, K_2O, P_2O_5 und FeO) und gewissen Spurenelementen jeweils komplementäre Werte (Abb. 9). Das Diagramm in Abb. 9 wurde auf eine durchschnittliche Ferrogabbrozusammensetzung normalisiert (siehe Daten in Tab. 1) unter der Annahme, dass der Ferrogabbro die letzte Differenzierungsstufe vor der Trennung in die beiden Entwicklungspfade darstellt. Damit kann die Abweichung dieser beiden Differentiate am klarsten ausgedrückt werden. Dies entspricht den Feldbeobachtungen, welche zeigen, wie der Quarzdiorit den Ferrogabbro durchschlägt (Abb. 6) und somit eine späte Varietät des Metagabbros darstellen könnte.

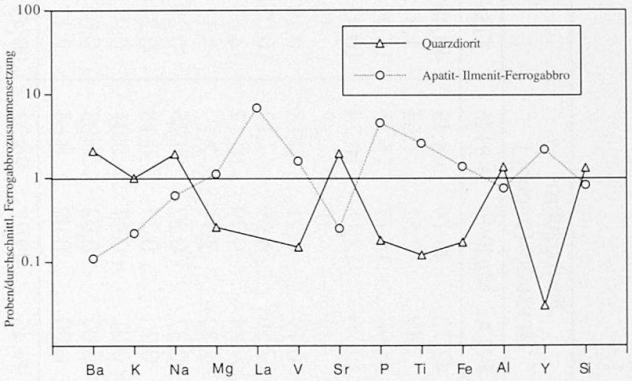
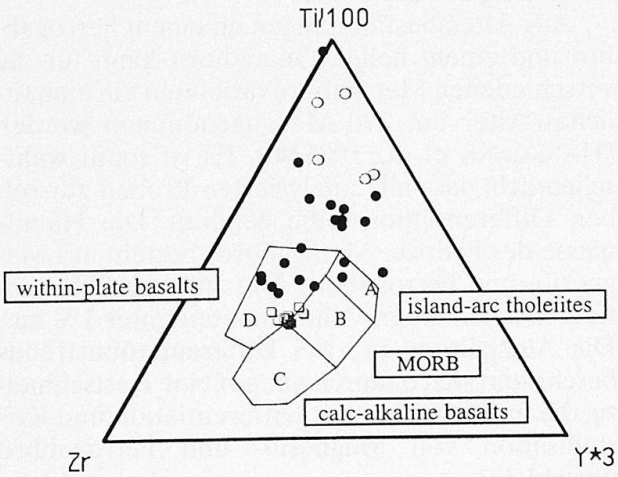


Abb. 9 Verteilungsdiagramm einiger Haupt- und Spurenelemente der Quarz-reichen resp. Eisen-Titan-reichen Restschmelze. Normierung der Proben gegen eine durchschnittliche Ferrogabbrozusammensetzung (Tab. 1) und Reihenfolge der Elemente nach zunehmender Inkompatibilität.

Die Elemente sind nach zunehmender Inkompatibilität angeordnet (Abb. 9). Ba, K, Na, Sr, Al, und Si, welche im Quarzdiorit angereichert sind (> 1), werden dort bevorzugt in Plagioklas und Alkalifeldspat aufgenommen. Die im Quarzdiorit abgereicherten Elemente (< 1) (Mg, La, V, P, Ti, Fe, Y) treten angereichert (> 1) im Apatit-Ilmenit-Ferrogabbro auf. Sie werden in den Mineralien Amphibol, Titanit, Apatit und Zirkon eingebaut.

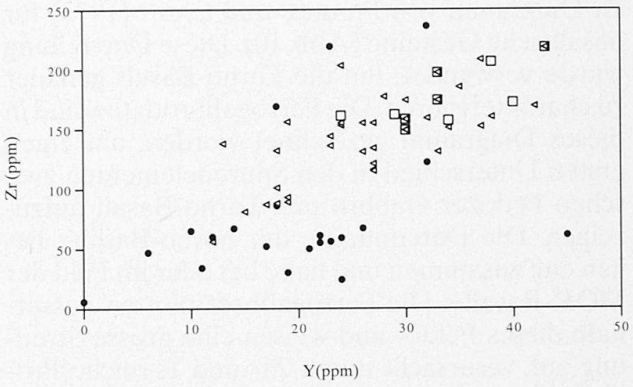
Unterscheidung von Forno-Basalt und Ferrogabbro

Die verschiedenen Metagabbrovarietäten können zumeist bereits im Feld anhand ihrer Textur, Farbe, Verwitterung und Mineralogie unterschieden werden. Die Unterscheidung zwischen einer Gabbrovarietät, dem Ferrogabbro, und dem Forno-Metabasalt hingegen ist schwieriger, da beide Gesteine dunkle Farbe und eine massige Struktur aufweisen. Im Dünnschliff kann man einen Teil der Proben eindeutig zuordnen, weil das Auftreten von vereinzelten Ti-Pargasitrelikten auf den Metagabbro beschränkt ist. Für eine genaue geologische Kartierung im Gebiet von Alpe Zocca war es unerlässlich, die hier auftretenden basischen Gesteine auf ihre chemische Zusammensetzung hin zu untersuchen, weil Feldkriterien und Mineralgehalt nicht immer eindeutige Beweise zur Unterscheidung lieferten.



● Ferrogabbro
○ Apatit-Ilmenit-Ferrogabbro
❑ Forno Metabasalt

Abb. 10 Im Basalt-Diskriminationsdiagramm von PEARCE und CANN (1973) zeigt der Forno-Basalt im Vergleich zum Ferrogabbro kaum eine Variation im Chemismus. Die Streuung der Ferrogabbro-Datenpunkte weist auf eine breitere chemische Zusammensetzung hin. Alle Daten aus Tabelle 1.

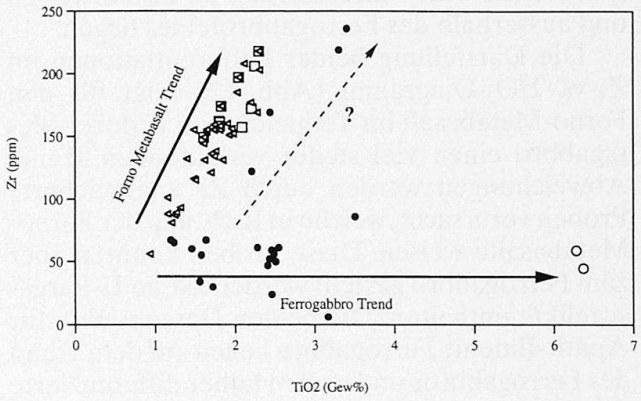


◀ Forno-Amphibolite von KUBLI (1983), GAUTSCHI (1980), GIERÉ (1985), Puschnig (unpubl.)
□ Forno-Metabasalte von Alpe Zocca
● Ferrogabbro von Lago Pirola und Alpe Zocca, einschliesslich Daten von Hermann (unpubl.)

Abb. 11 Der Ferrogabbro und der Forno-Basalt lassen sich grundsätzlich anhand des Y- und Zr-Gehaltes unterscheiden. Durch die leichte Differenzierung des Basaltes und die inhomogene Zirkonverteilung im Ferrogabbro kommt es jedoch zu Überschneidungen.

Nachfolgend werden geochemische Unterscheidungskriterien für Ferrogabbro und Forno-Metabasalt diskutiert:

Eine erste Möglichkeit, eine Unterscheidung der beiden Metabasika zu erreichen, ist das Ti-Y-



◀ Forno-Amphibolite von KUBLI (1983), GAUTSCHI (1980), GIERÉ (1985), Puschnig (unpubl.)
□ Forno-Metabasalte von Alpe Zocca
● Ferrogabbro von Lago Pirola und Alpe Zocca, einschliesslich Daten von Hermann (unpubl.)
○ Apatit-Ilmenit-Ferrogabbro

Abb. 12 Der Forno-Basalt reichert mehr Zr als der Ferrogabbro an, in welchem eine ziemlich inhomogene Zr-Verteilung vorliegt. Mit dem Apatit-Ilmenit-Ferrogabbro liegen die höchstdifferenzierten Gabbrogesteine und die höchste Ti-Anreicherung vor. Der Forno-Basalt Trend ist typisch für MOR-Basalt.

Zr-Diagramm von PEARCE und CANN (1973) für basaltische Gesteine (Abb. 10). Diese Darstellung wurde verwendet, um die Forno-Basalt genauer zu charakterisieren. Die Ferrogabbrodaten sind in dieses Diagramm gezeichnet worden, um einen ersten Unterschied in den Spurenelementen zwischen Fedozer Gabbro und Forno-Basalt aufzuzeigen. Die Datenpunkte der Forno-Basalte liegen eng zusammen und nahe bei oder im Feld der MOR-Basalte. Die Ferrogabbros plotten ausserhalb dieses Feldes und weisen eine grosse Streuung auf, verursacht durch Zr- und Ti-reiche Proben.

Eine etwas verfeinerte Abtrennung der Metabasika untereinander gelingt im Y-vs.-Zr-Diagramm (Abb. 11). Die aufgeführten Werte stammen alle aus unalterierten Proben. In den Untersuchungen haben sich die Y- und Zr-Gehalte als Unterscheidungsmerkmale zwischen Ferrogabbro und Forno-Metabasalt erwiesen.

Zusätzliche Daten im Y-vs.-Zr-Diagramm (Abb. 11) basieren auf Analysen von alpin nicht umgewandeltem Gabbro (HERMANN, unpubl.) und von Forno-Basalten aus der ganzen Forno-Einheit (PUSCHNIG, unpubl.). Sie zeigen eine Unterteilung der beiden Metabasika in zwei Bereiche im Y-vs.-Zr-Diagramm mit einer Überlappung einzelner Punkte.

Eigene Ferrogabbro- und Forno-Metabasaltproben liegen in den entsprechenden Bereichen mit wenigen Ausnahmen von Ferrogabbroanalysen, welche eine Anreicherung an Zr aufweisen und ausserhalb des Ferrogabbrofeldes liegen.

Die Darstellung beider Differentiationen im Zr-vs.-TiO_2-Diagramm (Abb. 12) zeigt für den Forno-Metabasalt im Vergleich zum Fedozer Metagabbro einen viel steiler verlaufenden Trend. Abweichungen werden durch Zr angereicherte Proben verursacht, welche in Richtung der Forno-Metabasalte weisen. Diese Proben konnten aber zum Ferrogabbro gestellt werden, da sie Ti-Pargasitrelikte enthalten. Die beiden Datenpunkte für Apatit-Ilmenit-Ferrogabbro liegen auf dem Trend des Ferrogabbros und stellen höher differenzierte Gabbrogesteine dar.

Diskussion und Interpretation

Mit Hilfe der chemischen Untersuchungen konnten die Metagabbrovarietäten charakterisiert und deren Differentiationsverlauf aufgezeigt werden. Die Spurenelementanalysen erlaubten eine genauere Unterscheidung des Ferrogabbros von den Forno-Metabasalten. Die Stellung des Fedozer Metagabbros und des Forno-Metabasaltes konnten anhand der beobachteten primären und tektonischen Kontakte zu den Nebengesteinen genauer beschrieben werden.

In der Arbeit von GAUTSCHI (1979, 1980), der allerdings nur den Magnesiometagabbro und den Ferrogabbro untersucht hat, wurde der Fedozer Gabbro in die Tholeiit-Serie gestellt. Ausgehend von einem Al-reichen, tholeiitbasaltischen Magma differenziert der Gabbro in Richtung einer ferrobasaltischen Zusammensetzung. Bei etwas variablem SiO_2-Gehalt werden die Hauptelemente FeO, TiO_2, MnO, K_2O und P_2O_5 mit zunehmendem Differentiationsindex XFeO* = FeO*/FeO*+ MgO deutlich angereichert, während MgO, Al_2O_3 und CaO abnehmen.

Mit der Ausscheidung weiterer Metagabbrovarietäten im Feld und geochemischen Untersuchungen konnte eine kontinuierliche Differentiation und eine Trennung in zwei Trends innerhalb der Tholeiit-Serie zu hochdifferenzierten Gesteinen aufgezeigt werden. Weiter wurde gezeigt, dass die Differentiation des Fedozer Gabbros über einen breiten XFeO*-Bereich (0,3–0,7) verläuft und die verschiedenen Metagabbrovarietäten einzelne Differentiationsglieder darstellen.

Die Variation der Datenpunkte im Differentiationsindex XFeO* und SiO_2-Gehalt des Magnesiometagabbros und zum Teil des Ferrogabbros könnte auf ein sich änderndes Verhältnis von Phänokristallen und koexistierender Schmelze während der Differentiation zurückzuführen sein. Weiter führt die Bildung von Kumulaten (magmatisches Layering) zu einer inhomogenen Verteilung der Elemente.

Aus Altersbestimmungen an einem Ferrogabbro und einem hellen Quarzdiorit kann für die verschiedenen Metagabbrovarietäten ein einheitliches Alter um 270 Ma angenommen werden (HANSMANN et al., 1995/96). Es ist somit wahrscheinlich, dass alle analysierten Proben zur selben Differentiationsreihe gehören. Die Hauptmasse des Fedozer Metagabbros besteht aus Magnesio- und Ferrogabbro. Die anderen Differentiate machen einen Volumenanteil unter 1% aus. Die Aufspaltung in zwei Differentiationstrends beschränkt sich dadurch nur auf eine Restschmelze, die nach einer ersten Differentiation und Kristallisation von Magnesio- und Ferrogabbro übrigbleibt.

Die Trennung der Restschmelzzusammensetzung in die zwei Differentiate Quarzdiorit und Apatit-Ilmenit-Ferrogabbro kann als Mischungslücke der Schmelze interpretiert werden. Ausgehend vom Magnesio- zum Ferrogabbro spaltet sich die Restschmelze in zwei verschiedene Schmelzzusammensetzungen mit komplementären Werten der wichtigsten Haupt- und Spurenelementen (Abb. 9).

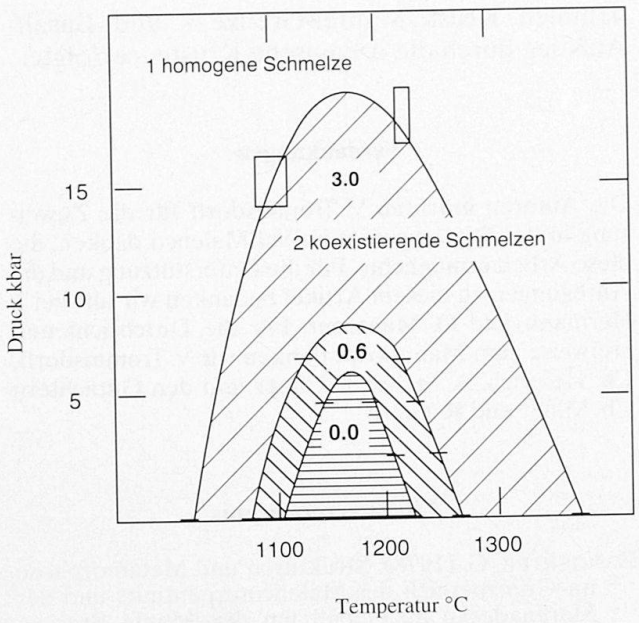


Abb. 13 Die Mischungslücke für eine Fe-reiche und Si-reiche Schmelze in Funktion von Druck und Temperatur. Die schraffierten Felder unter den einzelnen Kurven stellen Bereiche dar, in denen jeweils bei verschiedenen P_2O_5-Gehalten (in Gew.%) zwei Schmelzen koexistieren. Mit zunehmenden P_2O_5-Gehalt vergrössert sich der Bereich der Unmischbarkeit, der zunehmende Druck jedoch hat einen gegenläufigen Einfluss auf die Mischungslücke und verkleinert die Felder gegen oben hin. Zur Druckabschätzung für einen Minimaldruck vor der Entmischung siehe Text. Die Rechtecke und Balken sind Fehlerangaben für P und T (aus VISSER und KOSTER VAN GROOS, 1979c).

Aus dem Vergleich der beiden Gesteinstypen in Abbildung 9 kann man herleiten, wie die Elemente auf die beiden Differentiate verteilt sind. Dieses Verteilungsmuster ist abhängig von der Mineralogie und der Möglichkeit, die aufgeführten Elemente in bestimmte Mineralien einzubauen.

Experimente über die Mischungslücke im System K_2O–FeO–Al_2O_3–SiO_2 wurden unter anderen von VISSER und KOSTER VAN GROOS (1979a, 1979b, 1979c) durchgeführt. Dabei wurde eine Fe-reiche und eine Si-reiche Schmelze beobachtet und der Einfluss von TiO_2, P_2O_5 und Druck auf die Mischungslücke untersucht. Wie diese Versuche zeigten, entsteht die Mischungslücke bevorzugt in einer trockenen Schmelze mit einem hohen XFeO*.

Obwohl das natürliche System des Gabbros nicht genau mit dem experimentellen System der Experimente übereinstimmt (Na_2O-Komponente anstelle der K_2O-Komponente), kann auch für die Differentiation des Fedozer Gabbros eine Mischungslücke angenommen werden. Diese Annahme basiert auf den Zusammensetzungen der beiden unterschiedlichen Restschmelzen. Es wird wie in den Experimenten eine Anreicherung von TiO_2 und P_2O_5 in der Fe-reichen Schmelze und eine Anreicherung von Na_2O (anstelle von K_2O im Experiment) und Al_2O_3 in der Si-reichen Schmelze gefunden.

Die obere und untere Temperaturlimite für das Auftreten von zwei koexistierenden Schmelzen im reinen KFAS-System liegt um 1235–1110 °C bei 6,5 kbar. Je nach Druck (3–15 kbar), TiO_2- (0–3,4 Gew.%) und P_2O_5- (0–9 Gew.%) Gehalt verbreitert sich das Stabilitätsfeld der Mischungslücke. Eine Vergrösserung der Mischungslücke im Temperaturbereich entsteht bei zunehmendem Ti- und P-Gehalt um 25 °C/Gew.% für TiO_2 und 35 °C/Gew.% für P_2O_5. Bei der Zugabe von 0,6 Gew.% P_2O_5 liegt die obere Grenze der Mischungslücke bei 1285 °C und die untere Grenze bei 1095 °C (P = 1 bar). Der zunehmende Druck verkleinert generell das stabile Koexistenzfeld der beiden Schmelzen. Ausnahmen sind im phosphorfreien System bei 5 kbar (etwas grösseres Stabilitätsfeld als bei 3 kbar) und mit 0,6 Gew.% P_2O_5 bei 3 kbar (grösser als bei 1 bar) zu sehen. Der maximale Druck, bei dem die Mischungslücke im reinen (ohne P_2O_5) System auftritt, liegt bei 6,5 kbar (± 1 kbar), wird aber bei der Zugabe von 0,6 Gew.% resp. 3 Gew.% P_2O_5 auf 8,5 kbar (± 1 kbar) bzw. 18 kbar (± 3 kbar) erhöht.

Der Druck für die Entmischung des Fedozer Metagabbros kann somit grob abgeschätzt werden. Bei einem Differentiationsindex von etwa XFeO*= 0,65 (entspricht dem Durchschnittswert des Ferrogabbros vor der Entmischung) und einem durchschnittlichen P_2O_5-Gehalt im Ferrogabbro von ungefähr 0,6 Gew.% ist eine Entmischung bereits bei etwa 9–10 kbar möglich (Abb. 13). Das würde bedeuten, dass der Ferrogabbro schon bei höheren Drücken als 9 kbar kristallisiert und der Quarzdiorit (durchschlägt den Ferrogabbro) etwas später und bei Drücken unter 9 kbar intrudiert. Dies ist eine grobe Abschätzung, die aber nicht im Widerspruch zu Berechnungen über die Bedingungen von Gesteinen in der Granulitfazies steht (HERMANN und MÜNTENER, 1996).

Die Generierung der beiden Schmelzen ist demnach wahrscheinlich wie die Intrusion des Gabbros an der Kruste/Mantel-Grenze abgelaufen (TROMMSDORFF et al., 1993; MÜNTENER und HERMANN, 1996).

Forno-Metabasalt und Ferrogabbro wurden anhand der Spurenelemente Y und Zr unterschieden. Die Metagabbro-Proben weisen generell tiefere Zr- und Y-Werte als der Forno-Metabasalt auf. Einzelne Ferrogabbroproben sind aber

angereichert im Zr-Gehalt und erscheinen im Feld der Forno-Metabasalte. Dadurch wird teilweise auch geochemisch eine ganz klare Unterscheidung der beiden dunklen Metabasika erschwert. Einzig das Auftreten von Ti-Pargasitrelikten stellt diese Zr-reichen Gesteine zum Metagabbro. Die Zr-Anomalie kann eventuell durch eine inhomogene Zr-Verteilung im Ferrogabbro (Kumulatbildungen?) erklärt werden.

Pb-Isotopendaten des Fedozer Gabbros zeigen einen krustalen μ-Wert, der mit dem Gabbro aus der Ivrea-Zone zu vergleichen ist (HANSMANN et al., 1995/96). Dort wird angenommen, dass die Magmaquelle aus einem kontaminierten subkontinentalen Mantelbereich stammt. Die möglichen Kontaminationen sind nicht exakt bestimmbar und können die Mantelquelle (Isotopeninhomogenitäten im Mantel) betreffen oder es kann sich um Assimilation von subduziertem Material durch den Mantel handeln.

Die Differentiation des Forno-Basaltes ist ebenfalls tholeiitisch, zeigt aber einen viel engeren Differentiationsbereich im XFeO* (0,5–0,65) und eine geringere TiO_2-Anreicherung als der Gabbro (Abb. 12). Der Basalt liegt nur in einer einzigen Varietät vor, und ein Differentiationsverlauf ist nur schwach ausgeprägt. Das weist auf einen schnellen Aufstieg der Schmelze hin und damit auch auf den MORB-Charakter des Forno-Metabasaltes (FERRARIO und MONTRASIO, 1976; PERETTI, 1985; PERETTI und KÖPPEL, 1986).

Schlussfolgerungen

– Feldbeziehungen und chemische Analysen zeigen verschiedene Metagabbrovarietäten und eine Differentiation des Gabbros über einen breiten XFeO*-Bereich.

– Die Aufspaltung einer Restschmelze in zwei Glieder kann aufgrund geochemischer Signaturen anhand einer Mischungslücke interpretiert werden. Ausgehend von der Ferrogabbrozusammensetzung bilden sich Si-reiche beziehungsweise Fe-reiche Gesteine.

– Makroskopisch ähnliche Metabasika (Ferrogabbro und Forno-Metabasalt) wurden anhand genauer Dünnschliffbeobachtungen und mit Spurenelementanalysen (v.a. Zr, Y und Ti) unterschieden.

– Die Differentiationswege des Fedozer Metagabbros und des Forno-Metabasaltes zeigen unterschiedliche Trends, welche die verschiedenen Entwicklungen der Gesteine repräsentieren. Die Kontaktbeziehungen der Metabasika zu ihren Rahmengesteinen zeigen sehr schön, wie die Platznahme von Gabbro-Intrusion an der kontinentalen Kruste/Mantel-Grenze – und Basalt-Aufstieg durch die ozeanische Kruste – erfolgte.

Verdankungen

Die Autoren möchten V. Trommsdorff für die Zuweisung in das Diplomgebiet im Val Malenco danken, die diese Arbeit ermöglichte. Für die Unterstützung und die Anregungen zu diesem Artikel bedanken wir uns bei J. Hermann und O. Müntener. Für die Durchsicht und Hinweise zum Manuskript danken wir V. Trommsdorff, Ch. Heinrich, A. Stahel, P. Ulmer und den Gutachtern Ch. Miller und R. Gieré.

Literaturverzeichnis

BANGERTER, G. (1978): Strukturen und Metamorphose im Grenzbereich des Malencoserpentinits und der Margnadecke im Gebiet um den Monte Braccia. Unpubl. Diplomarbeit ETH Zürich.

BORSIEN, G.-R., REBER, D. und ULRICH, T. (1995): Geologische Karte des Val Ventina (Prov. Sondrio/N-Italien), Massstab 1:5000. Unpubl. Diplomkartierung ETH Zürich.

BORSIEN, G.-R. (1995): Petrographische Untersuchungen im oberen Val Malenco (Val Ventina, Provinz Sondrio, Norditalien). Unpubl. Diplomarbeit 2. Teil, ETH Zürich.

DIETHELM, K.H. (1984): Geologie und Petrographie des Bergeller Ostrandes. II: Unpubl. Diplomarbeit, ETH Zürich.

FERRARIO, A. und MONTRASIO, A. (1976): Manganese ore deposits of Monte del Forno. Its stratigraphic and structural implications. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 56, 377–386.

GAUTSCHI, A. (1979): Geologie und Petrographie des Fedozer Gabbros (Östliche Zentralalpen, Prov. Sondrio, N-Italy / Kt. Graubünden, Schweiz). Abstr. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 59, 423–427.

GAUTSCHI, A. (1980): Metamorphose und Geochemie der basischen Gesteine des Bergeller Ostrandes (Graubünden, Schweiz/Provinz Sondrio, Norditalien). Diss. Nr. 6672, ETH Zürich, 170 pp.

GIERÉ, R. (1985): Metasedimente der Suretta-Decke am Ost- und Südostrand der Bergeller Intrusion. Lithostratigraphische Korrelation und Metamorphose. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 65, 57–78.

GUNTLI, P. (1987): Geologie und Petrographie der Margna südlich des Silsersees, Oberengadin. II. Fedoz. Unpubl. Diplomarbeit Uni. Zürich.

GUNTLI, P. und LINIGER, M. (1989): Metamorphose in der Margna-Decke im Bereich Piz del la Margna und Piz Fedoz (Oberengadin). Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 69/2, 289–302.

HANSMANN, W., HERMANN, J., MÜNTENER, O. (1995/96): U-Pb-Datierungen an Zirkonen des Fedozer Gabbros, einer Intrusion an der Krusten-Mantel-Grenze. Abstract. Jahrestagung SANW St. Gallen 1995. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 76, 116–117.

HERMANN, J. und MÜNTENER, O. (1992): Strukturelle Entwicklung im Grenzbereich zwischen dem penninischen Malenco-Ultramafitit und dem Unterostalpin (Margna- und Sella-Decke). Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 72/2, 225–240.

HERMANN, J. und MÜNTENER, O. (1996): Extension-related structures in the Malenco-Margna system: impli-

cations for paleogeography and its consequence for rifting and Alpine tectonics. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 76, 501–519.

KUBLI, T. (1983): Geologie und Petrographie der Forno-Serie im unteren Val Forno. Unpubl. Diplomarbeit ETH Zürich.

LINIGER, M. (1987): Geologie und Petrographie der Margna südlich des Silsersees, Oberengadin. I. Margna. Unpubl. Diplomarbeit ETH Zürich.

LINIGER, M. und GUNTLI, P (1988): Bau und Geschichte des zentralen Teils der Margnadecke. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 68/1, 41–54.

MONTRASIO, A. (1973): Strutture a pillow nelle anfiboliti del Monte del Forno (Penninico medio-Alpi Retichi). Rend. Accad. Naz. Lincei, Cl. Sci. Fis. Mat. Nat. 54, 114–123.

MONTRASIO, A. und TROMMSDORFF, V. (1983): Guida all'escursione del massicio di Val Masino–Bregaglia, Val Malenco occidentale, Sondrio. Mem. Soc. Geol. It. 26, 421–434.

MONTRASIO, A. (1984): The "Lanzada-Scermendone Zone": An ophiolitic unit of continental affinity in the Southern Rhaetic Alps (Prov. Sondrio / Italy). Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 64, 111–129.

MÜNTENER, O. und HERMANN, J. (1996): The Val Malenco lower crust – upper mantle complex and its field relations (Italian Alps). Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 76, 475–500.

PEARCE, J.A. und CANN, J.R. (1973): Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis. Earth Planet. Sci. Lett. 19, 290–300.

PERETTI, A. (1985): Der Monte-del-Forno-Komplex am Bergeller Ostrand. Seine lithostratigraphie, alpine Tektonik und Metamorphose. Eclogae. geol. Helv. 781, 23–48.

PERETTI, A. und KÖPPEL, V. (1986): Geochemical and lead isotope evidence for a mid-ocean ridge type mineralisation within a polymetamorphic ophiolite complex (Monte del Forno, North Italy / Switzerland). Earth Planet. Sci. Lett. 80: 252–264.

SPILLMANN, P. (1993): Die Geologie des penninisch-ostalpinen Grenzbereichs im südlichen Berninagebirge. Diss. ETH Zürich Nr. 10175.

SPILLMANN, P. und BÜCHI, H.J. (1993): The pre-Alpine Basement of the lower Austroalpine Nappes in the Bernina Massif (Grisons, Switzerland; Valtellina, Italy). In: VON RAUMER, J.F. and NEUBAUER, F. (eds): Pre-Mesozoic Geology in the Alps. Springer Verlag Berlin Heidelberg 1993, 457–467.

STAUB, R. (1946): Geologische Karte der Berninagruppe, 1 : 50'000. Spez.-Karte 118. Schweiz. Geol. Komm, Basel.

TROMMSDORFF, V. und EVANS, B.W. (1972): Alpine metamorphism of antigorite schists in the Bergell Tonalit aureole (Italy). Am. Jour. Sci. 272, 423–437.

TROMMSDORFF, V. und DIETRICH, V. (1980): Alpine metamorphism in a cross-section between the Rhine and Valtellina valleys (Switzerland and Italy). In: Schweiz. Geol. Komm. (Ed.): Geology of Switzerland, a guide book. Part B. Wepf & Co. Basel-New York, 317–334.

TROMMSDORFF, V., PICCARDO, G. und MONTRASIO, A. (1993): From magmatism through metamorphism to sea floor emplacement of subcontinental Adria lithosphere during pre-Alpine rifting (Malenco, Italy). Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 73, 191–204.

TRÜMPY, R. (1980): Geology of Switzerland; a guide book. Part A. Schweiz. Geol. Komm. / Wepf & Co. Basel-New York. 334 pp.

ULRICH, T. (1995): Petrographische Untersuchungen im oberen Val Malenco (Val Ventina, Provinz Sondrio, Norditalien). Unpubl. Diplomarbeit 1. Teil ETH Zürich.

VISSER, W. und KOSTER VAN GROOS, A.F. (1979a): Phase relations in the system K_2O–FeO–Al_2O_3–SiO_2 at 1 atmosphere with special emphasis on low temperature liquid immiscibility. Am. J. Sci., 279, 70–91.

VISSER, W. und KOSTER VAN GROOS, A.F. (1979b): Effects of P_2O_5 and TiO_2 on liquid-liquid equilibria in the system K_2O–FeO–Al_2O_3–SiO_2. Am. J. Sci., 279, 970–988.

VISSER, W. und KOSTER VAN GROOS, A.F. (1979c): Effects of pressure on liquid immiscibility in the system K_2O–FeO–Al_2O_3–SiO_2–P_2O_5. Am. J. Sci., 279, 1160–1175.

Manuskript eingereicht 3. Mai 1996; überarbeitetes Manuskript angenommen 25. September 1996.