

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

Band: 74 (1994)

Heft: 3

Artikel: Der variskische Magmatismus in der östlichen Bernina (Graubünden,
Schweiz) = Variscan magmatism in the eastern Bernina area (Grisons,
Switzerland)

Autor: Büchi, Hansjürg

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-56352>

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: 18.04.2026

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

Der variskische Magmatismus in der östlichen Bernina (Graubünden, Schweiz)

Variscan magmatism in the eastern Bernina area (Grisons, Switzerland)

von Hansjürg Büchi¹

Abstract

The area between Pontresina and the Morteratsch valley is part of the Lower Austroalpine Bernina Nappe and comprises mostly various plutonic rock types of Variscan age: gabbros, diorites, granodiorites, syenites, granites and leuco-granites. All of them occur discordantly within crystalline basement rocks. Geochemically the plutonic rocks are parts of a calc-alkaline (gabbro, diorite, granodiorite; early-Carboniferous) and an alkaline (syenite, granite, leuco-granite; late-Carboniferous, late- to post-orogenic) differentiation series. The alkaline series seems to be linked with the rhyolitic extrusion of the Diavolezza area. A rhyolitic dike and basic dikes crosscutting the plutonic rocks are results of independent later magmatic events.

Keywords: magmatism, Variscan intrusions, basement, Lower Austroalpine, Bernina nappe, Eastern Alps Switzerland.

Zusammenfassung

Das untersuchte Gebiet zwischen Pontresina und Val Morteratsch gehört tektonisch zur unterostalpinen Bernina-Decke und wird überwiegend von variskischen Intrusivgesteinen (Gabbro, Diorit, Granodiorit, Syenit, Granit, Leukogranit) aufgebaut; diese stecken diskordant in einer Altkristallinhülle und werden von einem Rhyolithgang und zahlreichen basischen Gängen durchschlagen. Die Gabbros enthalten einzelne Serpentinlinsen. Die Intrusivgesteine lassen sich trennen in eine unterkarbonische kalkalkalische Gabbro-Diorit-Granodiorit-Serie (früh-orogen) und eine spät-oberkarbonische alkalische Syenit-Granit-Leukogranit-Serie (spät- bis post-orogen), die mit der Extrusion der Diavolezza-Rhyolithe zusammenhängen dürfte. Der Rhyolithgang und die basischen Gänge sind Produkte von unabhängigen, jüngeren magmatischen Ereignissen.

Gesteinsabkürzungen: Agr = Alkalifeldspat-Granit, Altkr = Altkristallin, fDi = feinkörniger Diorit, Gab = Gabbro, Gr = Granit, Grd = Granodiorit, Lgr = Leukogranit, oDi = ophitischer Diorit, QPor = Quarzporphyr, QzSy = Quarzsyenit, Rhy = Rhyolith, Sy = Syenit.

Einleitung

Seit der Veröffentlichung der «Berninakarte» durch STAUB (1946) wurde das Gebiet zwischen Val Roseg und Val Bernina längere Zeit nicht weiter untersucht. Eine erste geologisch-petrographische Neubearbeitung erfolgte durch RAGETH (1982, 1984). Im Rahmen einer Diplom-

arbeit (BÜCHI, 1987) am Institut für Mineralogie und Petrographie der ETH Zürich wurde die Untersuchung gegen NW hin fortgeführt, da im Gebiet Pontresina – Piz Chalchagn – Morteratsch zahlreiche Intrusivkontakte und eine Vielfalt von magmatischen Gesteinen aufgeschlossen sind. Im Gegensatz zum westlichen Teil (STAUB, 1915) wurde der Ostteil der Berninaintrusiva bis

¹ Institut für Mineralogie und Petrographie, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich.

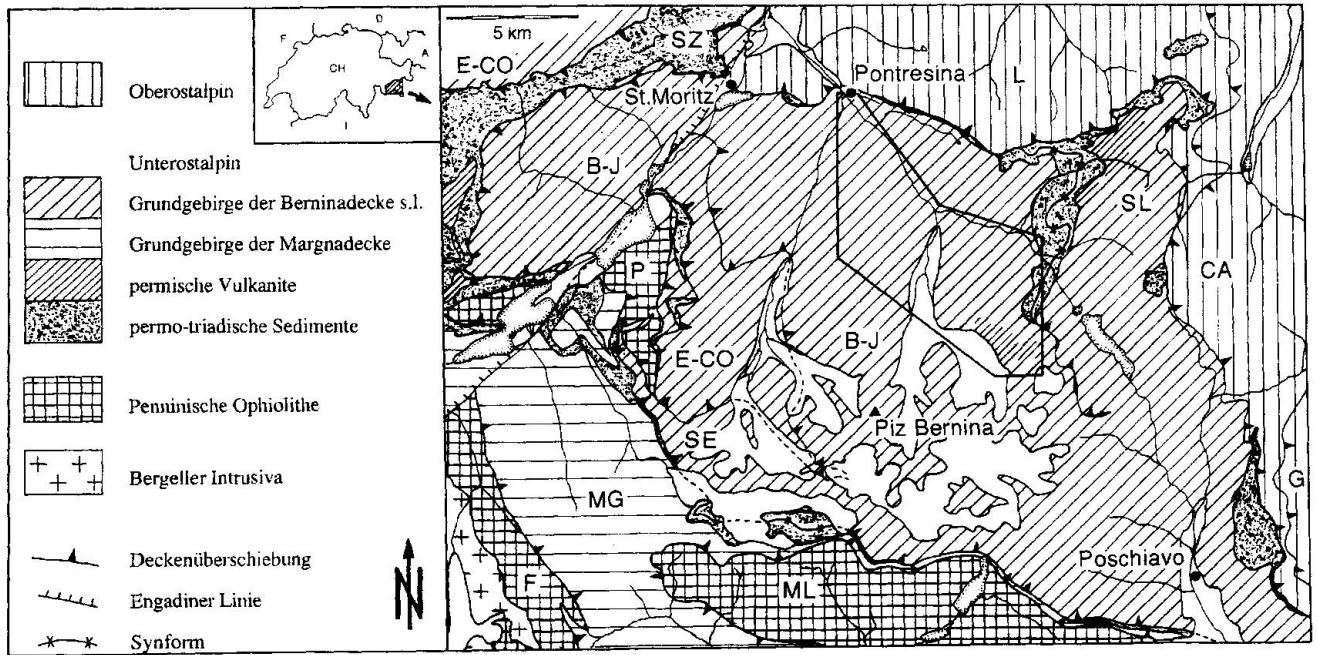


Abb. 1 Tektonische Übersichtskarte der Bernina, ergänzt nach SPILLMANN (1993) und SCHMID et al. (1993). B-J = Bernina-Decke s.s. und Julier-Decke, CA = Campo-Decke, E-CO = Err-Corvatsch-Decke, F = Forno-Einheit, G = Grosinakristallin, L = Languard-Decke, MG = Margna-Decke, ML = Malenco-Serpentinit, P = Platta-Decke, SE = Sella-Decke, SL = Strettalappen, SZ = Samadener Zone. Das von BÜCHI (1987) und RAGETH (1982) kartierte Gebiet ist eingerahmt.

heute lithologisch nur teilweise beschrieben (RAGETH, 1982, 1984). RAGETH konnte zeigen, dass die Intrusiva Produkte einer kalkalkalischen und einer alkalischen Intrusionsabfolge sind. Ziel der hier vorgestellten Untersuchungen war es, weitere Informationen über Art und Abfolge des Intrusions- und Extrusionsgeschehens zu erhalten.

Geologische Übersicht

Das untersuchte Gebiet des Piz Chalchagn zwischen Pontresina und dem Val Morteratsch liegt vollständig innerhalb der Bernina-Decke s.s. (Abb. 1). Die Bernina-Decke s.s. ist das zweitoberste Glied des unterostalpinen Deckenstapels und besteht überwiegend aus prämesozoischem Grundgebirge und untergeordneten postvariskischen Sedimenten. Im Berninamassiv (westlich der Val Bernina, geographischer Begriff) sind vorwiegend karbonische Intrusiva anstehend, die diskordant in einer variskisch-metamorphen Altkristallinhülle stecken. Am Ostrand des Massivs, auf der Diavolezza, finden sich rhyolithische Extrusiva als geringmächtige Decklage auf den intrusiven und altkristallinen Gesteinen (RAGETH, 1982, 1984; STAUB, 1916, 1946). Weiter östlich trennt der Sedimentzug der Alv-Synklinale die Bernina-Decke s.s. vom altkristallinen Strettalap-

pen (SCHÜPBACH, 1970; RAGETH, 1982). Eine Übersicht über die unterostalpine Tektonik und das prämesozoische Grundgebirge der Bernina-Decke geben SPILLMANN (1993) und SPILLMANN et al. (1993).

Im Gebiet des Piz Chalchagn, zwischen Pontresina und dem Val Morteratsch, ist eine Vielfalt von Intrusivgesteinen aufgeschlossen (Tafel 1). Das Auftreten von Altkristallingesteinen (Augengneise, Bändergneise, Glimmerschiefer), wie sie am Piz Mezzaun (SCHINDLER, 1987), im oberen Berninatal (RAGETH, 1982) und im Puschlav in grösseren Mengen anstehen, ist auf wenige Aufschlüsse beschränkt, rhyolithische Gesteine fehlen mit Ausnahme eines grösseren Ganges am Piz Mandra, basische Gänge durchschlagen sämtliche Lithologien des Grundgebirges. Postvariskische Sedimente, wie sie im oberen Berninatal und am Piz Alv zu finden sind (SCHÜPBACH, 1970; RAGETH, 1982; FURRER, 1985), sind nicht vorhanden. Im unteren Morteratschtal sind drei wenige Meter grosse, von Intrusivgesteinen umgebene Serpentinitkörper anstehend. Alle Gesteine zeigen eine schwache bis mässige alpinmetamorphe Überprägung (untere Grünschieferfazies), eine tektonische Überprägung des präalpinen Gefüges ist im Feld nicht feststellbar mit Ausnahme einiger Kataklastithorizonte und eines grösseren Bruchsystems im unteren Rosegtal.

Tab. 1 Modalbestände der verschiedenen Lithologien (Vol.%).

	Qz	Plg/ Sau	Afp	Amp	Bio/ Chl	Py	Ilm	Mgn	Häm	Akz
grobk. Gabbro	0-6	40-60	-	35-50	2-10	x	x	(x)		Akt, Ap, Cc, Ru, Ti
feink. Diorit	3-18	40-60	akz.	5-20	10-20	x	x	x		Akt, Ap, Ep, Cpx
ophit. Diorit	5-20	40-60	-	10-15	15-18	x	x	x		Akt, Ap, Cc, Ep, Ru, Zr
Granodiorit	35-50	40-55	0-20	2-10	5-10		x			Ap, Ep, Or, Ru, Ti, Zr
(Qz-)Syenit	4-7	5-10	65-80	5-10	3-10		x	x		Ap, Ep, Or, Ru, Sti, Zr
Granit	30-35	5-15	45-50	0-5	0-3		x	x	x	Ep, Or, Sti, Zr
Alkalifsp.-Granit	30-40	akz.	50-65	-	-		x	x	x	Fl, Or, Sti
Leukogranit	45-60	10-20	25-35	-	-			x	x	Ep, Hgl, Sti
Rhyolithgang	40-45	-	45	-	-			x	x	Hgl(0-5), Sti(0-10)
Serpentinit - vertalkt	Ant(5), Chry(35), Tk(40), Chl(5), Opx(4), Ol(1), Mgn/Cro(4), Dol(5) Ant(3), Chry(12), Tk(70), Chl(7), Tr(7), Mgn, Cc									

Mineralabkürzungen: Afp = Alkalifeldspat, Akt = Aktinolith (alpinmetamorph), Amp = Amphibol, Ant = Antigorit, Ap = Apatit, Bio = Biotit, Cc = Calcit, Chl = Chlorit, Cro = Chromit, Chry = Chrysotil, Cpx = Klinopyroxen, Cum = Cumingtonit, Dol = Dolomit, Ep = Epidot, Fl = Fluorit, Häm = Hämatit, Hbl = Hornblende, Hgl = Hellglimmer, Ilm = Ilmenit, Mgn = Magnetit, Mhb = Magnesiohornblende, Ol = Olivin, Opx = Orthopyroxen, Or = Orthit, Plg = Plagioklas, Py = Pyrit, Qz = Quarz, Rhy = Rhyolith, Ru = Rutil, Sau = Saussurit, Sti = Stülpnomelan, Ti = Titanit, Tk = Talk, Tr = Tremolit, Zr = Zirkon.

Dieses dürfte im Zusammenhang stehen mit dem steilen Einfallen der Grenze zwischen Bernina- und Languard-Decke im Raum Pontresina.

Petrographie der magmatischen Gesteine

Alle untersuchten Gesteine weisen noch weitgehend das präalpine Mineralgefüge auf (Mineralzusammensetzung der Gesteine vgl. Tab. 1). Aufgrund des Auftretens von neugebildetem Epidot, Serizit, Albit, Chlorit, Stülpnomelan und Aktinolith und des Fehlens von alpin neugebildetem Biotit kann die alpine Metamorphose die Bedingungen der unteren Grünschieferfazies nicht überschritten haben (RAGETH, 1984; BÜCHL, 1987). Eine alpinkontinente Überprägung des präalpinen magmatischen Gefüges ist makroskopisch nicht sichtbar, eine Beeinflussung der magmatischen Gesteine durch eine post-intrusive variskische Metamorphose ist nicht nachweisbar. Die primärmagmatischen Strukturen und Intrusivkontakte sind gut erhalten; mikroskopisch beschränkt sich die alpine Deformation auf Kinkungen und sprödes Zerbrechen von Mineralkörnern. Aufgrund der nur geringen metamorphen Umwandlung wurden die Gesteine, mit Ausnahme des Serpentinits, als magmatische Gesteine klassifiziert.

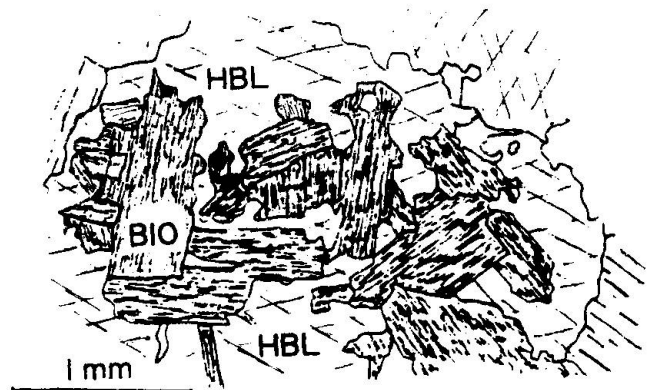


Abb. 2 Gabbro mit Biotitkumulaten; Dünnschliff: Magnesiohornblende umschliesst idiomorphe, chloritierte Biotitstengelchen.

Gabbro, Diorit, Granodiorit (Kalkkalisierung):

Der grösste basische Gesteinskörper ist im Taiswald oberhalb Pontresina anstehend (Tafel 1). Es handelt sich um mittel- bis grobkörnige, dunkelgrün-weiss gesprenkelte gabbroide Gesteine, an die sich westlich des Rosegtales die Gabbro- und Dioritmassen des Piz Rosatsch (Diorit-Gabbrodiorit-Essexit nach STAUB, 1946) anschliessen. Auffällig ist in diesen Gesteinen das Auftreten von Kumulaten kleiner (< 1 mm) idiomorpher Biotitleisten im Kern von Amphibolkörnern (Abb. 2) neben grossen xenomorphen Biotiten.

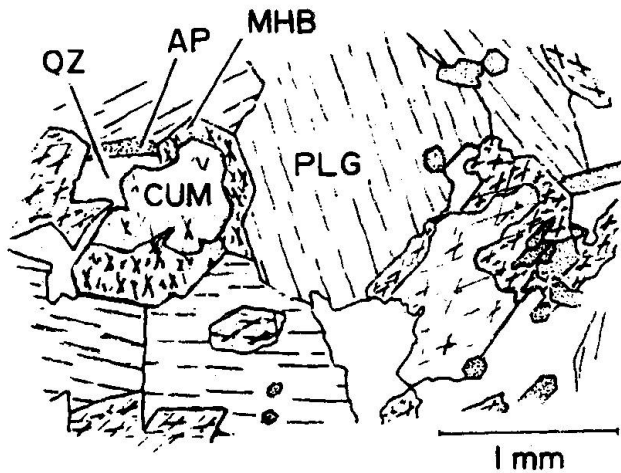


Abb. 3 Grobkörniger Diorit aus dem vorderen Morteratschtal; Dünnschliff: Typisch sind die zahlreichen Apatite, die zonierten Amphibole mit Cumingtonit-Kernen und Magnesiohornblende-Rändern sowie das ophitische Mineralgefüge mit Quarz als Spickelfüllung.

Im vorderen Morteratschtal ist ein schmaler Streifen von fein- und grobkörnigen basischen Gesteinen aufgeschlossen, die STAUB (1946) zusammen mit den Altkristallinaufschlüssen beim Ausgang des Morteratschtales als «Einschmelzzone von Morteratsch» zusammenfasste. Die feinkörnigen dioritischen bis gabbroiden Gesteine (Mineraldurchmesser bis 1 mm) sind grau und führen vereinzelt Pyroxen. Typisch für die grobkörnigen Diorite ist ein ophitisches Gefüge. Sie sind weiss-grün gesprenkelt und mit basischen und altkristallinen Schollen durchsetzt. Die primärmagmatischen Amphibole in den ophitischen Dioriten haben häufig farblose bis bläuliche Kerne und grüne Ränder (Abb. 3). Elektronenmikrosondenanalysen ergaben für die Kerne eine cumingtonitische Zusammensetzung, die Ränder sind Magnesio-Hornblenden (BÜCHI, 1987; Klassifikation nach HAWTHORNE, 1981).

Der grobkörnige, massige Granodiorit ist in der Umgebung von Pontresina weiss bis bläulich, im Morteratschtal stahlblau bis grau und enthält im hinteren Morteratschtal, unterhalb der Bovalhütte, grosse zerbrochene Quarze (\varnothing bis 1 cm). Typisch für alle Granodiorite sind grünschwärze, bis 5 mm lange Hornblenden und zentimetergrosse basische Xenolithe. Mikroskopisch lassen sich keine Unterschiede zwischen den verschiedenen Varietäten feststellen. Das Gestein hat z.T. eher tonalitischen, z.T. eher granitischen Charakter, entspricht in Struktur und Mineralgehalt aber der Beschreibung von RAGETH (1984).

Granitische Gesteine der Kalkalkaliserie, wie sie weiter westlich in der Sella-Decke auftreten

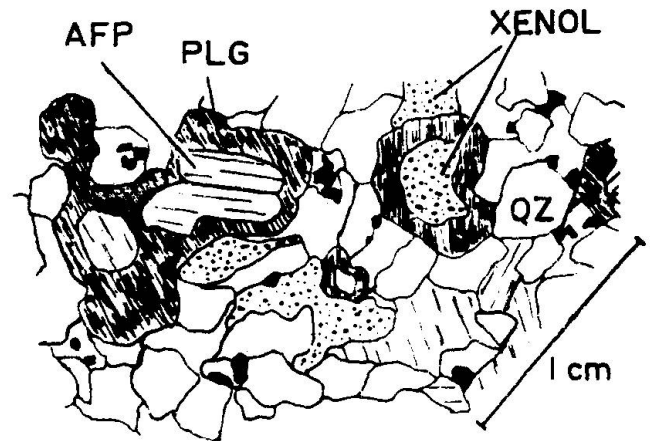


Abb. 4 Rapakivigranit aus dem Taiswald: von Oligoklas ummantelte Kalifeldspäte und kleine Xenolithe als Resultat einer späten kalkalkalischen Magmenkontamination in den kontaktnahen Graniten.

(HERMANN und MÜNTENER, 1992), sind im untersuchten Gebiet nicht anzutreffen.

Syenit, Granit, Leukogranit (Alkaliserie):

Grössere Syenitaufschlüsse stehen nur im vorderen Morteratschtal an (Tafel 1), im weiteren enthält der Granit im Taiswald einige Syenit-schlieren. Der Syenit fällt durch sein grobkörniges, schwarz-weiss gesprenkeltes Aussehen auf, makroskopisch erkennbar sind weisse Feldspäte, schwarze Biotitplättchen und Hornblendestengel.

Alle im Untersuchungsgebiet anstehenden granitischen Gesteine gehören zur Alkaliserie. Die Granite bauen die Gipfelregion des Piz Chalchagn und des Piz Mandra auf, ein zweiter, kleiner Körper ist im Taiswald bei Pontresina anstehend. Der rötliche Quarzporphyrgang am unteren Ende der Umfahrungsstrasse von Pontresina (Abb. 6) muss als porphyrische Varietät der granitischen Gesteine angesehen werden.

Die granitischen Gesteine weisen in der Gegend des Piz Chalchagn eine grössere Variabilität auf als im von RAGETH (1984) untersuchten Diavolezza-Gebiet. Die auf der Berninakarte von STAUB (1946) vorgenommenen Lithologieunterscheidungen sind jedoch weder im Feld noch mikroskopisch oder geochemisch nachvollziehbar. Im untersuchten Gebiet liessen sich hornblende- und biotitführende Granite, Alkalifeldspat-Granite und Leukogranite unterscheiden. Während die Leukogranite als Schlieren und kleine Körper (\varnothing am Piz Mandra bis 150 m) innerhalb der übrigen Granitmasse auftreten, sind die Alkalifeldspat-Granite weitgehend auf den Nordrand der Intrusion beschränkt. Zwischen Graniten und Alkalifeldspat-Graniten bestehen fliessende Über-

gänge. Charakteristisch für die Alkalifeldspat-Granite, verglichen mit den Graniten, ist der erhöhte Quarzanteil, das Fehlen von Plagioklas und das Auftreten von Fluorit. Granite und Alkalifeldspat-Granite zeigen ein panallotriomorphes Mineralgefüge, für die Leukogranite ist ein extremes Eutektgefüge von Quarz und Feldspat kennzeichnend. Typisch für die Alkaligesteine ist der perthitisch entmischte Alkalifeldspat, in den kontaktnahen Graniten des Taiswaldes sind die Alkalifeldspäte teilweise von Plagioklasrändern umwachsen (Rapakivi-Strukturen, Abb. 4). Im Morteratschtal, in Kontaktnähe zum Granodiorit, bildeten sich während der alpinen Metamorphose anstelle von Aktinolithen vereinzelt Whinchite (Na-Ca-Amphibole).

Serpentinit:

Im unteren Morteratschtal sind zwei von Diorit umgebene, 5–10 m grosse Serpentinitleinse aufgeschlossen, Linse 1 am Weg zur Bovalhütte (792 020 / 147 000 / 2000), Linse 2 auf der Chünetta Sur (791 470 / 146 580 / 2240). Weiter nördlich, im Berninatal, wurde noch eine dritte Serpentinitleinse gefunden (791 720 / 147 300; mdl. Mitt. Tj. Peters). Linse 1 wurde bereits von STAUB (1946) kartiert. Die Serpentinite sind grüngrau bis grünschwartz und massig. Linse 2 weist eine Fleckung im cm-Bereich auf, in den dunkleren Bereichen sind Relikte von Forsterit und Enstatit erhalten, Erzschnüre zeichnen die alten

Korngrenzen nach (Kumulatgefüge). Die helleren Flecken von Linse 2 und die Gesteine aus Linse 1 sind alpinmetamorph zu einem richtungslosen Gemisch von Chrysotil, Antigorit, Talk, Chlorit, Tremolit und Karbonat umgewandelt. Korrekterweise müsste hier von einem Speckstein gesprochen werden, doch der Einfachheit halber wurde der von STAUB (1946) eingeführte Name «Serpentinit» beibehalten.

Rhyolithgang:

Rhyolithische Gesteine, wie sie an der Diavolezza anstehen (RAGETH, 1984; «Quarzporphyre der Diavolezza» nach STAUB, 1916, 1946), fehlen am Piz Chalchagn mit Ausnahme eines 3 m mächtigen und über 2 km langen Ganges. Der feinkörnige Gang ist rötlich oder schwarz. Quarz und Feldspat sind eutektisch verwachsen. Alpinmetamorphe Neubildungen sind Serizit und Stilpnomelan, wobei Serizit und primärmagmatisches Erz in rötlichen, Stilpnomelan ohne Erz in schwarzen Gesteinszonen auftritt.

Kontaktverhältnisse

Im Gebiet des Piz Chalchagn sind die magmatischen Kontakte zwischen den verschiedenen Lithologien gut aufgeschlossen. Dies ermöglicht es, eine relative Abfolge der magmatischen Gesteine zu erarbeiten.

Altkristallin:

Altkristallingesteine finden sich als Schollen in den Kalkaligesteinen und im Syenit. An den Kontakten zum Granodiorit und zum Syenit sind Aufschmelzstrukturen sichtbar. Ob es sich beim grossen Altkristallkörper bei der Station Morteratsch um anstehendes Grundgebirge handelt, lässt sich nicht entscheiden, die Grösse des Körpers (Ø 300 m) spricht eher gegen eine vom Magma mitgerissene Scholle.

Serpentinit:

Die Serpentinitleinse in den feinkörnigen Dioriten zeigen diffuse Übergänge zum Umgebungsgestein. Die Relikt-Textur der Serpentinite (Kumulatgefüge) und ihr an die feinkörnigen Basica gebundenes Auftreten werden so gedeutet, dass es sich bei den Serpentiniten um frühe Kumulatausscheidungen der Kalkkali-Serie handelt, die von den basischen Gesteinen als Schollen mitgerissen und während der alpinen Metamorphose serpentiniert wurden. Aufgrund der starken metamorphen Umwandlung ist eine eindeutige Klärung ihrer Herkunft jedoch nicht mehr möglich.

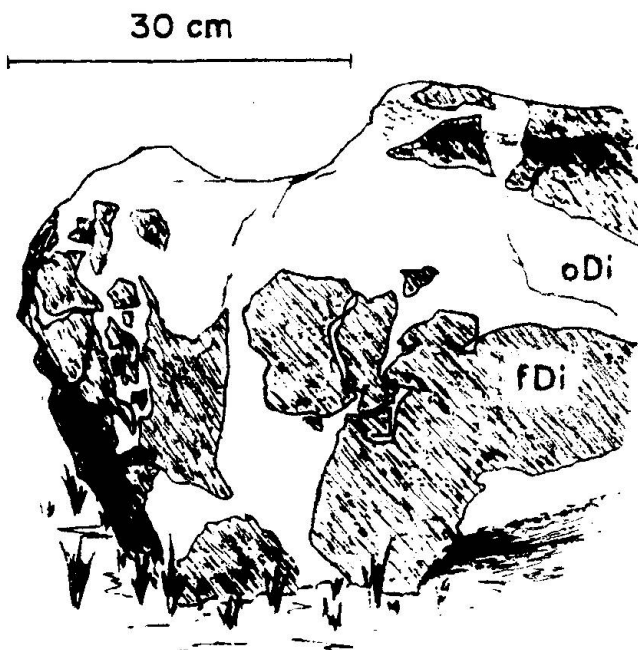


Abb. 5 Intrusivbrekzie auf der Chünetta Sur: feinkörnige Dioritschollen werden von einer grobkörnig-ophitischen Dioritmatrix umschlossen.

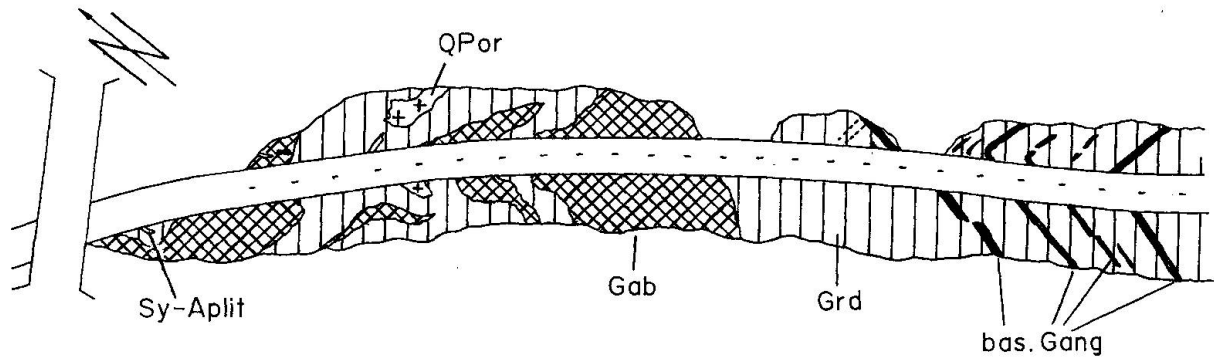


Abb. 6 Profil des Nordteils der Umfahrungsstrasse von Pontresina (Koord. 789.100/151.730), Massstab 1 : 2000, dreifach überhöht: Der Granodiorit dringt in den Gabbro ein und wird von einem Quarzporphyrgang, granitischen und syenitischen Apliten sowie basischen Gängen durchschlagen.

Kalkalkaliserie:

Ein zweiphasiges Eindringen von kalkalkalischen basischen Gesteinen ist im vorderen Morteratschtal erkennbar. Feinkörniger Diorit/Gabbro dringt in das Altkristallin ein und wird später von ophitischem Diorit intrudiert. Die Beziehung zwischen feinkörnigen Basica und ophitischem Diorit sind in der Chünetta Sur (791 470 / 146 520 / 2240) gut sichtbar. Der grobkörnige Diorit dringt in das feinkörnige Material ein und löst seinen Verband auf, die feinkörnigen Schollen sind eckig bis mässig gerundet (Abb. 5), der grobkörnige Diorit zeigt keine Abschreckungsränder.

Der Granodiorit dringt in die gabbroiden und dioritischen Gesteine ein, in Kontaktnähe bilden sich stellenweise Intrusivbrekzien mit Granodioritmatrix und mafischen Komponenten. Im Einschnitt der Umfahrungsstrasse von Pontresina (Abb. 6) ist der Intrusivkontakt zum grobkörnigen Gabbro gut aufgeschlossen. Der Kontakt ist scharf, typisch ist ein Eindringen von Granodioritapliten in den Gabbro. Scharfe Kontakte sind auch gegen die feinkörnigen Basica im vorderen Morteratschtal ausgebildet, während der Übergang von ophitischem Diorit nach Granodiorit diffus erfolgt.

Alkaliserie:

Ein eigentlicher Intrusivkontakt zwischen Syenit und Granit ist weder im vorderen Morteratschtal noch im Taiswald vorhanden, der Übergang ist schlierig-diffus im 10-m-Bereich. Leukogranite sind im Granit als einige Meter mächtige Schlieren und als grössere Körper vor allem am Piz Mandra und am nördlichen Intrusionsrand anzutreffen. Der grobkörnige Granit wird gegen den Leukogranit hin zunehmend von hellen Adern durchzogen, bis das Gestein vollständig leukogranitisch ist. Intrusivbrekzien oder andere Kontakterscheinungen sind nicht zu finden.

Alkaliserie – Kalkalkaliserie:

Auf der Chünetta Sur (791 450 / 146 510 / 2230) enthalten die kontaktnahen Syenite Diorit-schollen, im engen Kontaktbereich sind Intrusivbrekzien mit syenitischer Matrix ausgebildet. Ein scharfer Übergang zwischen Alkaligesteinen und Granodiorit ist nur im Einschnitt der Umfahrungsstrasse von Pontresina sichtbar, wo der zwei Meter mächtige Quarzporphyrgang zusammen mit syenitischen und granitischen Apliten den Granodiorit durchschlägt (Abb. 6). Der Gang weist einen scharfen Kontakt zum Umgebungsgestein auf, wobei die Gangmatrix im Zentrum wesentlich grobkörniger ist als im Randbereich. Auf der Chünetta Sur (791 140 / 145 430 / 2290) ist zwischen Granit und Granodiorit ein kontinuierlicher Übergang im Meterbereich aufgeschlossen. Dabei sind im kontaktnahen Granodiorit

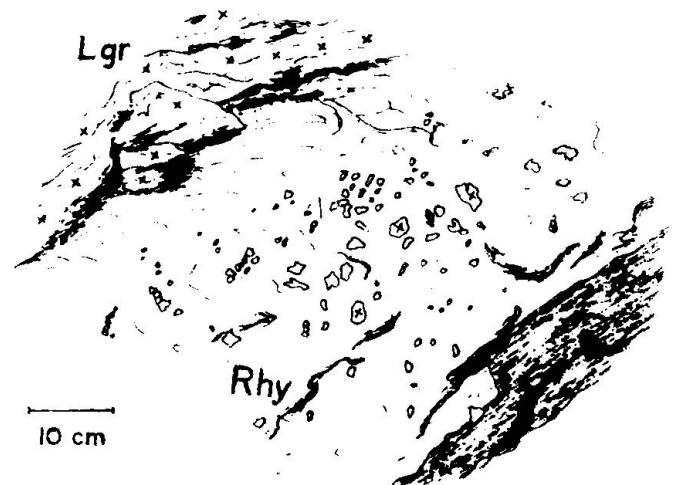


Abb. 7 Rhyolithgang am Osthang des Piz Mandra, Intrusivbrekzie am Gangrand: Eckige Leukogranitplitter stecken in einer rhyolithischen Matrix. Rechts unten der Rand eines basischen Ganges, der den Rhyolithgang durchschlägt.

Tab. 2 Ausgewählte Gesteinsanalysen: Gabbros, Diorite und Granodiorite (Kalkalkali-Serie); Proben R... nach RAGETH (1984). Bestimmung der Haupt- und Spurenelemente mit Röntgenfluoreszenz-Spektrometer Philips PW 1450 an der EMPA Dübendorf. FeO wurde nasschemisch bestimmt, H₂O wurde aus dem Glühverlust und der Oxidation von FeO errechnet. Für die Hauptelemente sind die analytischen Fehler 50 ± 0.5 Gew.%, 10 ± 0.2%, 5 ± 0.15%, 1 ± 0.05%, und für die Spurenelemente 1000 ± 50 ppm, 100 ± 10 ppm, 10 ± 2 ppm, 1 ± 0.5 ppm (Referenz: NISBET et al., 1979).

	C 80 Gab.	C 66 Gab.	D 27 fDi.	D 49 oDi.	C 77 Grd.	C 100 Grd.	C 24 Grd.	R30 C Grd.	R105 A Grd.	
Hauptelemente (Gew.%)										
SiO ₂	46.48	48.82	52.23	55.00	61.92	64.60	66.69	66.93	68.55	
TiO ₂	1.24	1.10	1.29	2.00	0.63	0.66	0.50	0.51	0.41	
Al ₂ O ₃	18.32	18.48	15.46	16.00	16.54	15.95	15.28	15.36	15.06	
Fe ₂ O ₃	2.92	1.79	0.63	2.55	1.14	1.29	0.74	0.90	0.89	
FeO	6.90	6.75	7.35	6.35	3.50	3.50	3.10	3.15	2.35	
MnO	0.19	0.15	0.15	0.19	0.09	0.07	0.07	0.08	0.07	
MgO	6.95	5.45	6.86	2.80	2.15	1.63	1.31	1.51	1.11	
CaO	10.89	8.04	8.32	5.40	5.59	4.70	3.75	3.64	3.13	
Na ₂ O	1.87	1.62	2.54	3.00	3.13	3.10	2.80	2.97	3.05	
K ₂ O	1.12	3.24	1.58	2.85	1.87	1.98	3.51	3.36	3.28	
P ₂ O ₅	0.17	0.17	0.32	1.03	0.17	0.18	0.14	0.14	0.12	
H ₂ O	2.85	3.91	2.52	2.45	2.09	1.90	1.51	1.43	1.80	
Total	99.92	99.53	99.30	99.62	98.82	99.56	99.40	99.98	99.82	
Spurenelemente (ppm)										
										NwGr
Ba	254	408	434	764	285	503	652	528	521	< 5
Rb	26	151	48	100	62	72	116	173	123	< 4
Sr	267	250	387	299	372	244	172	169	175	< 3
Pb	0	21	28	22	0	0	10	90	15	< 3
Th	0	9	7	15	0	0	0	0	0	< 5
U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	< 1
Nb	0	8	10	10	0	0	0	10	8	< 3
La	0	0	0	59	0	0	0	37	26	< 15
Ce	22	19	33	42	27	36	52	60	51	< 10
Nd	25	18	23	26	0	13	14	19	0	< 10
Y	37	26	27	30	22	17	18	15	13	< 3
Zr	80	101	136	82	120	167	120	140	139	< 10
V	268	297	225	177	109	104	86	91	65	< 10
Cr	121	35	252	0	8	10	13	15	0	< 6
Ni	23	22	101	14	7	5	4	0	0	< 3
Co	39	35	46	20	18	18	17	25	18	< 8
Cu	4	15	20	6	0	0	0	0	0	< 3
Zn	105	90	95	83	49	53	45	53	45	< 3
Ga	19	15	12	15	14	15	13	14	13	< 2
Sc	59	35	26	33	11	11	13	13	9	< 1
S	447	259	1194	0	0	0	0	0	0	< 20

andeutungsweise Schieferungsstrukturen ausgebildet, während der Granit kleine granodioritische Xenolithe (Ø bis 1 cm) enthält. Der Granitkörper im Taiswald schneidet den Kontakt zwischen Granodiorit und Gabbro ab. Auch hier handelt es sich um einen diffusen Übergang, kontaktnahe Granite fallen durch dunkle Xenolithe (Ø bis 1 cm) und Rapakivstrukturen auf (Abb. 4, vgl. Lithologiebeschreibung). Im Lagrevgebiet (Julier-Decke) wurden ebenfalls Rapakivi-

granite beschrieben (BÜHLER, 1983 a, b), wobei jedoch die Kontaktverhältnisse nicht gleich zu sein scheinen.

Rhyolithgang:

Der feinkörnige Gang am Piz Chalchagn lässt sich über mehr als 2 km verfolgen. Er durchschlägt die Granite und Leukogranite und wird selbst von basischen Gängen durchschlagen. Der Gang ist am Rand feinkörniger als im Zentrum,

Tab. 3 Ausgewählte Gesteinsanalysen: Syenite, Granite, Alkalifeldspat-Granite, Leukogranite (Alkali-Serie); Probe R... nach RAGETH (1984). R25 B: Diavolezza-Rhyolith.

	B 3 Sy.	R164 A QzSy.	R95 B Gr.	D 55 Gr.	D 24 Gr.	C 73 Gr.	C 29 QPor.	D 21 Lgr.	C 104 Agr.	R25 B Rhy.
Hauptelemente (Gew.%)										
SiO ₂	62.73	67.47	69.47	70.90	73.15	73.80	74.30	76.46	78.76	78.10
TiO ₂	0.42	0.37	0.24	0.42	0.27	0.24	0.16	0.09	0.07	0.08
Al ₂ O ₃	18.61	15.76	14.97	13.43	13.78	13.28	12.08	12.75	12.30	12.22
Fe ₂ O ₃	1.22	1.97	1.75	0.80	1.40	1.38	0.47	0.65	0.64	0.52
FeO	1.55	1.80	0.70	2.15	0.55	0.50	0.80	0.35	0.35	0.40
MnO	0.05	0.09	0.08	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02	0.00	0.01
MgO	0.70	0.30	0.41	0.42	0.18	0.30	0.00	0.00	0.00	0.08
CaO	1.16	0.87	0.80	1.59	1.02	1.14	1.09	0.33	0.08	0.03
Na ₂ O	5.21	4.19	3.97	2.83	3.59	3.76	3.06	3.55	1.87	2.49
K ₂ O	6.66	6.12	5.75	5.05	4.87	4.53	4.62	4.91	4.62	5.53
P ₂ O ₅	0.10	0.04	0.03	0.11	0.07	0.07	0.04	0.03	0.02	0.02
H ₂ O	1.35	0.74	1.05	0.83	1.30	1.30	1.90	0.46	0.91	0.61
Total	99.76	99.72	98.92	98.58	99.79	100.33	98.54	99.60	99.62	100.09
Spurenelemente (ppm)										
Ba	258	235	80	269	238	153	219	16	30	95
Rb	147	129	153	86	187	200	160	333	308	224
Sr	83	21	14	103	100	56	43	0	9	0
Pb	34	22	0	5	25	22	23	20	0	8
Th	21	0	13	0	18	0	18	23	32	11
U	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nb	22	18	10	5	14	11	6	15	41	21
La	157	36	165	52	36	35	47	0	0	0
Ce	232	74	278	98	85	68	95	40	66	20
Nd	111	30	116	48	31	27	36	0	23	15
Y	58	26	36	39	38	40	25	48	61	30
Zr	487	778	513	360	225	227	147	120	167	170
V	32	0	0	26	23	0	11	0	0	6
Cr	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0
Ni	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
Co	0	15	0	13	14	10	11	10	0	22
Cu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zn	68	63	39	66	42	63	17	33	0	38
Ga	16	18	14	13	11	15	5	16	0	13
Sc	8	17	6	6	3	2	3	0	0	2
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Entglasungsstrukturen sind nicht sichtbar. Bei Pt. 789 650 / 145 890 / 2942 ist gegen den Leukogranit eine wenige Zentimeter mächtige Brekzie mit scharfkantigen Leukogranittrümmern ausgebildet (Abb. 7).

Gesamtgesteinschemie

Während es im westlichen Berninagebiet wesentlich ältere Untersuchungen gibt (STAUB, 1915), wurde die Gesamtgesteinschemie der Kristalline der östlichen Bernina (Altkristallin, Intrusiva, Extrusiva) erst von RAGETH (1982, 1984),

EIKENBERG (1983) und BÜCHI (1987) untersucht. HERMANN und MÜNTENER (1992) beschreiben variskische Granite in der Sella-Decke (Bernina-Decke s.l.), die geochemisch der Kalkalserie zuzurechnen sind. Für eine regionale Betrachtung der Geochemie der variszischen unterostalpinen Magmatite vgl. auch SPILLMANN et al. (1993). Die Magmatite der Bernina-Decke wurden von RAGETH (1982, 1984) als Produkte einer kalkalkalischen Diorit-Granodiorit-Serie und einer alkalischen Quarzsyenit-Alkalifeldspatgranit-Rhyolith-Serie interpretiert. Dies entspricht auch der Situation im R1-R2-Diagramm nach DE LA ROCHE (1977; vgl. EGGENBERGER, 1990; BONIN

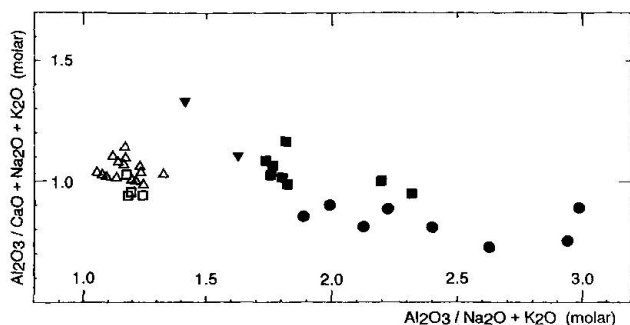


Abb. 8 Diagramm $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ gegen $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$: Kalkkalkalserie: ● Gabbro/Diorit, ■ Granodiorit, ▼ Granit (Sella-decke, Daten nach M. WEISS, 1992); Alkaliserie: □ Syenit, △ Granit/Leukogranit. $A/\text{CNK} > 1$: peralumin; $A/\text{NK} > 1 > A/\text{CNK}$: metalumin; $1 > A/\text{NK}$: peralkal in (SHAND, 1947).

et al., 1993). Im Diagramm von BATCHELOR et al. (1985) folgen die Gabbros, Diorite und Granodiorite dem kalkkalkalischen pre-plate-collision-Trend, die Syenite und Granite dem alkalischen late/post-orogenic-Trend (BONIN et al., 1993). Deutlich ist die geochemische Trennung von Alkali- und Kalkkalkaligesteinen in den Ti/Zr -, Zr/SiO_2 - und Sr/SiO_2 -Verhältnissen (RAGETH, 1984) und im AFM-Diagramm (SPILLMANN et al., 1993). Im untersuchten Gebiet gehören alle Plutonite, auch die neubeschriebenen Gabbros, Syenite und Leukogranite zu diesen zwei Serien, wobei die gabbroiden Gesteine aus der Umgebung von Pontresina (SiO_2 -Gehalt 46.5–53.1 Gew.%) der Kalkkalkalserie, die Syenite (SiO_2 -Gehalt 62.5–62.9 Gew.%) und die hochsauen Leukogranite (SiO_2 -Gehalt 76–79 Gew.%) der Alkaliserie zugeordnet werden können (Tab. 2, 3). Der Chemismus der Leukogranite ist weitgehend identisch mit demjenigen der von RAGETH (1984) beschriebenen Diavolezza-Rhyolithe.

Al/Ca+Na+K-Verhältnisse:

Im Diagramm $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (= A/NK) gegen $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (= A/CNK) ist eine deutliche Trennung zwischen Alkali- und Kalkkalkaligesteinen erkennbar (Abb. 8). Die Kalkkalkaligesteine weisen ein deutlich höheres A/NK -Verhältnis auf als die Alkaligesteine. Bei den Kalkkalkaligesteinen ist, im Gegensatz zu den Alkaligesteinen, ein deutlicher Trend von den basischen zu den sauren Gesteinen sichtbar. Die alkalischen Granitoide haben A/CNK -Werte von 0.99–1.13 und A/NK -Werte von 1.06–1.33; die A/CNK -Werte der Kalkkalkali-Granitoide sind 0.95–1.33, die A/NK -Werte 1.42–2.31. Die Granitoide beider Differentiationsreihen sind überwiegend peralumin ($A > \text{CNK}$), selten metalumin

($\text{CNK} > A > \text{NK}$; Klassifikation nach SHAND, 1947; CLARKE, 1992).

Y+Nb/Rb-Diagramm:

Bei ähnlich hohen Rb-Werten weisen die Syenite und Granite der Alkaliserie allgemein höhere Y+Nb-Werte auf als die kalkkalkalischen Granodiorite (Abb. 9). PEARCE et al. (1984) verwenden dieses Diagramm zur Unterscheidung der tektonischen Verhältnisse, unter denen die granitischen Gesteine entstanden sind. Die kalkkalkalischen Granodiorite und Granite fallen dabei ins volcanic-arc-Feld, während die Gesteine der Alkaliserie einen Übergangscharakter zwischen volcanic-arc-, syn-collision- und within-plate-Granit aufweisen. Granite mit einem solchen Übergangscharakter können als post-collision-Granite gedeutet werden (PEARCE et al., 1984). BONIN et al. (1993) bestimmen die spätvariskischen subalkalinen Granitassoziationen in geologisch vergleichbaren Gebieten (Aarmassiv, Mont Blanc, Gotthard) als A-Typ-Granite. Die Analyse der Berninadaten mit anderen Modellen zur Unterscheidung der Granittypen nach ihrer Genese (CHAPPELL and WHITE, 1974; HARRIS, 1986; ROGERS, 1990) ermöglichen zwar keine genauere Präzisierung, stützen aber tendenziell die Interpretation der Alkaligesteine als post-collision-Bildungen. Für eine endgültige Verifizierung feh-

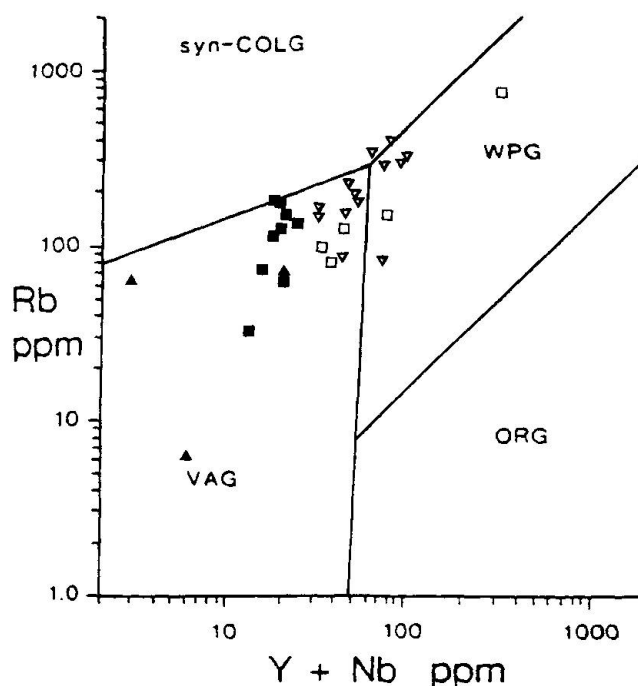


Abb. 9 Y+Nb/Rb-Diagramm (nach PEARCE et al., 1984): Kalkkalkalserie: ■ Granodiorit, ▲ Granit (Sella-decke, nach M. WEISS, 1992); Alkaliserie: □ Syenit, △ Granit/Leukogranit.

len jedoch $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Daten und REE-Analysen der Granitoide.

Fe³⁺/Fe_{tot}-Verhältnisse, magmatische Kontamination der kontaktnahen Alkaligesteine:

Die beiden Serien unterscheiden sich deutlich in den Fe³⁺/Fe_{tot}-Verhältnissen (Mol%; Fig. 10): Kalkalkaligesteine haben Werte von 0.08–0.30, kontaktfernere Syenite und Granite des Piz Chalchagn haben Werte von 0.41–0.95 (Fe³⁺-Wert für Magnetit = 0.66). Hohe Werte korrelieren mit dem Auftreten von Hämatit im Gestein, bei tiefen Werten fehlt Hämatit (Beobachtungen im Anschliff, vgl. Tab. 1). Kontaktnahe Syenite und Granite, Rapakivigranite aus dem Taiswald und der Quarzporphyrgang von Pontresina zeigen Fe³⁺/Fe_{tot}-Werte von 0.22–0.35 und weisen auch höhere Ca-Gehalte (1.46–2.35 Gew.% CaO) auf als kontaktferne Alkaligesteine (0.08–1.16 Gew.% CaO), was auf eine kontaktnahe Beeinflussung des alkalischen Magmas hinweist (vgl. Intrusions- und Kristallisationsabläufe).

Rhyolithgang:

Der Rhyolithgang am Piz Chalchagn weicht in seiner Spurenelementverteilung von den anderen Gesteinen ab. Verglichen mit den Graniten, Leukograniten und den Rhyolithen der Diavolezza sind inkompatible Elemente etwas häufiger, ebenso Zn und Ga (BÜCHI, 1987). Vermutlich handelt es sich um das hochdifferenzierte Produkt einer alkalischen Schmelze. Eine geochemische Zuordnung des Rhyolithgangs zu den Gesteinen der Alkaliserie ist nicht eindeutig möglich.

Intrusions- und Kristallisationsabläufe

Die kalkalkalischen Plutonite dringen während der variskischen Gebirgsbildung in variskisch metamorphe Gneise und Glimmerschiefer ein, zeigen jedoch selbst keine variskisch-metamorphe Überprägung. Mit Hilfe des von HOLLISTER et al. (1987) überprüften Amphibol-Barometers von HAMMARSTRÖM und ZEN (1986) konnte der Druck in der Erstarrungstiefe der kalkalkalischen Gesteine auf < 3 kbar bestimmt werden (Al_{tot}: 0.9–1.3 FE, p: 0.61–2.62 kbar, Erstarrungstiefe < 10 km; BÜCHI, 1987). In einer sehr späten Gebirgsbildungsphase dringen alkalische Plutonite ein. Über den Plutoniten werden subaerisch Vulkanite abgelagert. U-Pb-Abkühlungsalter der magmatischen Gesteine betragen (VON QUADT et al., 1994): Granodiorit (Kalkalkali-Serie): 333 ± 6 Ma, Granit (Alkali-Serie): 295 ± 12 Ma, Granit der Julier-Decke (Alkali-Serie): 292 ± 6 Ma, Diavolezza-Rhyolith: 288 ± 7 Ma.

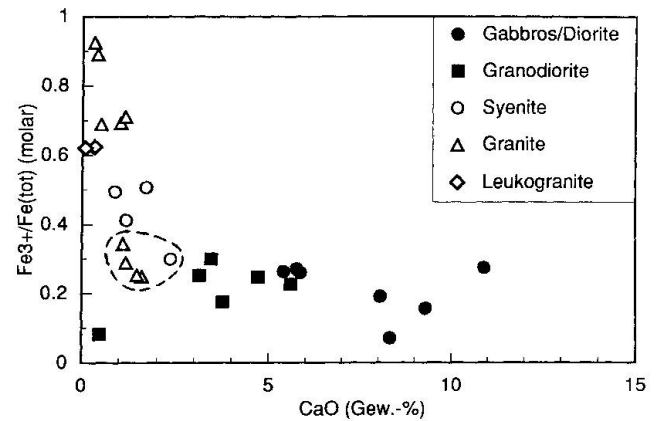


Fig. 10 Fe³⁺/CaO-Diagramm der Intrusiva: Fe³⁺ als Verhältnis Fe³⁺/Fe_{tot} (molar), CaO in Gew.%; umrahmte Punkte: kontaktnahe Alkaligesteine.

Feinkörnige Basika der Chünetta:

Bei der Chünettazone («Einschmelzzone von Morteratsch» nach STAUB, 1946) handelt es sich um die in der Talsohle angeschnittene Kontaktzone der basischen Plutonite zum Altkristallin, wobei der Kontakt in einer späteren Phase von den Granodioriten und den Graniten durchschlagen wurde.

BÜHLER (1983a) deutete im Lagrev-Gebiet die feinkörnigen mafischen Gesteine als Abschreckungsprodukte der noch zähflüssigen, basischen Schmelze bei der Platznahme des kälteren granodioritischen Magmas. Bei Pontresina bleiben die Gabbros bis an den Kontakt zu den Granodioriten grobkörnig, waren also beim Eindringen der Granodiorite schon vollständig erstarrt. Für die feinkörnigen Basika der Chünetta scheint eine Abschreckung beim Eindringen der granodioritischen Schmelze daher wenig wahrscheinlich. Vielmehr dürfte es sich hier um die abgeschreckte Randfazies der gabbroiden Gesteine im Kontakt mit dem Altkristallin handeln.

f(H₂O) in den Kalkalkaligesteinen:

Von Amphibolen ummantelte Biotitkumulate in den Gabbros (Abb. 2) belegen eine Frühauscheidung von Biotit und weisen auf ein hohes f(H₂O) hin (WONES und GILBERT, 1982), cummingtonitische Amphibole als primärmagmatische Bildung, wie sie in den ophitischen Dioriten gefunden wurden, bedingen ein p_{H₂O} > 0.7–0.8 p_{tot} (WOOD und CARMICHAEL, 1973). Primärmagmatische Cummingtonite wurden auch in den Granodioriten des Lagrevkessels gefunden (BÜHLER, 1983 a, b), das Auftreten von Cummingtoniten scheint ein typisches Merkmal der Julier-Bernina-Granodiorite zu sein.

Syenite und ophitische Diorite der Chünetta:

Die Syenite und die grobkörnigen ophitischen Diorite liegen am Rand grösserer Granit- bzw. Granodioritkörper. Aufgrund der diffusen Übergänge im Zehn- bis Hundertmeter-Bereich werden die beiden Lithologien als Randvarietäten der Granite bzw. Granodiorite gedeutet. Das Entstehen von Dioriten mit ophitischem Mineralgefüge dürfte das Resultat eines gravitativen Schichtungseffektes in der granodioritischen Schmelze sein, das Entstehen der Syenite ist wahrscheinlich ebenfalls das Resultat eines internen Differentiationsprozesses in der Granit-schmelze.

Granite, Alkalifeldspat-Granite und Leukogranite:

Zwischen Graniten und Alkalifeldspat-Graniten sind keine Übergangsstrukturen entwickelt. Intrusivkontakte sind nicht feststellbar. Offensichtlich sind die fluoritführenden Alkalifeldspat-Granite eine Randvarietät der Granite. Die Leukogranite werden aufgrund des grobkörnigen Eutektgefüges als ein In-situ-Restdifferenziat interpretiert, d.h. beim Auskristallisieren des granitischen Magmas wurde die Restschmelze in Kanälen und Blasen diapirartig gesammelt und erstarrte als kleine Leukogranitkörper. Alle plutonischen Gesteine der Alkaliserie sind wahrscheinlich Produkte einer In-situ-Differentiation der eingedrungenen Schmelze.

Granodiorit-Granit-Kontakt:

Die Granite der Alkaliserie dringen in die Granodiorite ein (Altersdifferenz 38 ± 18 Ma; U-Pb-Alter, VON QUADT et al., 1994). Randliche Verschieferung des Granodiorits gegen den Granit, Kontamination kontaktnaher Granite mit Ca-reichem Material (vgl. Gesamtgesteinschemie), die Ausbildung von Rapakivi-Strukturen und die diffusen Übergänge zwischen den Lithologien weisen auf ein randliches Aufschmelzen des Granodiorites durch das eingedrungene alkalische Magma hin, wobei die granitische Schmelze durch granodioritisches Material kontaminiert wurde. Im Gegensatz dazu hat der Quarzporphyrgang bei Pontresina Abschreckungsränder, was darauf hinweist, dass der Granodiorit zum Zeitpunkt der Intrusion bereits abgekühlt war. Die Granit-schmelze war aber offensichtlich genügend heiss, um den Granodiorit im Kontaktbereich wieder aufzuschmelzen.

Alkaliserie und Diavolezza-Rhyolithe:

Die Diavolezza-Rhyolithe wurden von RAGETH (1984) aufgrund ihrer Geochemie als hochsaure Restdifferenziate der Alkaliserie interpretiert.

Diese Interpretation erforderte jedoch eine Erklärung des Feldbefundes, denn die Diavolezza-Rhyolithe wurden subaerisch abgelagert, wobei ein direkter Kontakt zwischen den plutonischen Graniten der Alkaliserie und den Rhyolithen gefunden wurde (RAGETH, 1984). Zu diesem Zweck vorgenommene Altersbestimmungen an einer Granit- und einer Rhyolithprobe (U-Pb-Alter an Zirkonen; VON QUADT et al., 1994) ergaben zwischen dem Granit und dem Rhyolith eine Differenz von 7 ± 19 Ma. Eine Granit-Altersbestimmung aus der Julier-Decke ergibt eine noch geringere Altersdifferenz von 4 ± 13 Ma (VON QUADT et al., 1994). Dieses Resultat stützt die Interpretation von RAGETH (1984) und spricht gegen die von BÜCHI (1987) und SPILLMANN et al. (1993) gegebene Interpretation der Rhyolithe als von den alkalischen Plutoniten unabhängig entstandene Gesteine. Im Rosegtal wurden Übergänge zwischen plutonischen und subvulkanischen Granitvarietäten gefunden (mdl. Mitt. Tj. Peters), was als Hinweis auf ein Eindringen der Granite in ein sehr hohes Krustenstockwerk interpretiert werden kann. Vermutlich handelte es sich bei den Diavolezza-Rhyolithen um mit den Leukograniten verwandte Restschmelzen, die im Gegensatz zu diesen aber an die Oberfläche durchbrechen konnten oder vom nachstossenden Granit hochgedrückt wurden. Diese Interpretation des Feldbefundes weist auf eine postkollisionale, späte Gebirgsbildungsphase mit starker Hebung und beginnender Extension hin. Dies steht auch im Einklang mit der gleichzeitig im östlichen Teil der Berninadecke einsetzenden Ablagerung terrestrischer klastischer Sedimente, die reichlich rhyolithischen Detritus führen (Ruina- und Chazforà-Formation; vgl. SCHÜPBACH, 1976; FURRER, 1985; NAEF, 1987; SCHINDLER, 1987).

Rhyolithgang:

Der Rhyolithgang am Piz Mandra ist randlich abgeschreckt, das Umgebungsgestein wird als Brekzie mitgeschleppt. Er muss deshalb den Granitpluton nach dessen Erstarrung und Abkühlung durchschlagen haben. Aufgrund seiner von den anderen Alkaligesteinen abweichenden Spurenelementverteilung (vgl. Gesamtgesteinschemie) wird die Entstehung des Ganges als ein eigenständiges, nicht direkt mit der Bildung der übrigen Alkaligesteine zusammenhängendes Ereignis interpretiert.

Basische Gänge:

Basische Gänge durchschlagen alle anderen Lithologien. Die Kontakte zum Umgebungsgestein sind scharf, die Gangränder sind abge-

schreckt. Da sich die Gänge meist nur über wenige Meter verfolgen lassen, lässt sich über ihre Stellung nicht mehr sagen, als dass die jüngsten Gänge sicher jünger als der Rhyolithgang sind und das letzte (wahrscheinlich postvariskische) magmatische Ereignis in der östlichen Bernina darstellen.

Schlussfolgerungen

Die zwei von RAGETH (1984) ermittelten Differentiationsreihen der Bernina-Plutonite konnten ergänzt werden: Die Kalkkalkalserie umfasst jetzt Gabbros, Diorite und Granodiorite, die Alkaliserie Syenite, Granite/Alkalifeldspat-Granite, eutektische Leukogranite und Rhyolithe. Für die Kalkkalkalgesteine ist ein hohes $f(\text{H}_2\text{O})$ typisch, die Alkaligesteine weisen ein deutlich höheres $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}_{\text{tot}}$ -Verhältnis auf als Kalkkalkalgesteine. Die Kalkkalkalgesteine sind geochemisch als volcanic-arc-Produkte zu interpretieren, die Granodiorite sind in einer Tiefe von < 10 km erstarrt. Die Alkaliserie ist nach dem Feldbefund eindeutig jünger, was mit den radiometrischen Daten übereinstimmt. Geochemie und Feldbefund weisen auf ein Eindringen der alkalischen Granite am Ende der variskischen Gebirgsbildungsphase hin. Das granitische Magma war bei seiner Intrusion noch genügend heiss, um den Granodiorit im Kontaktbereich wieder aufzuschmelzen und den Granit randlich zu kontaminieren.

PETROGRAPHISCHE ENTWICKLUNG DER ÖSTLICHEN BERNINA

1) Die prävariskischen Gesteine werden amphibolitmetamorph überprägt, es bilden sich Gneise und Glimmerschiefer. Die Metamorphose ist sicher prä-namurisch, möglicherweise sogar prä-variskisch.

2) Gabbroides Magma der Kalkkalkalserie mit einzelnen ultrabasischen Schollen intrudiert das variskisch-metamorphe Altkristallin. Am Kontakt zu den altkristallinen Gesteinen bilden sich feinkörnige Gabbros und Diorite.

3) In die vollständig auskristallisierten basischen Gesteine dringt SiO_2 -reicheres kalkkalkalisches Magma ein (333 ± 6 Ma), bei der Kristallfraktionierung lagern sich randlich mineralische Frühausscheidungen als grobkörnige ophitische Diorite ab, während die Hauptmasse als grobkörniger Granodiorit auskristallisiert. Der Granodiorit zeigt einige geochemische Merkmale, die auf Entstehungsverhältnisse hinweisen, wie sie in einem Inselbogen anzutreffen sind.

4) Die kalkkalkalischen Plutonite und das variskisch-metamorphe Altkristallin werden hochgehoben und freierodiert. In diesem post-kollisionalen Stadium der Gebirgsbildung dringt alkalisches, granitisches Magma ein (295 ± 12 Ma; 292 ± 6 Ma). Dabei werden der Granodiorit und die Altkristallingesteine kontaktnah deformiert und aufgeschmolzen und der Granit teilweise mit granodioritischem Material kontaminiert. Eine magmeninterne Fraktionierung führt zur Bildung von geringmächtigen Syeniten am Rand des Granitkörpers, bei der fortschreitenden Kristallisation des Granits entstehen zunehmend alkalifeldspatreiche Varietäten und schliesslich Restschmelzen, die beim Erreichen des eutektischen Punktes als Leukogranite auskristallisieren. Zum Teil werden die Restschmelzen vom nachstossenden Granit durch den dünnen Krustendeckel ausgestossen und treten als subaerische Rhyolithe aus (288 ± 7 Ma).

5) Ein Rhyolithgang durchschlägt den erstarrten Granit.

6) Basische Gänge durchschlagen sämtliche älteren Gesteine.

7) Während der alpinen Metamorphose werden die Gesteine grünschiefermetamorph überprägt, aber nur wenig deformiert.

Verdankungen

Ein herzlicher Dank gebührt allen, die mich bei meiner Arbeit unterstützt haben, besonders den Professoren V. Trommsdorff und von Dietrich, die die vorliegende Arbeit ermöglichten und auch bei der Durchsicht des Manuskripts halfen. Gedankt sei auch R. Vogler und P. Guntli, die mich beim Erstellen der Tabellen und Graphiken unterstützten, sowie A. von Quadt für die Durchsicht des Textes und Prof. Tj. Peters für seine Anregungen. Ein spezieller Dank geht an P. Spillmann für seine überaus intensive und geduldige Kritik und für seine Anregungen, ohne die mir das Aufarbeiten meiner alten Diplomarbeit wesentlich schwerer gefallen wäre.

Literaturverzeichnis

- BATCHELOR, R.A. und BOWDEN, C. (1985): Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Chem. Geol.* 48, 43–55.
- BONIN, B., BRÄNDLEIN, P., BUSSY, J., DESMONDS, J., EGGENBERGER, U., FINGER, F., GRAF, K., MARRO, CH., MERCOLLI, I., OBERHÄNSLI, R., PLOQUIN, A., VON QUADT, A., VON RAUMER, J., SCHALTEGGER, U., STEYRER, H.P., VISONÀ, D. und VIVIER, G. (1993): Late variscan magmatic evolution of the Alpine basement. In: VON RAUMER, J.F. und NEUBAUER, F. (Hrsg.): *The Pre-Mesozoic Geology in the Alps*. Springer Verlag, Berlin, 171–201.

- BÜCHI, HJ. (1987): Geologie und Petrographie der Bernina IX. Das Gebiet zwischen Pontresina und dem Morteratschgletscher. Unpubl. Diplomarbeit Universität Zürich.
- BÜHLER, CH. (1983a): Petrographie und Geochemie im Gebiet La Tscheppa – Lagrev. Unpubl. Lizentiatsarbeit Universität Bern.
- BÜHLER, CH. (1983b): Petrographische und geochemische Untersuchungen im Gebiet La Tscheppa – Lagrev (Julier-Bernina-Decke). Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 63, 457–477.
- CHAPPELL, B.W. und WHITE, A.J.R. (1974): Two contrasting granite types. *Pac. Geol.* 8, 172–174.
- CLARKE, D.B. (1992): Granitoid rocks. *Topics in the Earth sciences*, Vol. 7, Chapman & Hall, London.
- DE LA ROCHE, H. (1977): Sur la contribution des données chimiques à une systématique générale des roches ignées. *Sci. de la terre* 21, 17–35.
- EGGENBERGER, U.: Petrographische und geochemische Untersuchungen im Gebiet zwischen St. Moritz und dem Val Bever (Unterostalpin/Err-Decke); geochemischer Vergleich mit anderen variszischen Intrusionen (Aar/Baveno/Böttstein/Bernina/Err/Julier). Unpubl. Diplomarbeit Universität Bern.
- EIKENBERG, J. (1983): Geologie und Petrographie der Bernina VIII. Unpubl. Diplomarbeit ETH Zürich.
- FURRER, H. (ed.) (1985): Field workshop on Triassic and Jurassic sediments in the Eastern Alps of Switzerland. *Mitt. Geol. Inst. ETH/Univ. Zürich*, Nr. 248.
- HAMMARSTRØM, J.M. und ZEN, E.-AN (1986): Aluminium in Hornblende: An empirical igneous geobarometer. *American Mineralogist* 71, 1297–1313.
- HARRIS, N.B.W., PEARCE, J.A. und TINDLE, A.G. (1986): Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. In: COWARD, M.P., RIES, A.C. (Hrsg.): *Collision tectonics*. *Geol. Soc. spec. Publ.* 19, 67–81.
- HAWTHORNE, F.C. (1981): Crystal Chemistry of the Amphiboles. In: VEBBLEN, D.R. (Hrsg.): *Reviews in Mineralogy*, Vol. 9A: Amphiboles and other hydrous pyriboles – mineralogy. *Mineralogical Society of America*, Washington DC.
- HERMANN, J. und MÜNTENER, O. (1992): Strukturelle Entwicklung im Grenzbereich zwischen dem penninischen Malenco-Ultramafit und dem Unterostalpin (Margna- und Sella-Decke). *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 72, 225–240.
- HOLLISTER, L.S., GRISSOM, G.C., PETERS, E.K., STOWELL, H.H. und SISSON, V.B. (1987): Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons. *American Mineralogist* 72, 231–239.
- MERCOLLI, I. und OBERHÄNSLI, R. (1988): Variscian tectonic evolution in the Central Alps: a working hypothesis. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 68, 491–500.
- NAEF, M.H. (1987): Ein Beitrag zur Stratigraphie der Trias-Serien im Unterostalpin Graubündens. *Dissertation ETH Zürich*.
- NISBET, E.D., DIETRICH, V. und ESENWEIN, A. (1979): Routine trace element determination in silicate minerals and rocks by X-ray fluorescence. *Fortschr. Mineral.* 57, 264–279.
- PEARCE, J.A., HARRIS, N.B.W. und TINDLE, A.G. (1984): Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrol.* 25/4, 956–983.
- RAGETH, R. (1982): Geologie und Petrographie der Bernina III: Diavolezza. Unpubl. Diplomarbeit ETH Zürich.
- RAGETH, R. (1984): Intrusiva und Extrusiva der Bernina-Decke zwischen Morteratsch und Berninapass (Graubünden). *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 64, 83–109.
- ROGERS, J.J.W. und GREENBERG, J.K. (1990): Late-orogenic, post-orogenic and anorogenic granites: distinction by major-element and trace-element chemistry and possible origins. *J. Geol.* 98/3, 291–309.
- SCHINDLER, U. (1987): Zur Geologie des Piz Mezsaun. Unpubl. Diplomarbeit ETH Zürich.
- SCHMID, S.M. und FROITZHEIM, N. (1993): Oblique slip and block rotation along the Engadine line. *Eclogae geol. Helv.* 86/2, 569–593.
- SCHÜPBACH, M.A. (1970): Der Sedimentzug Piz Alv – Val da Fain (Unterostalpine Decken, Berninapass). *Vjschr. Natf. Ges. Zürich* 115, 231–237.
- SCHÜPBACH, M.A. (1976): Tektonik im Gebiet des Berninapasses und der Val Chamuera. *Eclogae geol. Helv.* 69/1, 63–73.
- SHAND, S.J. (1947): *Eruptive rocks. Their genesis, composition, classification and their relation to ore deposits.* Wiley & Sons, New York.
- SPILLMANN, P. (1993): Die Geologie des penninisch-ostalpinen Grenzbereichs im südlichen Berninagebirge. *Dissertation Nr. 10'175*, ETH Zürich.
- SPILLMANN, P. und BÜCHI, HJ. (1993): The pre-Alpine Basement of the Lower Austroalpine Nappes in the Bernina Massif (Grisons, Switzerland; Valtellina, Italy). In: VON RAUMER, J.F. und NEUBAUER, F. (Hrsg.): *The Pre-Mesozoic Geology in the Alps.* Springer Verlag, Berlin.
- STAUB, R. (1915): Petrographische Untersuchungen im westlichen Berninagebirge. *Vjschr. Natf. Ges. Zürich* 60, 55–336.
- STAUB, R. (1916): Tektonische Studien im östlichen Berninagebirge. *Vjschr. Natf. Ges. Zürich* 61, 324–404.
- STAUB, R. (1946): Geologische Karte der Berninagruppe 1 : 50'000. *Spez.-Karte 118*; Schweiz. Geol. Komm., Basel.
- VON QUADT, A., GRÜNENFELDER, M. und BÜCHI, HJ. (1994): U–Pb zircon ages from different igneous rocks of the Bernina nappe system (Grisons, Switzerland). *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 74/3, 373–382.
- WEISS, M. (1992): Geologische Untersuchungen südlich und südwestlich des Monte Disgrazia, im Valle di Scermedone und im Valle di Preda Rossa; Teil 2 (Val Masino, Prov. Sondrio, Italien). Unpubl. Diplomarbeit ETH Zürich.
- WONES, D.R. und GILBERT, M.C. (1982): Amphiboles in the Igneous Environment. In: VEBBLEN, D.R. und RIBBE, P.H. (Hrsg.): *Reviews in Mineralogy*, Vol. 9B: Amphiboles: Petrology and Experimental Phase Relations. *Mineralogical Society of America*, Washington DC.
- WOOD, R.J. und CARMICHAEL, I.S.E. (1973): P(total), P(H₂O) and the occurrence of Cumingtonite in volcanic rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.* 40, 149–158.

Manuskript eingegangen 6. Juni 1993; revidierte Fassung angenommen 2. Mai 1994.

Leere Seite
Blank page
Page vide

Hr. BÜCHI
 Tafel 1 Geologische Kartenskizze zwischen Val Roseg und Val d'Arlas. Kartenaufnahme westlich Val Morteratsch: BÜCHI (1987), östlich Val Morteratsch: RAGETH (1982, 1984).

BD: Bernina Diavolezza, BP: Berninapass, CH: Chünetta, CP: Chalchagn Pitschen, D: Diavolezza, LD: Lej da Diavolezza, LP: Lej Pitschen, MP: Munt Pers, MS: Morteratsch Station, PA: Piz d'Arlas, PC: Piz Chalchagn, PM: Piz Mandra, PO: Pontresina, PT: Piz Trovat, T: Tais.

