

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

Band: 44 (1964)

Heft: 1

Artikel: Die Kontaktgesteine im Albigna- und Fornostollen (nördliches Bergeller
Massiv)

Autor: Weibel, Max / Locher, Thomas

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-34333>

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: 09.07.2025

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

Die Kontaktgesteine im Albigna- und Fornostollen (nördliches Bergeller Massiv)*)

Von *Max Weibel* und *Thomas Locher* (Zürich)

Mit 7 Textfiguren und 3 Tafeln

Abstract

The Tertiary granodioritic Bergell Massive situated between the Bergell Valley (Grisons, Switzerland) and Valtellina (Sondrio, Italy) is intrusive in its northern part into the following four complexes: gneisses (Suretta), dolomites (Triassic), schists (Bündnerschiefer and Fedoz series), and basic rocks (Mesozoic ophiolites). The Albigna and Forno Hydroelectric Water Tunnels cut the northernmost granodiorite and the adjacent contact rocks. Geologic observations made during the cutting of the tunnels are reported. The most abundant contact minerals are biotite, hornblende, diopside, wollastonite, grossularite, and vesuvianite. Ilmenite is the commonest opaque mineral in the contact rocks. Chemical analyses are given for separated samples of common hornblende (Al_2O_3 content 11.0 %), diopside (74 mol % diopside, 22 hedenbergite, 2 jadeite, 1 johannsenite), and garnet (80 mol % grossularite, 15 andradite, 3 pyrope). The contact metamorphism belongs to the hornblende-hornfels facies. A series of unusual tunnel photographs is included in the paper.

Inhalt

Vorwort	158
Einleitung	158
Geologische Beobachtungen im Albignastollen	159
Geologische Beobachtungen im Fornostollen	171
Mineralogische und chemische Untersuchungen an den Kontaktgesteinen	173
Zur Kontaktmetamorphose am Nordrand des Bergeller Massivs	183
Literatur	185

*) Dem Andenken an Rudolf Staub (1890—1961) gewidmet.

Gedruckt mit Unterstützung der Schweizerischen Geologischen Kommission.

Vorwort

In einer früheren Arbeit (WEIBEL, 1960) behandelte der eine der Verfasser die granodioritischen Intrusivgesteine im Albignastollen. Die einzigartigen Kontakterscheinungen, die im Verlauf der Stollenarbeiten kurzzeitig aufgeschlossen waren, sollten ursprünglich nach dem Wunsch von Rudolf Staub im Rahmen eines Farbbildwerkes festgehalten und beschrieben werden. Da die hinterlassenen Photographien für ein derartiges Unternehmen nicht ausreichten, entstand zusammen mit der petrographischen Untersuchung der Stollenbelegsammlung die vorliegende Arbeit.

Beide Verfasser kennen die Stollen aus eigener Anschauung. Der ein von uns (Locher) arbeitete als Geologe bei der Bauherrschaft der Bergeller Kraftwerke und trug die geologischen Beobachtungen bei. Der andere Verfasser (Weibel) führte die petrographischen Untersuchungen mit den chemischen Analysen aus und stellte das Manuskript zusammen. Herr Prof. Dr. Gansser, ohne dessen Initiative die Arbeit nicht zustande gekommen wäre, sei an dieser Stelle für seine Unterstützung herzlich gedankt, ebenso der Stadt Zürich, die uns als Bauherrin überall Entgegenkommen zeigte. Das Gesteinsmaterial ist im Institut für Kristallographie und Petrographie der ETH und im Geologischen Institut der ETH deponiert.

Einleitung

Das Bergeller Massiv, das nur mit seiner nördlichen, teils vergletscherten Hälfte auf Schweizergelände herüberreicht, gehört zu der Reihe jungalpidischer Intrusionen, die sich dem Innenrand des Alpenbogens entlang erstrecken. Nach den geologischen Befunden ist die Bergeller Intrusion ins Oligozän zu stellen, womit auch eine annäherungsweise radioaktive Altersbestimmung von GRÜNENFELDER und STERN (1960) in Einklang steht. Den nördlichen Teil des Bergeller Massivs bauen Granodiorite auf, die gegen Süden im Val Masino teils von basischeren Gesteinen quarzdioritischen und dioritischen Charakters abgelöst werden. Bis jetzt liegt keine vergleichende Arbeit über das ganze Massiv vor, das sich mit seinem westwärts gerichteten Sporn bis über den Comersee hinüber erstreckt.

Durch den Bau des Albigna- und Fornostollens der Bergeller Kraftwerke wurden im nördlichsten Zipfel des Massivs ideale Aufschlussver-

hältnisse geschaffen, wie man sie an der Oberfläche trotz der starken Erosion und der Steilheit des Geländes in diesem Gebiet niemals findet. Manche Partien des Bergeller Massivs sind wegen der Wildheit der Berge überhaupt fast unzugänglich, oder riesige Schuttansammlungen verdecken den anstehenden Untergrund. Ein Studium der völlig frischen Gesteine entlang dem Albigna- und Fornostollen erschien daher verlockend.

Das in dieser Arbeit entworfene Bild der Kontaktverhältnisse ist nur für den Norden und Osten der Intrusion charakteristisch. Im Süden und Westen des Massivs finden wir eine grossräumigere, andersgeartete Metamorphose vor, die auf ursprünglich mächtigere Überdeckung jener Gebiete schliessen lässt. Die im Albigna- und Fornostollen angetroffenen Kontaktmineralien kennt man schon lange vom Nordrand des Bergeller Massivs, und in noch grösseren und schöneren Exemplaren kommen sie auch am Ostrand im oberen Val Malenco vor. Eine systematische Bearbeitung ist zwar vordem nie erfolgt, und obwohl diese Bildungen einen häufigen Fall der Kontaktmetamorphose darstellen, sind entsprechende Phänomene nirgends in den Schweizer Alpen in solcher Grossartigkeit und Eindringlichkeit zu sehen wie gerade im Bergell.

* * *

Die verwendete Stollenmetrierung bezieht sich auf die Fliessrichtung in den Stollen und nimmt ihren Anfang beim Staubecken Albigna, beziehungsweise bei der Wasserfassung Plancanin. In der früheren Arbeit von WEIBEL (1960) musste noch die Vortriebsmetrierung benutzt werden, die vom Wasserschloss Murtaira ausging.

Geologische Beobachtungen im Albignastollen

Vom Einlaufbauwerk in der östlichen Flanke des Felsriegels der Staumauer Albigna auf Kote 2058 führt der Druckstollen das Albignawasser über eine Strecke von 4697 Metern zum Wasserschloss Murtaira. Dort schiesst das Wasser über eine Gefällsstufe von 509 Metern durch Druckschacht und Druckleitung auf die Turbinen im Maschinenhaus Löbbia.

Das Staubecken Albigna liegt vollständig innerhalb des Bergeller Massivs, wobei der kürzeste Horizontalabstand zum Kontaktrand ca.

1500 Meter misst. Der Druckstollen verläuft in NE-Richtung zuerst ungefähr parallel zum aufgeschlossenen Massivrand in einem Horizontalabstand, der allmählich von 1500 auf 1000 Meter abnimmt. Bei Meter 3600 vom Staubecken aus dreht der Stollen nach N ab, durchfährt die komplexe Kontaktzone bis zum Wasserschloss Murtaira und befindet sich bereits am Beginn des Druckschachtes in den Gneisen der Suretta-decke.

Die beim Vortrieb angetroffenen Felsverhältnisse waren stollenbautechnisch fast durchwegs gut bis vorzüglich. Die in einzelnen Zonen relativ starke Klüftung des Gebirges fiel zufolge des kleinen Stollenprofils von 2,5 Meter nicht stark ins Gewicht. Es musste nur an wenigen, stark zerrissenen Stellen ein leichter Einbau erstellt werden.

Die Tendenz zu Bergschlag erwies sich gegenüber den Erwartungen als eher gering. In den gesunden, kompakten Felspartien fanden jeweilen nach dem Ausbruch schalenförmige, zentimeter- bis dezimeterdicke Ablösungen statt. Oft erfolgten diese Ablösungen momentan mit einem schussartigen Knall, doch blieb die abgelöste Partie meist haften, wenn sie sich nicht im First befand, oder löste sich erst nach einer gewissen Zeit vollständig. Durch Anschlagen mit dem Hammer konnten die hohlen Stellen gut abgetastet werden. Erhöhte Tendenz zu solchen Ablösungen zeigte sich von Meter 640 bis 790 und von 1750 bis 2720. Der zweite Abschnitt befindet sich im Gebiet der grössten Überdeckung von 500 bis 600 Meter.

Die stark zerklüfteten Partien waren durchwegs wasserführend. Zu grösseren Wasserzuflüssen kam es in den äusseren Stollenabschnitten mit wenig Überdeckung, vor allem unter dem Kar der Cima di Murtaira, wo auch die Wassertemperatur mit 2—4° auffallend tief war (Einfluss von Toteismassen?). Die Stollentemperaturen waren nirgends erhöht, im Gegenteil in den wasserführenden Abschnitten sehr niedrig.

a) GEOLOGISCHES STOLLENPROFIL

Das heute ausbetonierte Profil des Druckstollens lieferte einen grossartigen Einblick über fast 5 Kilometer in die innerstrukturellen Verhältnisse eines Teils des Bergeller Massivs und seiner Kontaktzone. Im Granodiorit war vor allem die starke Inhomogenität auffallend, was ja auch an der Oberfläche sichtbar ist, im Stollen aber längs eines kontinuierlichen Profils vor Augen trat. Eine Vorstellung vermitteln die photographischen Aufnahmen und die Ausschnitte aus dem Stollenprofil.

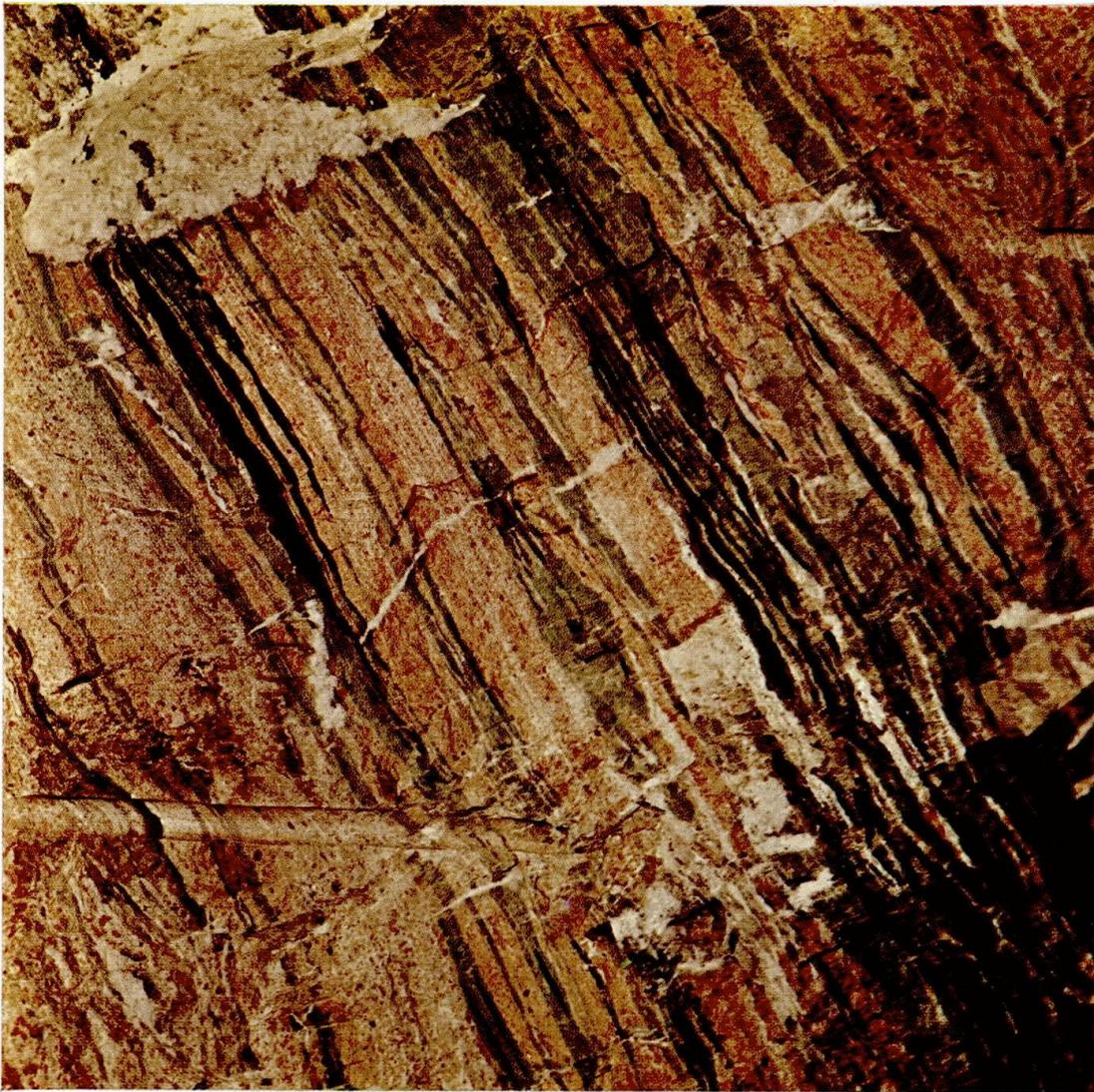


Fig. 1. Gebänderter Kalksilikatfels aus dem Albignastollen, Meter 4549. Rotweisse Lagen von Granat-Wollastonitfels wechseln mit grünen, diopsidreichen Bändern ab. Dazwischen erscheinen schwarze Biotitschiefer als dünne Strähnen eingelagert. Links oben und in der rechten untern Hälfte treten jüngere Quarzadern auf. Links unter dem Bohrloch erkennt man vereinzelte, dunkelrote Einsprenglinge von Vesuvian. Aus diesem Stollenabschnitt stammen die analysierten Mineralproben von Granat, Diopsid und Hornblende. Die häufigen Amphibolitlagen fehlen zufällig auf diesem Bild.



Fig. 2a.

Fig. 2a, b. Hellerer und dunklerer Granodiorit mit einer feinkörnigen, biotitreichen Partie dazwischen, Albignastollen, Meter 3597. In der biotitreichen Zone lassen sich einzelne noch dunklere Schollen feststellen. Daneben erscheinen grosse Kaliumfeldspäte, die viel Biotit und Plagioklaseinschlüsse enthalten. Die Feldspäte treten



Fig. 2b.

nur auf der Seite gegen den helleren Granodiorit auf und dürften von hier aus in die biotitreiche Partie hineingewachsen sein. Die auffällige Parallelstellung hängt vermutlich mit der Textur zusammen. Allgemein muss man annehmen, dass die Feldspatporphyroblasten auch im Granodiorit teilweise nachträgliche Bildungen sind.

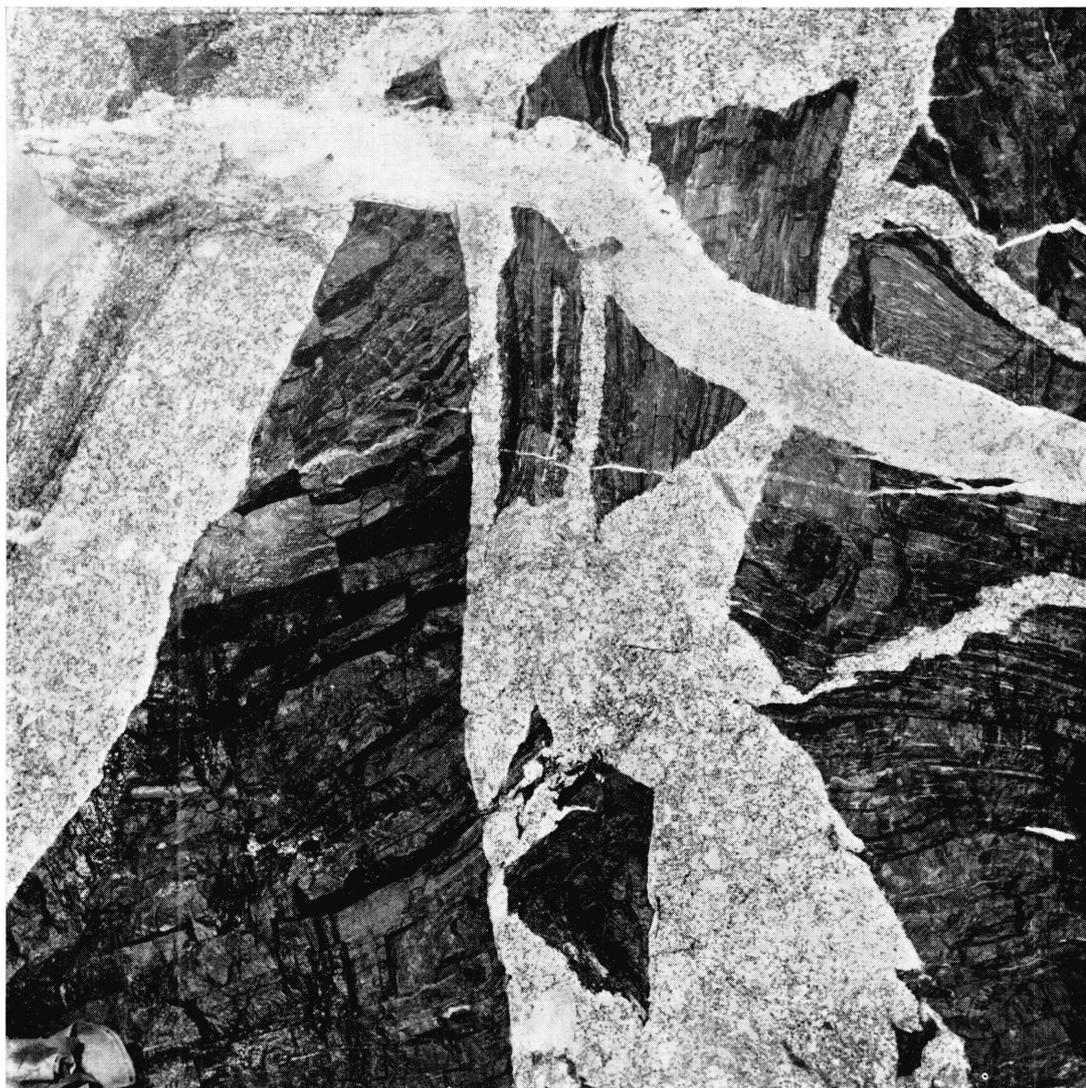


Fig. 3a.

Fig. 3a, b. Schollen von lagigem Amphibolit neben Granodiorit, Albignastollen, Meter 3814. Die einzelnen Schollen sind in der verschiedensten Weise gegeneinander verdreht. An den Kontaktflächen von Amphibolit und Granodiorit nimmt man keinerlei Umwandlungen wahr. Auch Einschmelzerscheinungen treten hier nicht

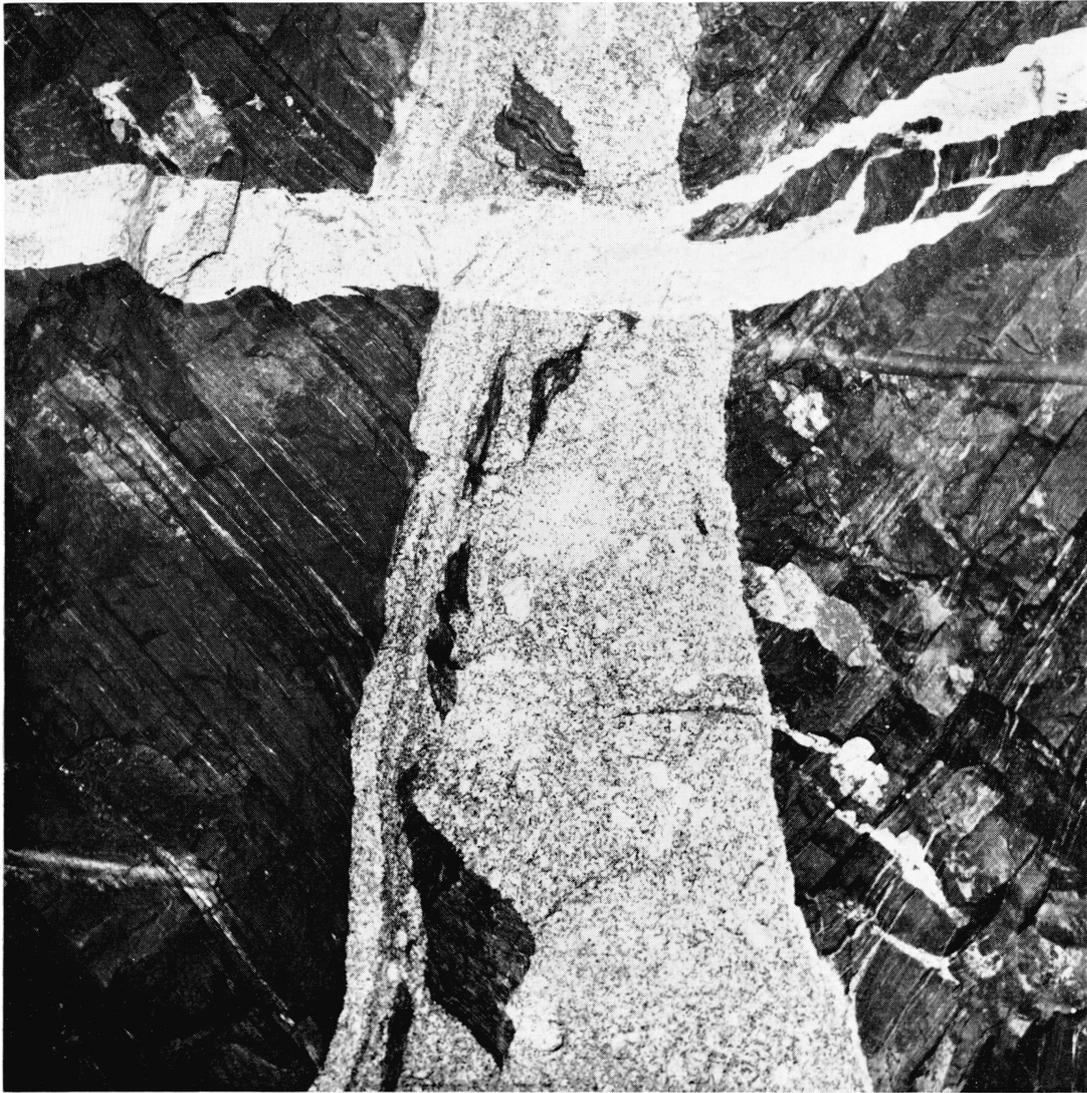


Fig. 3b.

auf. Der anstehende Amphibolit wurde durch den empordringenden Granodiorit in einzelne Schollen zerbrochen. In den oberen Bildhälften durchziehen Adern von feinkörnigerem Granodiorit die andern Gesteine und versetzen teilweise die älteren Gänge.



Fig. 4. Hellerer und dunklerer Granodiorit mit feinkörnigen Schollen, Albignastollen, Meter 3004. Die Helligkeit des Gesteins ist stark von der Ausbildung des Biotits abhängig. In der chemischen und mineralogischen Zusammensetzung kann man keine wesentlichen Unterschiede feststellen. Der Granodiorit des Bergeller Massivs ist durchweg sehr inhomogen und zeigt häufig solche Wechsel im äusseren Aspekt. Die beiden Gesteinstypen auf dem Bild dürften etwa gleichzeitig aus der Tiefe hochgekommen sein, während die schmale, horizontale Ader später entstanden ist. Vereinzelt, grosse Feldspäte durchdringen manchmal die Kontaktflächen.



Fig. 5. Biotitreiche Schollen im Granodiorit, Albignastollen, Meter 3625. Eine derartige Scholle aus diesem Abschnitt (Meter 1067 ab Murtaira) ist in der Arbeit von WEIBEL (1960) analysiert. Die Zusammensetzung dieser Schollen ist quarzdioritisch. Im Vergleich zum umgebenden Granodiorit sind der Eisen-, Magnesium- und Calciumgehalt höher, während Kieselsäure und Kalium tiefer liegen. Stellenweise haben diese Schollen, die in ähnlicher Form im ganzen nördlichen Bergeller Massiv verbreitet sind, unscharfe Ränder. Im Stollen konnten alle Übergangsstadien von eingeschlossenen Gneisbrocken bis zu solchen dunklen, fast massigen Schollen beobachtet werden.

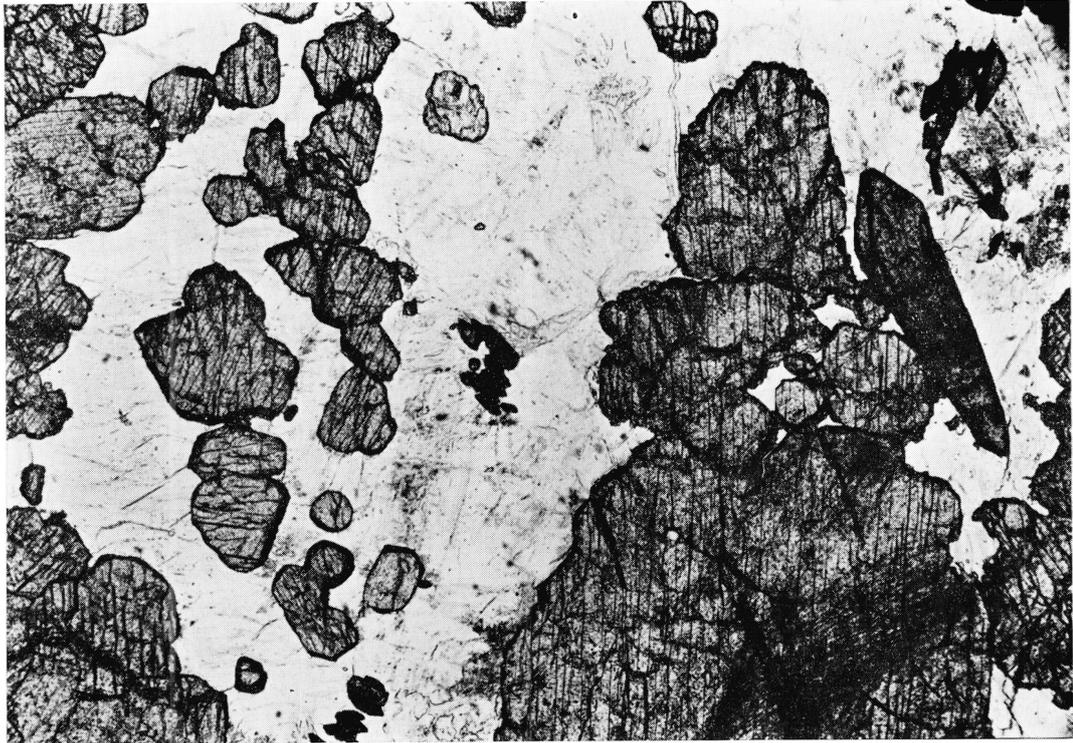
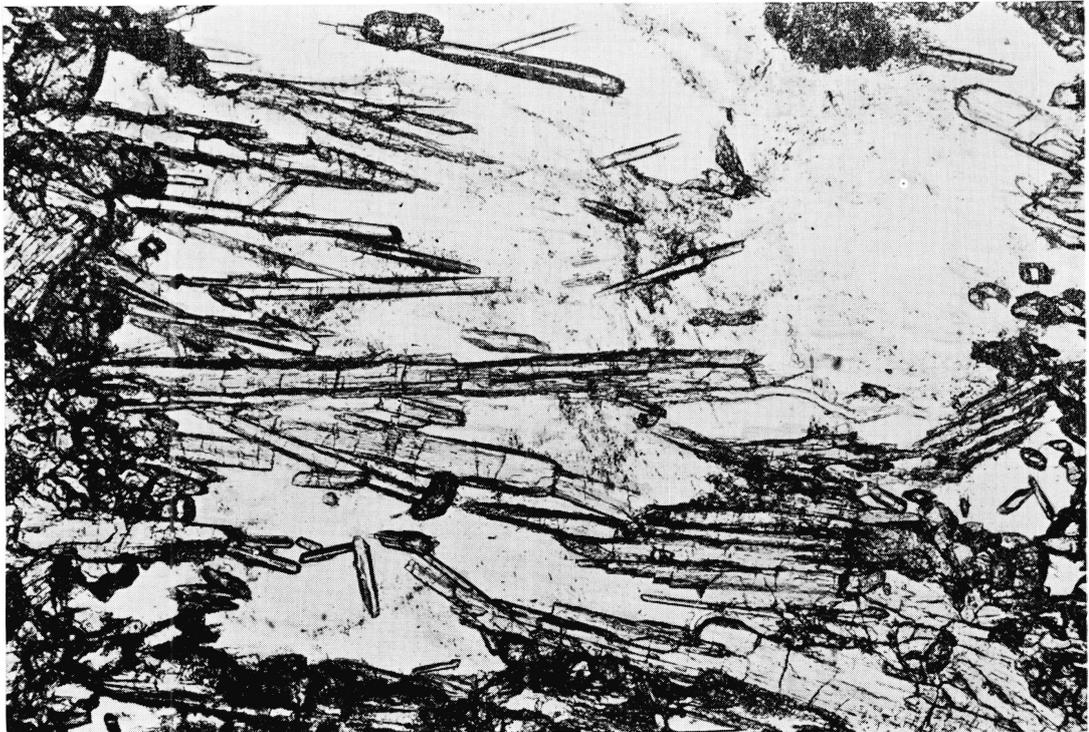


Fig. 6. Halbwegs idiomorpher Diopsid (starkes Relief mit Spaltbarkeit) neben Quarz und Plagioklas (weiss) in Granat-Diopsidfels. Am rechten Bildrand ist ein länglicher Titanitkristall sichtbar (sehr starkes Relief). Wasserschloss Murtaira. Vergrößerung $30\times$.



Granodioritische Zone

1. Innerer Teil, Meter 0—3340

Im Granodiorit treten verschiedentlich auf Nebengesteine deutende Restgebilde auf. Zwischen Meter 500 und 800 sowie bei Meter 1200 liessen sich Partien mit einem lagigen Gefüge im Granodiorit beobachten (siehe geologisches Profil). Die einzelnen Lagen unterscheiden sich in der Körnigkeit des Gesteins sowie in der hellen und dunklen Farbe, was von wechselndem Glimmergehalt herrührt. Die Orientierung der Bankung ist unterschiedlich. Bei Meter 1200 erstreckt sich eine solche Partie über 40 Meter, wobei die Bankung der Stollenachse parallel läuft und mit 40—60° nach NE einfällt. Es könnte sich um Reste aus dem Dach des Massivs handeln.

Über den ganzen Abschnitt verteilt finden sich immer wieder kleinere, oft schwarmweise auftretende, dunkle Schollen und Schlieren (s. Fig. 5 und geologisches Profil). Es handelt sich um biotit- und hornblende-reiche, fein- bis mittelkörnige Gesteine. Der Schollendurchmesser variiert von einigen Zentimetern bis 4 Meter. Die Formen sind vorwiegend rund, in einzelnen Fällen auch eckig. Der Kontakt zum umgrenzenden Granodiorit ist scharf. Deutliche, saure Reaktionshöfe von 2—8 Zentimetern konnten lediglich bei Meter 2500 beobachtet werden. Einzelne Schollen zeigten einen von Feldspatporphyroblasten durchwachsenen, feinkörnigen Granodioritsaum. Innerhalb der Schollen treten öfters Neubildungen von Feldspat auf, der ab und zu auch durch die Schollenkontakte hindurchdringt. Schwärme von Schollen wurden bei folgenden Metrierungen angetroffen: 900, 2050, 2500, 3050 und 3650 (s. geologisches Profil).

2. Äusserer Teil, Meter 3340—3800

Gegen den eigentlichen Kontaktrand hin durchfährt der Stollen einzelne, vorwiegend eckig begrenzte Schollen von amphibolitischen Gesteinen. In ihnen ist der ursprüngliche Gesteinsverband und die schiefrieglartige Textur meist noch klar erkennbar. Die Schollen sind von granodioritischen Gängen durchschwärmt. Neben kleineren Splittern treten

←

Fig. 7. Spiessige Kristalle von Wollastonit (starkes Relief) sind in Quarz hineingewachsen. Der Habitus des Wollastonit kann von nadelig bis kurzsäulig variieren. Granat-Diopsid-Wollastonitfels, Albignastollen, Meter 4597. Vergrößerung 30 ×.

Riesenschollen von Dekametergrösse auf. Sie scheinen durch die Intrusion des granodioritischen Magmas, das offensichtlich Kluft- und Schichtflächen benutzte, auseinandergesprengt und zum Teil gegeneinander verdreht worden zu sein (s. Fig. 3 und geologisches Profil).

Innerhalb der grösseren Schollen liessen sich die verschiedensten Stadien einer fortschreitenden Umwandlung beobachten. Die entstandenen Bilder sind ausserordentlich vielfältig. Bald haben die granodioritischen Schmelzen das Nebengestein durchschlagen und auseinandergerissen, ohne es wesentlich zu verändern. Bald sind die Schmelzen in das Nebengestein unter vorwiegender Benützung der Schichtflächen eingedrungen. Etwelche Feldspatporphyroblasten liegen dann meist der Schichtung parallel. Bald ist das Nebengestein aufgeschmolzen und assimiliert. In den beiden letzten Fällen zeigen sich oft Fliesstexturen. Einzelne Schollen sind von sauren, 5—30 Zentimeter breiten Reaktionshöfen umgeben.

Kontaktzone

1. Innerer Teil, Meter 3800—4540

Im inneren Teil der durchfahrenen Kontaktzone herrschen amphibolitische Gesteine vor, die stellenweise mit schmalen Lagen von Granat-Diopsidfels alternieren. Der Unterschied zum vorhergehenden Abschnitt besteht darin, dass das Verhältnis von Nebengestein zu Granodiorit umgekehrt ist. Die Amphibolitserie ist von Granodioritgängen durchschwärmt und zweimal durch 20 und 30 Meter mächtige Granodioritkörper unterbrochen. Die Schichtorientierung ist mehr oder weniger konstant und weist ein Azimut von 70—90° und ein Fallen von 38—56° S auf. In den amphibolitischen Gesteinen konnten wiederum die verschiedensten Grade einer gangartigen Durchdringung beobachtet werden. Erst wurde das Gestein unter Benützung der Schichtflächen vom Granodiorit durchsetzt, wobei die Grenzen bald schärfer, bald diffuser erscheinen. In einer zweiten Phase wurde der Komplex diskordant von Gängen durchschlagen. Die Quergänge sind meist saurer, teils pegmatitisch. Oft ist die Schichtung längs den Gängen versetzt.

2. Äusserer Teil, Meter 4540—4697

Zu den amphibolitischen Gesteinen des vorigen Abschnittes treten Kalksilikatfelsen hinzu und herrschen besonders gegen den Druckschacht hin vor. Es handelt sich um Granat-Diopsidfelsen und vereinzelte Granat-

marmore. Vielfach wechseln damit biotitreiche Zonen. Granodioritische Schmelzen sind längs den Schichtfugen eingedrungen und haben sich in quer dazu stehende Klüfte verzweigt. Ein senkrecht zur Schichtung stehendes Kluftsystem ist in diesem Abschnitt sehr ausgeprägt, und oft ist der Schichtverband längs diesem System zerschert und versetzt. Vorwiegend saure, an wenigen Stellen aber auch basische Differenziate haben diese Querklüftung benützt und bilden oft ausgedehntere, senkrecht zur Schichtung sich erstreckende Intrusivkörper.

Die Kalksilikatfelsen grenzen unmittelbar und scharf an die Surettaaugneise an.

b) STÖRUNGSZONEN

Auffallend sind die Mylonitklüfte, welche jüngste Bewegungen dokumentieren. Sie gehören hauptsächlich zwei Systemen an: einem NW-SE-System und einem E-W-System (s. geologisches Profil). Die Mächtigkeit der Mylonite variiert von einigen Zentimetern bis maximal 3 Meter. Offene, klaffende Klüfte wurden nur beim Einlauf und gegen das Fenster Murtaira hin angetroffen. Zwischen Meter 1650 und 2000 zeigten einige dieser Mylonitklüfte eine beträchtlich erhöhte Radioaktivität. Sie rührte von spärlich vorhandenen, gelben, uranophanartigen Mineralien her. Mit dem Scintillationszähler waren auch Emanationseffekte im Stollen festzustellen.

Geologische Beobachtungen im Fornostollen

Der Druckstollen Forno führt das bei Plancanin im Val Forno auf Kote 1882 gefasste Orlegnawasser unter dem Piz Murtaira hindurch zum Wasserschloss Murtaira. Die Länge des Stollens beträgt 2865 Meter, der Profildurchmesser 2,5 Meter.

Der Stollen durchquert von Plancanin her Gesteine der Fedozserie, berührt das Bergeller Massiv in seiner äussersten nördlichen Randpartie, verbleibt jedoch vorwiegend in der Kontaktzone und gelangt schliesslich in die Gesteine der Surettadecke. Im Gegensatz zum Albignastollen, der grossenteils im eigentlichen Massiv liegt, quert der Fornostollen durchwegs die Randzone. Der längste zusammenhängende Granodioritkomplex, der durchfahren wurde, misst 170 Meter. Im übrigen handelt es sich um eine grossartige Megabreccienzone.

Stollenbautechnisch waren auch hier die Felsverhältnisse sehr gut, obwohl in einigen Abschnitten weniger günstig als im Albignastollen.

Zwischen Meter 195 und 755 wurden verschiedentlich Strahlstein-Chloritschiefer und Talkschiefer durchfahren. In diesen Partien, die zudem noch in vermehrter Masse von Mylonitzonen durchkreuzt wurden, machten sich schon kurz nach dem Ausbruch Quellungserscheinungen bemerkbar. An einer Stelle wurde auch die Sohle leicht aufgewölbt. Mit einem relativ dünnen Gunitbelag in den betreffenden Strecken von total 300 Metern wurde der Fels gegen Luft und Feuchtigkeit abgeschlossen, wodurch eine Konsolidierung erreicht wurde.

Zwischen Meter 1725 und 1775 machte sich in den zähen, von Granodioritgängen durchschwärmten Amphiboliten eine leichte Bergschlagtendenz geltend, indem sich wie im Albignastollen Gesteinspartien schussartig lösten, ohne jedoch einzustürzen. Die Strecke liegt direkt unter dem Piz Murtaira, wo die Überdeckung etwa 890 Meter beträgt.

a) GEOLOGISCHES STOLLENPROFIL

Von Plancanin her durchfährt der Stollen von Meter 0 bis 165 dunkle Biotitgneise und Glimmerschiefer der Fedozserie. An zwei Stellen sind sie von schmalen Granodioritgängen scharf durchsetzt. Die Schichtung weist ein Azimut von $150\text{--}160^\circ$ und ein Fallen von $35\text{--}45^\circ$ NE auf.

Von Meter 165 an folgt eine immer wieder von Granodioritgängen und -körpern durchbrochene, im ganzen monotone Serie von Amphiboliten und Gneisen mit verschiedenen Strahlstein-Chloritschiefer- und Talkschiefereinschaltungen. Der intrudierte Granodiorit ist vielfach diopsidführend. Junge Klüfte haben die Eruptivgänge zum Teil um Dezimeter versetzt. Häufig sind Klüfte mit weisser, mylonitischer Füllung, wobei das Nebengestein vom Klufrand her gelb verfärbt und manchmal in eine Breccie umgewandelt ist.

Von Meter 615 an ändern die Gesteine, indem den Amphiboliten mehr und mehr Granat-Diopsidfelsen in wenig mächtigen Lagen zwischengeschaltet sind. Auch erscheinen grössere Granodioritkomplexe, die stellenweise diopsidführend sind. Teils liegen die Kalksilikatfelsen konkordant, teils diskordant im Amphibolit.

Die Kontaktbilder sind hier dieselben wie im Albignastollen. In einer ersten Phase wurde das Gestein in der Schichtungsrichtung von granodioritischen Schmelzen durchsetzt. In einer zweiten Phase benützten die Schmelzlösungen verschiedene Kluftsysteme, rissen die Schichtung auseinander und bildeten meist scharf begrenzte Gänge und Körper. Eine dritte Phase stellen saurere Differenziate dar, die, wiederum Klüfte benützend und die Schichten versetzend, die Gesteine durchschlugen.

Von Meter 1300 bis 1375 und von 2065 bis 2495 herrschen massige Granat-Diopsidfelsen vor. Sie sind meist parallel der Amphibolitschichtung eingelagert und vielfach durch biotitreiche Lagen dunkel gebändert. Kalksilikatfelsen erscheinen auch als Schollen oder säumen hin und wieder Granodioritkomplexe. Bei Meter 2135, 2185 und 2400 sind die Kalksilikatfelsen auffallend quarzreich. Die Streichrichtung ist nicht einheitlich. Für das Fallen wurden Werte von 15—40° NE bis SE gemessen.

Bei Meter 2830 kurz vor dem Wasserschloss beginnen die Augengneise der Surettadecke. Der Granodiorit wird hier von einer schmalen Mylonitkluft abgeschnitten und grenzt an eine 0,5—2 Meter mächtige Partie von Kalksilikatfels, der diskordant in den Augengneis hineingreift. Die Orientierung der Gneise weist ein Azimut von 135° und ein Fallen von 30—35° NE auf.

Die Grenze zwischen den Gesteinen der Fedozserie und dem kontaktmetamorphen Mesozoikum der Surettadecke ist nicht eindeutig zu ziehen. Sicher gehören die Strahlstein-Chloritschiefer zwischen Meter 195 und 755 und damit wohl der ganze Gesteinskomplex in dieser Zone zur Fedozserie. Dasselbe gilt für die Granat-Biotitschiefer bei Meter 1309, die weiter unten erwähnt sind (Abschnitt über Granat).

b) STÖRUNGSZONEN

Eigentliche Mylonitklüfte treten besonders gegen Plancanin hin auf zwischen Meter 160 und 1660, das heisst östlich des Piz Murtaira. Das Hauptsystem verläuft ungefähr N-S, zwei weitere streichen NW-SE und NE-SW. Die am stärksten mylonitisierte Zone liegt zwischen Meter 195 und 755 innerhalb der Strahlstein-Chloritschiefer- und Talkschieferzone.

Mineralogische und chemische Untersuchungen an den Kontaktgesteinen

Etwa hundert Proben kontaktmetamorpher Gesteine aus dem Albigna- und Fornostollen konnten im Dünnschliff untersucht werden, und zehn ausgewählte Handstücke prüfte Herr dipl. Ing. V. Köppel (Inst. f. Kristallographie und Petrographie, ETH, Zürich) im Erzmikroskop. Der regellose Wechsel und die Uneinheitlichkeit der Kontaktgesteine sowie der stark schwankende Anteil an Calcit, Diopsid, Granat, Biotit und Hornblende liessen es nicht zweckmässig erscheinen, Analysen von gan-

zen Gesteinsproben auszuführen. Dafür wurden die drei häufigsten Kontaktminerale Diopsid, Hornblende und Granat aus je einer typischen Probe herausgetrennt und einzeln analysiert. Im folgenden soll versucht werden, einen allgemeinen Überblick über die Kontaktmetamorphose am Nordrand der Bergeller Intrusion zu vermitteln. Von der eindrucklichen Mannigfaltigkeit dieser Gesteine geben am ehesten die Photographien aus den Stollen eine Vorstellung.

a) UNTERSUCHUNGSMETHODEN

Die Plagioklase wurden nach der Zonenmethode bestimmt (Messung des maximalen Auslöschungswinkels in der Zone senkrecht (010)). Dabei wurde die Tieftemperaturkurve benutzt. Die Auslöschungsschiefe auf (010) bei der analysierten Diopsid- und Hornblendeprobe wurde nach der Methode von BAMBAUER (1959) ermittelt. Die Separation der analysierten Mineralien erfolgte mit dem Magnetscheider und gleichzeitig mit schweren Flüssigkeiten (Einstellungen am Magnetscheider: Neigung vorn 14° , seitlich 9° , Vibration 5, Stromstärke 0,3—0,7 A). Die Reinheit, die erreicht wurde, liegt zwischen 94 und 98%. Am schwierigsten ist Granat zu trennen, der unzählige Einschlüsse enthält.

Die chemischen Analysen wurden nach den Schnellmethoden ausgeführt, die eine mindestens ebenso grosse Genauigkeit erlauben wie die klassischen Verfahren. Fluor in der Hornblendeanalyse wurde nach Destillation aus perchlorsaurem Lösung mit Thoriumnitrat titriert. Das kolorimetrische Verfahren mit Alizarinkomplexon war uns zu jenem Zeitpunkt noch nicht bekannt (GREENHALGH und RILEY, 1961). Karbonatführende Gesteinsschliffe wurden zur Unterscheidung von Calcit und Dolomit mit käuflicher Ammoniumalaun-Hämatoxylinlösung gefärbt (siehe MERKI, 1961, S. 146—147).

b) BESCHREIBUNG DER GESTEINSBILDENDEN MINERALIEN

Quarz

Quarz zeigt keinerlei Besonderheiten. Normalerweise ist er xenomorph zwischen den andern Gemengteilen eingelagert. In vereinzelt Kalksilikatfelsen kann er fehlen. Nachträglich gebildete, feine Spaltfüllungen mit Quarz sind selten, und eigentliche Zerrklüfte kennt man am Nordrand des Bergeller Massivs überhaupt nicht.

Kaliumfeldspat

Kaliumfeldspat ist kein typischer Gemengteil der eigentlichen Kontaktgesteine. Im granodioritischen Intrusivgestein, das die Kontaktzone in vielen Adern durchschwärmt, ist der Kaliumfeldspat oft serizitisiert und enthält Perthitentmischungen.

Plagioklas

Plagioklas tritt nicht nur in mehr oder weniger hornfelsartigem Verband mit den andern Gemengteilen auf, sondern auch in größeren Ansammlungen. Er fehlt in kaum einem Gestein. In verschiedenen Proben wurden die Plagioklase optisch bestimmt. In Amphiboliten und Glimmerschiefern beträgt der Anorthitgehalt 25—35% und ist ungefähr von der gleichen Größenordnung wie in den granodioritischen Intrusionsgesteinen (im Durchschnitt 20—30% Anorthit, WEIBEL, 1960). In den Kalksilikatfelsen findet sich Plagioklas oftmals neben Calcit. Der Anorthitgehalt liegt in den untersuchten Proben bei 40%. Der Nordrand des Bergeller Massivs würde damit zur Andesinzone von WENK (1962) gehören, die sich von Simplon (Dorf) nordwärts über Airolo nach Campo (Blenio) erstreckt. Ob aber der Verlauf der Gesteinsmetamorphose im Randgebiet der Lepontinischen Alpen und am Nordrand des Bergeller Massivs der gleiche war, darf allein aus dem Zusammenauftreten von Andesin und Calcit nicht geschlossen werden.

Plagioklase aus den Kontaktgesteinen (Mittel verschiedener Messungen)

Stollen	Meter	Paragenese	Plagioklas
Albigna	4602	Calcit, Granat, Diopsid, Quarz	40 % An
Albigna	4602	Granat, Diopsid, Calcit, Quarz	40 % An
Albigna	4540	Hornblende, Quarz	26—35 % An
Forno	2535	Quarz, Biotit	32 % An
Forno	2299	Diopsid, Granat, Calcit, Hornblende, Biotit	37—41 % An
Forno	1740	Hornblende, Quarz	23—30 % An

Biotit

Biotit ist häufig. Entweder tritt er in reinen Biotitschiefern oder zusammen mit Hornblende und Diopsid auf. Biotitreiche Lagen und Linsen von Zentimeter- bis Dezimeterbreite sind öfters in Amphibolit oder Granat-Diopsidfels eingeschlossen. Der Biotit ist manchmal ausgebleicht,

gelegentlich ist er teilweise in Chlorit umgewandelt. Einschlüsse von Zirkon sind verbreitet.

Chlorit

Chlorit, meist an anomalen Interferenzfarben leicht erkennbar, ist eine späte Bildung, die mit der Kontaktmetamorphose nicht in direktem Zusammenhang steht. Chlorit tritt nur sporadisch auf, meist neben Biotit, seltener als feine Kluftfüllung. In Ruschelzonen ist Chlorit häufiger und verdrängt dann andere Mineralien wie zum Beispiel Calcit.

Hornblende

Hornblende ist neben Diopsid das wichtigste Mineral der Kontaktgesteine, die zu einem grossen Teil aus Amphiboliten bestehen. Reine Amphibolite sind verbreitet, doch ist Hornblende auch häufig mit Diopsid vergesellschaftet. Granat beobachtet man nicht in den Amphiboliten, wie auch Hornblende nur vereinzelt oder am Rand die eigentlichen Kalksilikatfelsen durchsetzt. Ähnlich wie bei Biotit treten Amphibolitbänder oft in Wechsellagerung mit Granat-Diopsidfelsen auf.

Die Grösse der Hornblendekristalle liegt fast stets unter einem Millimeter. Der Habitus variiert von kurzsäulig bis nadelig. Die Kristalle sind mehr oder weniger idiomorph, gelegentlich kommen auch hornfelsartige Strukturen vor. Der Pleochroismus ist Z braungrün, seltener blaugrün, X hellbräunlich. Die Auslöschungsschiefe Z/c auf (010) schwankt von 15 bis 21°. Auf Grund der Untersuchungen von STEIGER (1962) an den Hornblenden der Tremolaserie sind geringe Änderungen im Pleochroismus und in der Auslöschungsschiefe für den Chemismus wenig spezifisch. Erzeinschlüsse sind verbreitet. Die Hornblenden gehören durchwegs dem Typ der gemeinen Hornblende an, während Grammatit und Strahlstein nicht beobachtet wurden.

Eine Hornblendeprobe wurde aus einem feinkörnigen Amphibolit mit granoblastischer Struktur herausgetrennt und chemisch analysiert. Wie dies bei Mineralanalysen üblich ist, sind die Formelzahlen so berechnet, dass die Anzahl der Sauerstoffatome mit dem theoretisch geforderten Wert von 22 übereinstimmt. Die Summe von OH + F gibt dann normalerweise auch wegen der relativ grossen Fehler dieser Bestimmungen nicht genau 2,00, wie dies hier zufälligerweise der Fall ist. Die analysierte Hornblende aus dem Albignastollen enthält weniger Aluminium, dafür mehr Magnesium als die Hornblenden der Tremolaserie (STEIGER, 1962).

Hornblende, Albignastollen Meter 4540

Formelzahlen			
SiO ₂	44,0	Si	6,48
Al ₂ O ₃	11,0	Al	1,52
TiO ₂	1,65		0,39
Fe ₂ O ₃	3,4	Ti	0,18
FeO	11,8	Fe ³	0,38
MnO	0,24	Fe ²	1,45
MgO	12,6	Mn	0,03
CaO	10,7	Mg	2,76
Na ₂ O	2,1	Ca	1,69
K ₂ O	0,2	Na	0,60
H ₂ O	1,8	K	0,04
F	0,5	OH	1,77
-F=O	0,2	F	0,23
	99,8	O	22,00

2 V_x 78°, Auslöschungsschiefe Z/c auf (010) 15°

Diopsid

Diopsid ist ein sehr charakteristischer und verbreiteter Gemengteil der Kontaktgesteine. Man findet ihn meist im Verband mit Granat, Calcit

Diopsid, Albignastollen Meter 4547

Formelzahlen			
SiO ₂	52,5	Si	1,96
Al ₂ O ₃	1,3	Al	0,04
Fe ₂ O ₃	0,5		0,02
FeO	6,9	Fe ³	0,01
MnO	0,29	Fe ²	0,22
MgO	13,2	Mn	0,01
CaO	24,8	Mg	0,74
Na ₂ O	0,25	Ca	0,99
	99,7	Na	0,02
		O	6,00

2 V_z 59°, Auslöschungsschiefe Z/c auf (010) 41°

und Wollastonit oder mit Hornblende. Auch nahezu reine Diopsidlinsen und -bänder geringer Ausdehnung kommen vor. Im Handstück ist der Diopsid hellgrün, im Dünnschliff fast farblos. Die Kristalle erreichen nur gelegentlich Millimetergrösse. Sie sind manchmal idiomorph, meist

aber unregelmässig körnig entwickelt. Polysynthetische Verzwillingung ist spärlich. Bisweilen erscheint der Diopsid im Mikroskop stärker grün gefärbt und schwach pleochroitisch, was möglicherweise mit einer Umwandlung zusammenhängt. Darauf deuten auch Einschlüsse und Reaktionssäume, die sich teils als feinstrahlige Hornblende erkennen lassen. Eine typische Diopsidprobe wurde aus einer fast monomineralischen Lage innerhalb eines Granat-Diopsidfelses herausgetrennt und chemisch analysiert. Es handelt sich um einen Diopsid mit 22% Hedenbergit ($\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$) und nur ganz untergeordnetem Anteil an Jadeit ($\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$) und Johannsenit ($\text{CaMnSi}_2\text{O}_6$).

Wollastonit

Wollastonit wird meist neben Calcit vielfach in den Granat-Diopsidfelsen angetroffen. Auch eigentliche Granat-Wollastonitfelsen kommen vor. Die Ausbildung des Minerals ist leistenförmig ohne gute Endflächen, manchmal auch nadelig. Wollastonitstrahlen durchdringen gelegentlich Quarz, Feldspat und Granat (s. Fig. 7). Verzwillingung nach (100) ist häufig.

Granat

Granat ist eines der auffallendsten und zusammen mit Hornblende und Diopsid auch der häufigsten Kontaktmineralien in den untersuchten Gesteinen. Granat kommt nur in den Kalksilikatfelsen vor, nicht dagegen in den Amphiboliten und Schiefern. Eine Ausnahme bilden gewisse Biotitschiefer, die in der Mitte des Fornostollens (Meter 1309) angefahren wurden. Hier wird der Granat fluidal von Biotit umhüllt und scheint älter als die Bergeller Intrusion zu sein. Bei der Kontaktmetamorphose entstand Granat nur in karbonatischen Ausgangsgesteinen, wie die ständige Vergesellschaftung mit Calcit bezeugt.

Die Farbe des Granates ist im Handstück blass rötlich, im Dünnschliff kaum merkbar bräunlich. Die Kristallgrösse erreicht einen Zentimeter. Die Gestalt ist unregelmässig körnig, Kristallflächen lassen sich nicht erkennen. Unzählige Einschlüsse von Diopsid, Calcit, Quarz und Plagioklas durchlöchern den Granat und lassen ihn manchmal als Skelett erscheinen. Zuweilen breitet sich Calcit entlang von Adern aus und verdrängt den Granat. Eine Granatprobe wurde aus einem Granat-Diopsid-Wollastonitfels herausgetrennt und chemisch analysiert. Wegen der zahlreichen Einschlüsse lässt sich Granat nicht rein gewinnen. Damit erklärt sich die etwas niedere Analysensumme, in der die Alkalimetalle

nicht enthalten sind, die von Plagioklaseinschlüssen herrühren. Der Granat ist ein Grossular mit merklichem Anteil an Andradit (Kalkeisengranat, $\text{Ca}_3\text{Fe}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$).

Granat, Albignastollen Meter 4546

		Formelzahlen			
SiO ₂	39,6	Si	3,03		
Al ₂ O ₃	18,6	Al	1,68	}	2,00
TiO ₂	0,55	Ti	0,03		
Fe ₂ O ₃	5,0	Fe ³	0,29		80 Mol % Grossular
MnO	0,17	Mn	0,01	}	2,95
MgO	0,8	Mg	0,09		
CaO	34,7	Ca	2,85		15 Mol % Andradit
	99,4	O	12,00		3 Mol % Pyrop

(FeO nicht bestimmt)

Epidot

Epidot konnte nur in wenigen Proben aus dem Albignastollen festgestellt werden. Er findet sich hier in Kalksilikatfelsen, die von Amphibolitbändern durchzogen sind. Epidot ist ein Mineral niedrigerer Bildungstemperaturen, als sie für die typischen Kontaktgesteine am Nordrand des Bergeller Massivs anzunehmen sind. Im Handstück unterscheidet sich der Epidot deutlich durch die mehr gelbgrüne Farbe vom Diopsid, der eher einen Stich ins Bläuliche zeigt. Auch im Dünnschliff ist der Ton gelblich. Der Epidot ist manchmal idiomorph, erscheint aber durch unzählige feinste Einschlüsse getrübt. Die stengeligen Kristalle sind teilweise gebogen.

Vesuvian

Vesuvian ist ein bemerkenswerter, aber mengenmässig zurücktretender Gemengteil mancher wollastonitreicher Kalksilikatfelsen. Er findet sich einzeln als fast zentimetergrosse, körnige, selten halbwegs idiomorphe Einsprenglinge neben Wollastonit, Granat, Diopsid und Calcit. Im Fornostollen bei Meter 2175 tritt Vesuvian in einem feinkörnigen Marmor wiederum mit Granat, Diopsid und Wollastonit zusammen auf. Im Handstück unterscheidet sich der Vesuvian durch die dunkler braunrote Farbe vom sonst ähnlichen Granat, mit dem er vergesellschaftet ist. Auch im Dünnschliff erscheint der Vesuvian ganz schwach bräunlich. Die Färbung ist ungleichmässig, und intensiver gefärbte Partien sind

wesentlich höher doppelbrechend. Die Interferenzfarben sind normal. Das Mineral ist deutlich einachsig negativ. Der Vesuvian wird teilweise von Wollastonit und Calcit verdrängt, die auch als Einschlüsse auftreten.

Skapolith

Skapolith konnte nur ein einziges Mal im Albigastollen bei Meter 4302 festgestellt werden. Er tritt als weisse Ader von Millimeterbreite neben Granat, Diopsid, Wollastonit, Plagioklas, Quarz und Epidot auf. Das Gestein weist wie hier alle Kalksilikatfelsen eine ausgeprägte Bänderung auf, indem granat-, diopsid- und wollastonitreiche Partien noch mit Amphibolitlagen alternieren. Der Skapolith ist körnig, ohne Kristallflächen, bis zwei Millimeter gross und auffallend frisch. Nach der relativ hohen Doppelbrechung zu schliessen, handelt es sich um ein calciumreiches, dem Mejonit nahestehendes Glied. Es ist bemerkenswert, dass der sonst seltene Epidot an dieser Stelle reichlich vorkommt.

Titanit

Titanit ist als auffallender Übergengenteil in den meisten Kontaktgesteinen vertreten. Die Kristalle erreichen nicht mehr als Millimetergrösse.

Calcit

Calcit ist in fast allen Kalksilikatfelsen in geringeren Mengen vorhanden. Nur ganz vereinzelt treten eigentliche Marmore auf. Gewöhnlich füllt das Mineral Zwickel und schmale Risse, selten kommt es in Adern vor. Die Kristallgrösse beträgt meist weniger als einen Millimeter. Anzeichen mechanischer Beanspruchung sind oft zu erkennen. Calciteinschlüsse sind im Granat verbreitet. Dolomit wurde mit Hilfe von Anfärbemethoden gesucht, konnte aber nirgends festgestellt werden. Die chemische Analyse von zwei Marmoren ergab im löslichen Teil beide Male nur 1% MgO.

e) ERZMIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN

Während die Kalksilikatfelsen kaum Erzminerale enthalten, sind die Amphibolite und Biotitschiefer manchmal reich an opaken Gemengteilen. In den gebänderten Gesteinen halten sich die Erze stets an die Amphibolitlagen. Das häufigste Erzmineral ist Ilmenit, mehr lokal treten auch Magnetit und Magnetkies reichlich auf. Ferner konnten fol-

gende Erze festgestellt werden: Hämatit, Rutil, Pyrit, Markasit und ganz untergeordnet Kupferkies, Cubanit und Bornit.

Ilmenit

Ilmenit bildet meist längliche Körner, die selten halbwegs idiomorph sind. Manchmal sind sie in Hornblende eingewachsen. Ilmenit ist oft von einem Reaktionssaum aus Titanit, seltener Hämatit, umgeben. Nahezu submikroskopische, gut geregelte Entmischungen von Hämatit konnten im Innern grösserer Ilmenitkörner mehrfach beobachtet werden. Diese Entmischungen setzen eine Bildungstemperatur von mindestens 500—600° voraus (RAMDOHR, 1960). Die teilweise häufigen Rutileinschlüsse stehen nicht mit den Hämatitentmischungen in Zusammenhang. Hie und da ist Ilmenit völlig durch Rutil ersetzt.

Magnetit

Magnetit tritt nicht in allen Anschliffen auf. Er ist teils idiomorph, teils ohne erkennbare Kristallform. Gelegentlich wird Magnetit am Rand von Ilmenit oder von Titanit begleitet. Der Magnetit kann auch leicht anisotrop erscheinen.

Magnetkies

Magnetkies ist in einigen Anschliffen häufig, während er sonst fehlt. Er ist jünger als Ilmenit, und Spuren einer mechanischen Beanspruchung treten nicht auf. Am Rand kommt manchmal Kupferkies vor. Einzelne grössere Magnetkieskörner sind äusserlich in Markasit umgewandelt, der von etwas Pyrit begleitet wird.

d) DIE MINERALIEN IM GESTEINSVERBAND

Die Strukturen sind im allgemeinen eher hypidiomorph-körnig, während typisch hornfelsartige, granoblastische Ausbildung eine Ausnahme darstellt. Bei den gebänderten Gesteinen sind Biotit, Hornblende und Wollastonit mehr oder weniger lagig angeordnet. Viel weniger zeigt Diopsid diese Tendenz bei seiner körnigen Entwicklung. Einige Biotit-schiefer weisen Wabentextur auf. Verschiedene Mineralien sind beim Abklingen der Kontaktmetamorphose randlich wieder verdrängt worden und erweisen sich bei tieferen Temperaturen als instabil. Besonders

augenfällig lässt sich dies bei Granat und Vesuvian erkennen, nicht so ausgeprägt bei Diopsid.

Die typischen Kontaktminerale Granat, Diopsid, Wollastonit und Vesuvian stellen offensichtlich in den Kalksilikatfelsen metamorphe Neubildungen dar. Bei Hornblende und Biotit ist dagegen viel schwieriger zu entscheiden, was umkristallisiert und was ursprünglich ist. Amphibolite und Biotitschiefer sind in der weiteren Umgebung des Bergeller Massivs häufig anzutreffen und brauchen bei der Kontaktmetamorphose nicht stark verändert zu werden. Beim Granat im Biotitschiefer aus der Mitte des Fornostollens ist schon oben die Vermutung ausgesprochen worden, dass es sich um ein Relikt handelt. Sonst konnten wir am Nordrand des Massivs Granat nie in Biotitschiefer beobachten.

Die hauptsächlichsten Gesteinstypen sind ohne Rücksicht auf das Ausgangsmaterial tabellarisch zusammengestellt. Man vergegenwärtige sich den ständigen Wechsel und die komplizierte Lagerung der einzelnen Gesteine, die manchmal nur kleine Linsen oder Bänke von einigen Zentimetern Mächtigkeit bilden. Die Kalksilikatfelsen besitzen einen mengenmässig sehr variablen Mineralbestand. Es können zahlreiche Sondertypen, wie Granat-Diopsidfels, Granat-Wollastonitfels, vesuvianführender Granat-Wollastonitfels unterschieden werden, die aber alle nur von lokaler Bedeutung sind.

Die Kontaktgesteine am Nordrand des Bergeller Massivs

Marmore	massig	Calcit in wechselnden Mengen: Granat, Diopsid, Wollastonit, Vesuvian	weniger häufig
Kalksilikatfelsen	oft gebändert	Granat, Diopsid in wechselnden Mengen: Quarz, Plagioklas, Wollastonit, Calcit, Vesuvian	häufig
Amphibolite	oft gebändert	Hornblende, Quarz, Plagioklas	häufig, oft in Wechsel- lagerung mit Kalksili- katfelsen
Biotitschiefer	schiefrig	Biotit, Quarz, Plagioklas	häufig, oft in Wechsel- lagerung mit Amphi- boliten
Gneise	schiefrig	Quarz, Plagioklas, Kalium- feldspat, Biotit	weniger häufig, kon- taktmetamorph nicht beeinflusst

Zur Kontaktmetamorphose am Nordrand des Bergeller Massivs

Die Granodiorite der Bergeller Intrusion durchbrechen in ihrem nördlichen Teil folgende Gesteinskomplexe:

Gneise (Surettagneis)	}	Surettadecke
Dolomite und Kalksteine (Trias)		
Glimmerschiefer (Bündnerschiefer)		
Basische Gesteine (Ophiolithe)		
Glimmerschiefer (Fedozserie)		Margnadecke

Wegen des hohen Metamorphosegrades und der komplizierten Tektonik ist die geologische Zuordnung der Kontaktgesteine nicht überall klar. Nur wenig verändert sind die Gneise, und die Kalksilikatfelsen lassen sich zwanglos als umgewandelte Karbonatgesteine deuten. Die Biotitschiefer sind möglicherweise aus Bündnerschiefern und im östlichen Teil des Fornostollens aus tonerdereichen Gesteinen der Fedozserie hervorgegangen. Nicht alle Amphibolite dürften dagegen Ophiolithen entsprechen. Wo Amphibolite mit Kalksilikatfelsen in Wechsellagerung auftreten, ist eine Entstehung aus tonhaltigen Dolomitlagen wahrscheinlicher.

Die Kontaktgesteine am Nordrand des Bergeller Massivs gehören der Hornblende-Hornfels-Facies an. Fyfe, Turner und Verhoogen (1958) halten folgende Facies der Kontaktmetamorphose auseinander:

Albit-Epidot-Hornfels: Albit, Epidot, Strahlstein

Hornblende-Hornfels: Plagioklas, Hornblende, Biotit, in K_2O -armen Gesteinen Andalusit

Pyroxen-Hornfels: Diopsid, Hypersthen, Andalusit, Cordierit, K-Feldspat

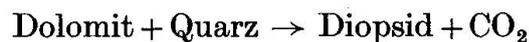
Sanidinit: Sanidin

Von oben nach unten steigt die Bildungstemperatur an. Die Sanidinit-Facies tritt in vulkanischen Gesteinen auf, wo der Druck sehr niedrig ist.

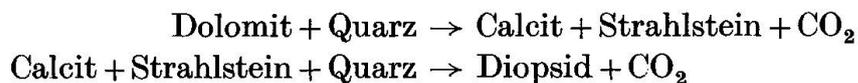
Die charakteristischen Mineralparagenesen der Hornblende-Hornfels-Facies sind bei karbonatischem Ausgangsgestein: Diopsid, Grossular, Plagioklas, Wollastonit, Calcit, Quarz, bei SiO_2 -Unterschuss Forsterit — und bei basischem Ausgangsgestein: Plagioklas, Hornblende, Diopsid. Für tonerdereiche Gesteine werden speziell Andalusit und Cordierit an-

gegeben, die in den eigentlichen Kontaktgesteinen am Nordrand des Bergeller Massivs fehlen. Der Andalusit in den kristallinen Schiefen um den Lej da Cavlocc (nördliches Val Forno) ist vermutlich älter als die Bergeller Intrusion. Wollastonit deutet auf hohe Temperaturen und niederen CO_2 -Druck. Ebenso wie Wollastonit leitet Vesuvian zur Pyroxen-Hornfels-Facies über, und die Paragenese Plagioklas, Diopsid, Grossular, Wollastonit, Vesuvian ist auch in der Pyroxen-Hornfels-Facies vertreten. Hier tritt jedoch Hypersthen an Stelle von Hornblende in basischen Gesteinen.

Über die physikalischen Bedingungen der Hornblende-Hornfels-Facies weiss man auf Grund experimenteller Untersuchungen recht genau Bescheid. Die Bildungstemperaturen der Mineralien nimmt man bei Drucken von 1000—3000 Atmosphären zwischen 550 und 700° an. Unter hohem Wasserdampfdruck reicht das Zustandsfeld der Hornblende-Hornfels-Facies bis an die Verflüssigungstemperaturen granitischer Gesteine. Bei der Metamorphose karbonatischen Materials verschwindet Dolomit zuerst, wobei folgende Reaktion abläuft:



Zuerst entsteht zwar Strahlstein, der aber bei Ansteigen der Temperatur mit Calcit ebenfalls Diopsid ergibt:



Die Gesteine des Albigna- und Fornostollens lassen sich sehr gut in dieses allgemeine Schema einfügen.

Ähnliche Kontaktbildungen wie am Nordrand des Bergeller Massivs sind in der benachbarten Adamellogruppe (Italien) genauer untersucht. GOTTFRIED (1930) beschreibt Granat von nahezu derselben Zusammensetzung, wie sie der Granat aus dem Albignastollen aufweist. Das Gestein ist ein granat- und diopsidführender Marmor vom Passo del Termine. Der Autor bringt ferner eine Analyse von Vesuvian aus dem Val Pallobia. Typische Skarnbildungen finden sich in den Kalksilikatfelsen der Alpe Bazena, wo Granodiorit in Anisienkalk intrudiert (SCHIAVINATO, 1946). Zu den gewöhnlichen Kontaktmineralien treten dort Ägirinaugit, Andradit und Hedenbergit. Der Kontakthof misst 20—30 Meter. Am Nordrand des Bergeller Massivs kann man demgegenüber den Kontakthof nur schwer verfolgen, da die Gesteine in Schollen zerbrochen und wohl etwas nach oben verfrachtet sind.

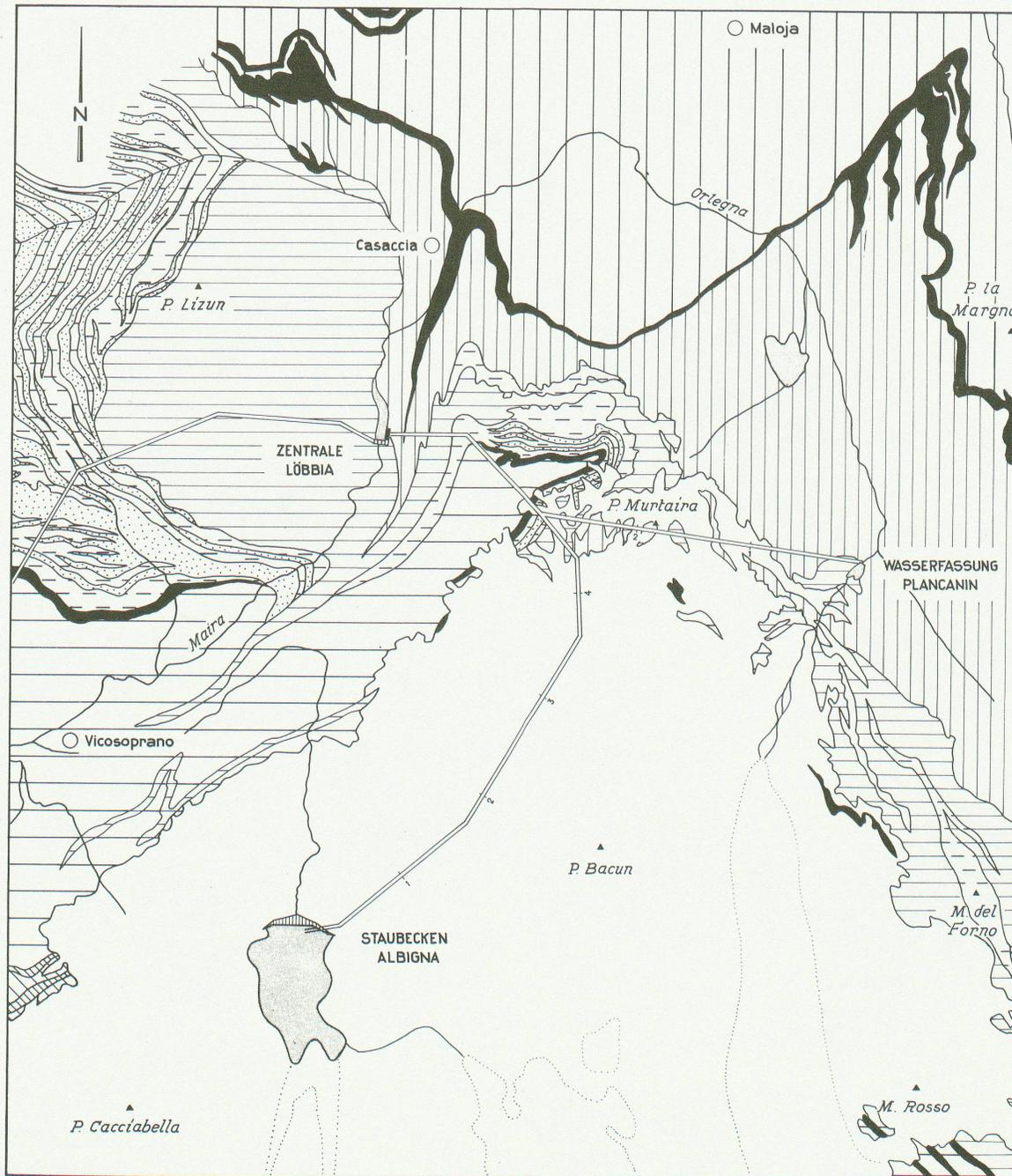
Literatur

- BAMBAUER, H. U. (1959): Direkte Bestimmung der Auslöschungsschiefe nach (h 0 1) verzwillingter monokliner Kristalle von allgemeiner Schnittlage, dargestellt an Pyroxenen und Amphibolen. *Z. Kristallogr.* 111, 421—434.
- FYFE, W. S., TURNER, F. J. and VERHOOGEN, J. (1958): Metamorphic reactions and metamorphic facies. *Geol. Soc. Amer. Mem.* 73.
- GOTTFRIED, C. (1930): Die Mineralien der Adamellogruppe. *Chem. Erde* 5, 106—112.
- GREENHALGH, R. and RILEY, J. P. (1961): The determination of fluorides in natural waters, with particular reference to sea water. *Anal. Chim. Act.* 25, 179—188.
- GRÜNENFELDER, M. und STERN, T. W. (1960): Das Zirkon-Alter des Bergeller Massivs. *Schweiz. Min. Petr. Mitt.* 40, 253—259.
- MERKLI, P. (1961): Der obere Muschelkalk im östlichen Schweizer Jura. *Eclogae geol. Helv.* 54, 137—220.
- RAMDOHR, P. (1960): Die Erzminerale und ihre Verwachsungen. Akademie-Verlag, Berlin.
- SCHIAVINATO, G. (1946): Il giacimento a wollastonite ed altri minerali di contatto presso Alpe Bazena (Adamello meridionale). *Mem. Ist. Geol. Univ. Padova* 15.
- STAUB, R. (1918): Geologische Beobachtungen am Bergeller Massiv. *Vjschr. Natf. Ges. Zürich* 63, 1—18.
- (1921): Geologische Karte der Val Bregaglia. *Schweiz. Geol. Komm., Spezialkarte* 90.
- (1934): Übersicht über die Geologie Graubündens. *Geol. Führer Schweiz, Fasc. III*, 205—239. B. Wepf & Cie., Basel.
- (1944): Geologisches vom Malojapass. *Festschrift 124. J.vers. Schweiz. Natf. Ges.* 61—78.
- (1960): Geologie in: Malojastrasse. 3. Aufl., 10—18. Generaldirektion der Post-, Telegraphen- und Telefonverwaltung Bern.
- STEIGER, R. H. (1962): Petrographie und Geologie des südlichen Gotthardmassivs zwischen St. Gotthard- und Lukmanierpass. *Schweiz. Min. Petr. Mitt.* 42, 381—577.
- WEIBEL, M. (1960): Chemismus und Mineralzusammensetzung von Gesteinen des nördlichen Bergeller Massivs. *Schweiz. Min. Petr. Mitt.* 40, 69—93.
- WENK, E. (1962): Plagioklas als Indexmineral in den Zentralalpen. Die Paragenese Calcit-Plagioklas. *Schweiz. Min. Petr. Mitt.* 42, 139—152.

Institut für Kristallographie und Petrographie der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Zürich.

Manuskript eingegangen am 31. August 1963.

Leere Seite
Blank page
Page vide



TEKTONISCHE SKIZZE DES NÖRDLICHEN BERGELLER MASSIVS UND SEINER UMRÄHMUNG

nach Rudolf Staub

zusammengestellt aus dem Schweizerischen Alpenpostführer Malojastrasse

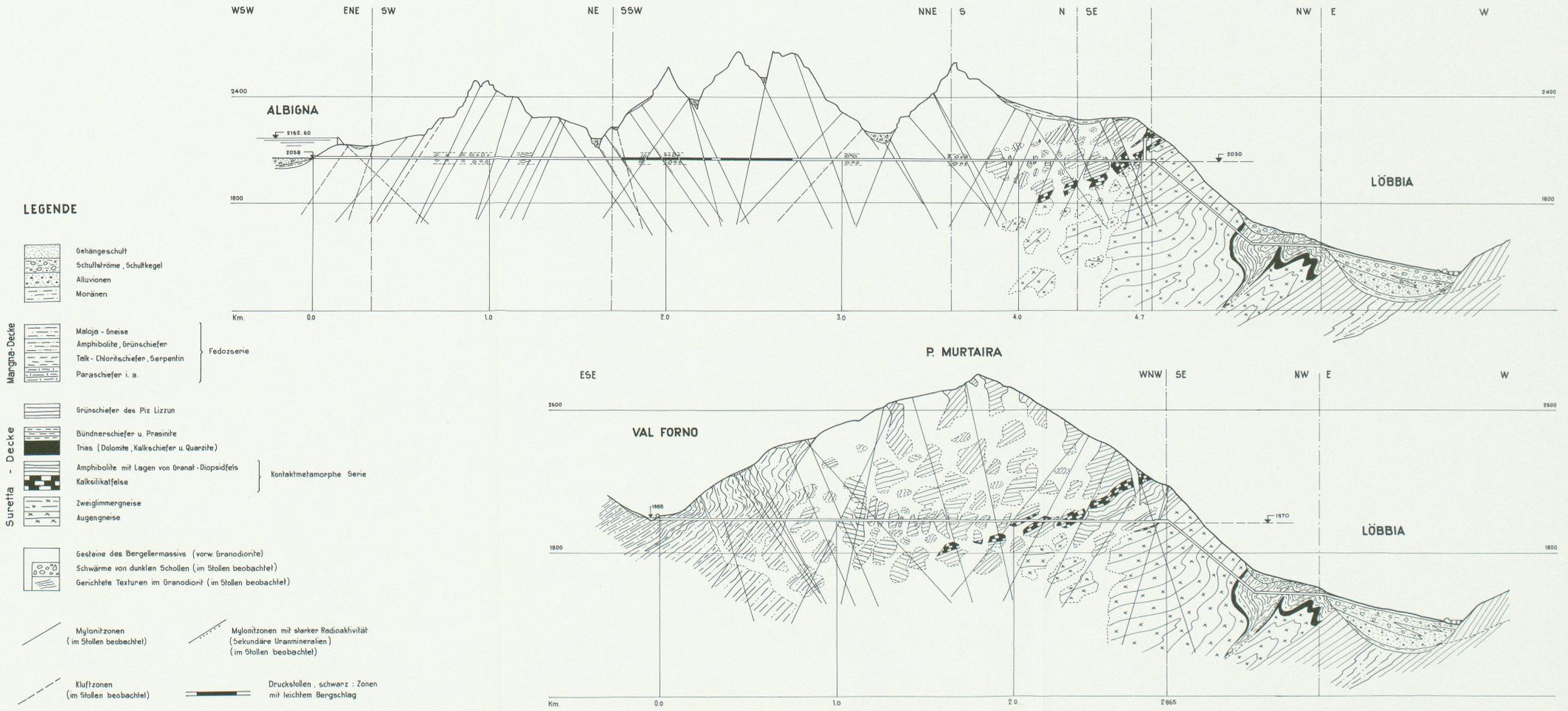


- | | | |
|------------------|--|---|
| Magna - Decke | | Triasdolomit, Bündnerschiefer
Maloja Kristallin:
grüne Ortho - Injektions - und Paragneise
Murelto Kristallin:
wie Maloja Kristallin, dazu Fedozserie (Andalusit - Granat - Sillimanit - schiefer, Amphibolite, Marmore und Kalksilikat - felse |
| Suretta - Decke | | Grüngesteine der Ophiolithzone P. Lizun - P. del Forno - Ma - lenco
Prasinite in den Bündnerschiefern des P. Duan
Bündnerschiefer
Trias (Quarzite, Kalke, Dolomite)
Mesometamorphe Gneise und Glimmerschiefer |
| Bergeller Massiv | | vorwiegend Granodiorite |
| Tambo - Decke | | Ophiolithe der Splügener Mulde
Tambo - Kristallin |
| | | Gletscher |

Leere Seite
Blank page
Page vide

Masstab 1:20'000

(Nach dem Prognosenprofil von R. Staub und E. Weber sowie nach den Stollenbefunden zusammengestellt von Th. Locher)



Leere Seite
Blank page
Page vide

AUSSCHNITTE AUS DEN GEOLOGISCHEN PROFILEN DER DRUCKSTOLLEN ALBIGNA UND FORNO

Massstab 1:400

Aufgenommen und zusammengestellt von Th Locher

