

Metamorphose von Peliten zwischen Rheinwaldhorn und Pizzo Paglia (Adula- und Simano-Decke)

Autor(en): **Klein, Hans-Heiner**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **56 (1976)**

Heft 3

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-43696>

Nutzungsbedingungen

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

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

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

Haftungsausschluss

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

Metamorphose von Peliten zwischen Rheinwaldhorn und Pizzo Paglia (Adula- und Simano-Decke)

Von *Hans-Heiner Klein*, Basel *)

Mit 9 Figuren und 5 Tabellen im Anhang

Abstract

Metapelites of the Pennine nappes Adula and Simano are polymetamorphic as well as plurifacial. Based on the distribution of eoalpine and mid-tertiary metamorphism, an attempt is made to relate the observed minerals to different metamorphic events (pre-alpine, eoalpine and mid-tertiary) using the regional distribution of specific minerals and/or parageneses (chloritoid-kyanite-staurolite, relictic and newly formed garnet, white micas-margarite, chlorite-biotite and plagioclase). Four subparallel, mid-tertiary zone-boundaries and a questionable isoreactiongrad are established.

Zusammenfassung

Die altkristallinen Metapelite der Adula- und angrenzender Teile der Simano-Decke sind sowohl polymetamorph als auch plurifaziell. Anhand der fünf Verbreitungskarten (Chloritoid-Disthen-Staurolith, reliktscher Granat-neugebildeter Granat, Hellglimmer-Margarit, Chlorit-Biotit und Plagioklas) und bisherigen Kenntnisse über die Verbreitung der frühalpinen und tertiären Metamorphose wird versucht, die beobachteten Mineralien den verschiedenen Metamorphosephasen (voralpin, frühalpin und tertiär) zuzuordnen. Vier subparallele, tertiäre Zonengrenzen und eine fragliche Isoreaktionsgrade werden ausgedehnt.

Riassunto

Le metapeliti dell'unità tectonica dell'Adula e del Simano sono tanto polimetamorfiche quanto plurifacciali. Grazie alle cinque carte di distribuzione (cloritoide-cianite-staurolite, granato relittico e granato di neoformazione, miche chiare-margarite, clorite-biotite e plagioclase) e grazie alle conoscenze attuali sulla distribuzione della metamorfosi eoalpina e del Medioterziario si cerca di mettere in relazione i minerali osservati alle diverse fasi di metamorfosi (prealpino, eoalpino e medioterziario). Quattro subparalleli e medioterziari limiti di zona e un grado d'isoreazione problematico sono dati.

*) Mineralogisch-Petrographisches Institut der Universität, Bernoullistrasse 30, CH-4056 Basel.

Inhalt

Einleitung	458
Geologische Übersicht	458
Methoden	460
Probeentnahme	460
Röntgenographische Untersuchungen	460
Verbreitung einzelner Mineralien	460
Diskussion	469
Alterszuordnung	469
Physikalische Bedingungen der tertiären Metamorphose	469
Zoneographie	470
Anhang: Tabellen	472
Literatur	478

EINLEITUNG

Vorliegende Arbeit befasst sich mit der Petrographie pelitischer, altkristalliner Gesteine der Adula-Decke sowie angrenzender Teile der Simano-Decke. Diese Metapelite sind sowohl polymetamorph (voralpin und alpin) als auch plurifaziell (frühalpin und tertiär), vergleiche zum Beispiel die metamorphe Fazieskarte der Alpen (ZWART, 1973). Während in den mesozoischen Metapeliten ausschliesslich der alpine Anteil der Metamorphose erfasst werden kann (siehe z. B. FREY, 1974), stellt sich in den altkristallinen Gesteinen das schwierige Problem, den reliktschen, voralpinen Mineralbestand zu erkennen. Mit Hilfe der hier angewendeten optischen Untersuchungen liess sich diese Kernfrage allerdings nur unbefriedigend beantworten.

GEOLOGISCHE ÜBERSICHT

Die geologische Gliederung der weiteren Umgebung des Arbeitsgebietes ist in Fig. 1 dargestellt. Im Zentrum liegen die Kristallinkörper der penninischen Abscherdecken Simano, Adula und Tambo, getrennt durch tonige und karbonatische Sedimente wahrscheinlich mesozoischen Alters. Die Schichtflächen fallen gegen Nordosten ein, so dass gegen Osten sukzessiv höhere tektonische Ein-

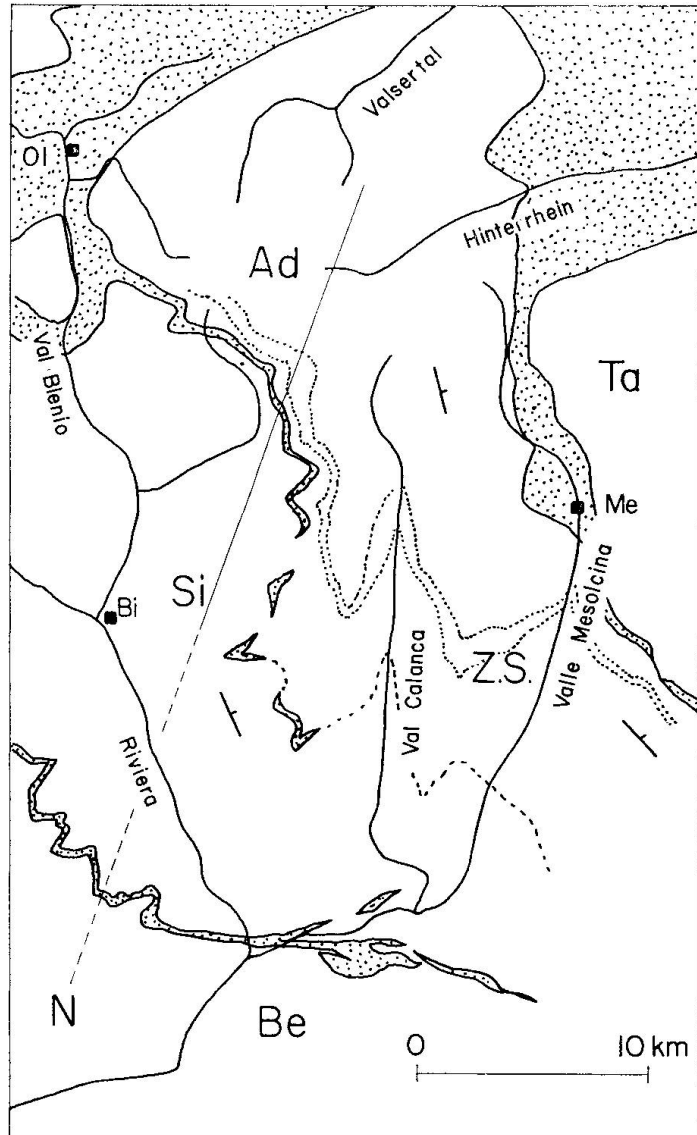


Fig. 1. Geologische Übersichtskarte des Arbeitsgebietes mit eingetragenen Streich- und Falltendenzen. Weiss: Kristallinkörper, punktiert: Deckenscheider. Ad: Adula, Be: Zone von Bellinzona, Si: Simano, Ta: Tambo, ZS: Zone von Soazza, N: Spur der gewählten Projektionsebene (vgl. S. 470), Bi: Biasca, Me: Mesocco, Ol: Olivone.

heiten folgen. Die Adula liegt heute als ein Stapel flachliegender Serien von kristallinen Schiefen vor, welche petrographisch mehrfach bearbeitet wurden (BRUGGMANN, 1965; EGLI, 1966; FUMASOLI, 1974; HÄNNI, 1972; HEITZMANN, 1975; JENNY, FRISCHKNECHT und KOPP, 1923; KÜNDIG, 1926; MÜLLER, 1958; VAN DER PLAS, 1959, und WEBER, 1966). Kalifeldspat-Augengneisse, Biotit-Muskovit-Gneisse und Glimmerschiefer herrschen vor; Amphibolite, Ultrabasite und Karbonatgesteine treten untergeordnet auf.

Für das Studium der Mineralassoziationen von Peliten ist die Soazza-Zone (Definition durch WEBER, 1966, vgl. Fig. 1) besonders geeignet; in anderen Teilen der Adula sind tonerdesilikatreiche Gesteine selten. Im Norden musste auf benachbarte aluminiumreiche Zonen ausgewichen werden.

METHODEN

Probeentnahme

Um Mineralzonen und etwaige Isoreaktionsgrade zu erfassen, wurden 400 Proben aus glimmerreichen Serien gesammelt, wobei aus lithologischen Gründen der mittlere Abschnitt besser belegt ist. Vom mittleren Teil der Valle Mesolcina wurden nur wenig Proben untersucht wegen einer im Gange befindlichen Arbeit von P. THOMPSON (im Druck 1976).

Röntgenographische Untersuchungen

Etwa 100 Hellglimmer-reiche Proben wurden diffraktometrisch auf Muskovit und Paragonit untersucht. Der $d(060)$ -Wert und die Modifikation von Muskovit wurden auf einer Guinierkamera nach de Wolff bestimmt. Die Quarzlinie (211) diente als interner Standard.

VERBREITUNG EINZELNER MINERALIEN

Chloritoid

Chloritoid tritt ausschliesslich im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes auf (Fig. 2). Zusätzlich zu den aus der Literatur übernommenen Fundpunkten (1–7, vgl. Tabelle 3) konnte Chloritoid neu auf A. Scaradra, 2 km SE des Luzzone-Stausees (Fundpunkt 8), im Lüntal (Fundpunkt 9) sowie im oberen Hinterrheintal (Fundpunkte 10 und 11) festgestellt werden. Bei Fundpunkt 10 scheint der Chloritoid auf Kosten reliktschen Granates zu wachsen, in welchem er nie als Einschluss beobachtet werden konnte; zudem liegt der Chloritoid teilweise quer zur Schieferung, wuchs also postkinematisch (Fig. 3). Aufgrund der bekannten Verbreitung alpin-metamorpher Chloritoids (NIGGLI und NIGGLI, 1965) dürfte es sich auch im vorliegenden Fall um eine alpine Neubildung handeln. Weiterhin konnte Chloritoid in einer Probe aus dem Val Malvaglia (Fundpunkt 12) und aus dem Valle dei Passetti (Fundpunkt 13) als gepanzertes Relikt in Granat (zum Teil jungem Granat) beobachtet werden. Es kann nicht entschieden werden, welcher alpinen Metamorphosephase das Chloritoidwachstum zuzuordnen ist. Nach VAN DER PLAS (1959) stellen die Chloritoid-Relikte der Fundpunkte 1–3 frühalpiner Bildungen dar.

Staurolith

Mit Ausnahme von vier Fundpunkten, welche der Literatur entnommen wurden (L auf Fig. 2, vgl. Tabelle 1), handelt es sich durchwegs um neue Staurolithvorkommen. Die meisten der neuen Fundpunkte fügen sich in das bisher lückenhaft belegte Verbreitungsbild alpin gebildeten Staurolithes ein (NIGGLI und NIGGLI, 1965, Fig. 4). Ausnahmen bilden die Fundpunkte 10, 13 und 14. Nach den Dünnschliffbeobachtungen handelt es sich auch hier um alpine Bildungen. Die kleinen Staurolithporphyroblasten (Länge 0,2 mm) zeigen keine Umwand-

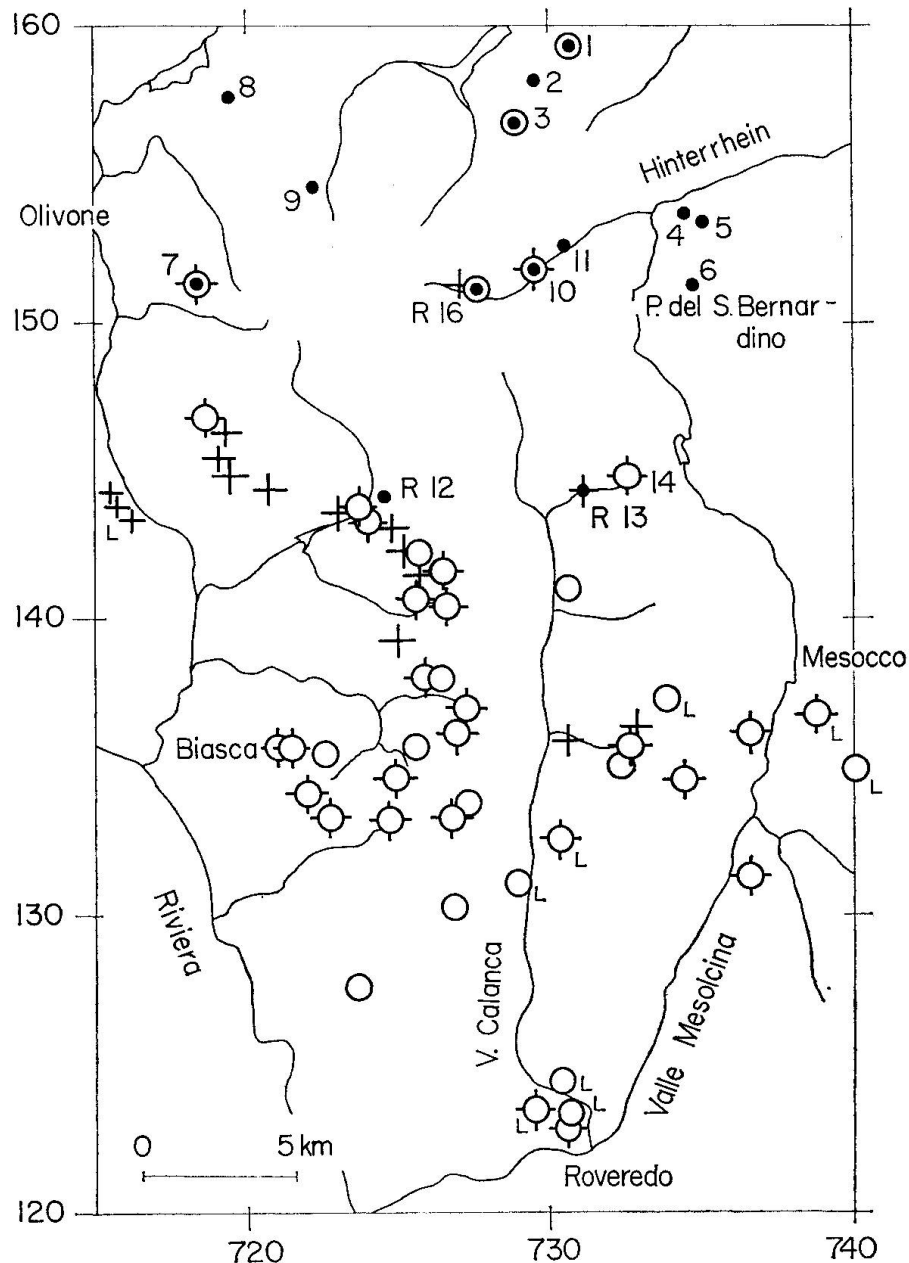


Fig. 2. Regionale Verbreitung von Chloritoid, Disthen und Staurolith. Punkt: Chloritoid, offener Kreis: Disthen, Kreuz: Staurolith, R: reliktsische Paragenesen in bezug auf die tertiäre (bzw. alpine) Metamorphose. Abszisse und Ordinate sind mit den schweizerischen Kilometerkoordinaten versehen.

lungerserscheinungen (Verglimmerung), wie dies von polymetamorphen Staurolithen bekannt ist (vgl. z. B. BEARTH, 1963, p. 412; H. R. WENK, 1974, Fig. 5).

Disthen

Disthen zeigt eine ähnliche Verbreitung wie Staurolith: sehr verbreitet im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes, spärlich im nördlichen Teil. Die

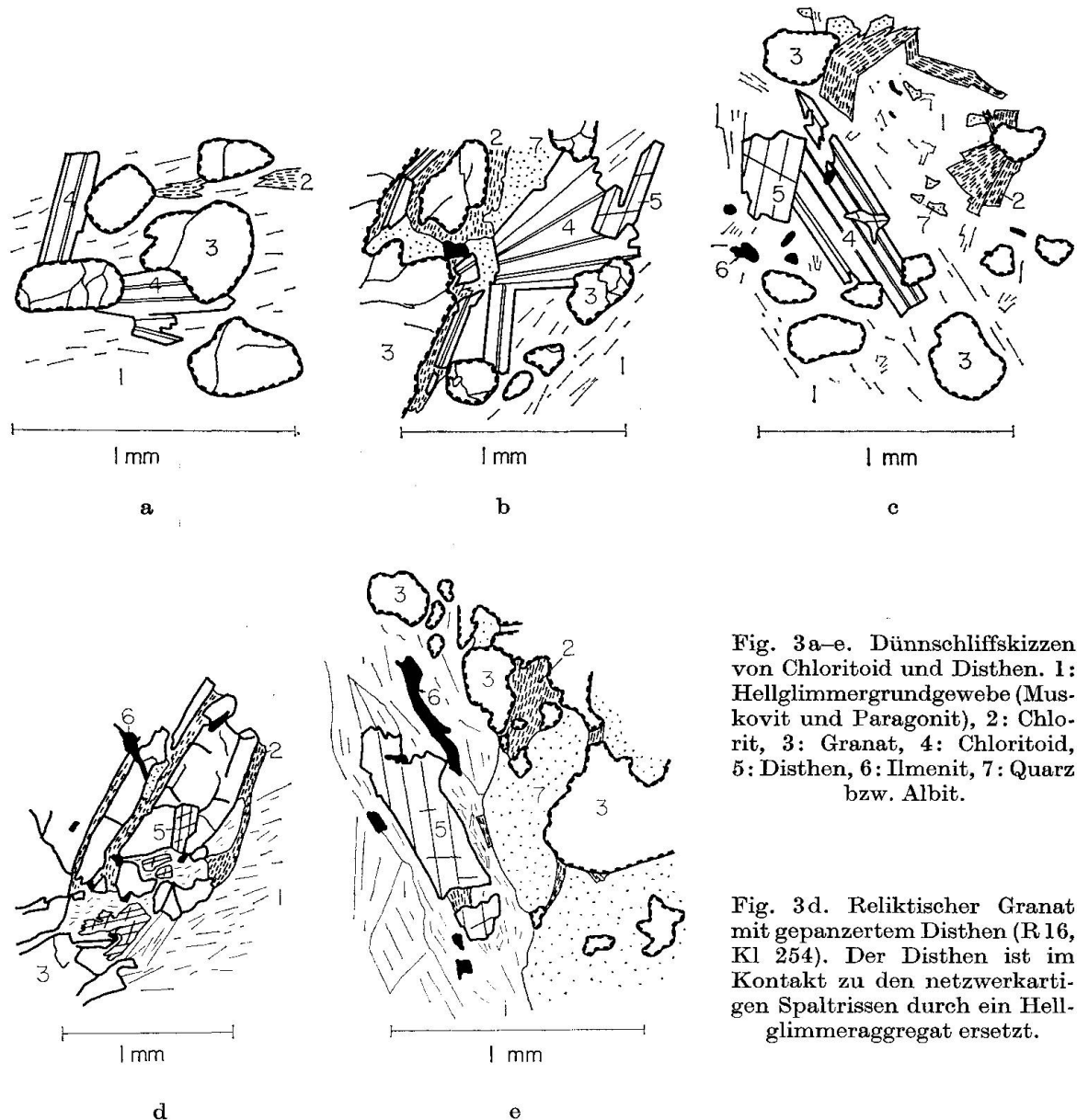


Fig. 3a-e. Dünnschliffsskizzen von Chloritoid und Disthen. 1: Hellglimmergrundgewebe (Muskovit und Paragonit), 2: Chlorit, 3: Granat, 4: Chloritoid, 5: Disthen, 6: Ilmenit, 7: Quarz bzw. Albit.

Fig. 3d. Reliktischer Granat mit gepanzertem Disthen (R 16, Kl 254). Der Disthen ist im Kontakt zu den netzwerkartigen Spaltrissen durch ein Hellglimmeraggregat ersetzt.

Mehrzahl der Fundpunkte sind neu. Nach den mikroskopischen Beobachtungen handelt es sich mit einer Ausnahme (R 16) durchwegs um alpine Bildungen. Dies gilt insbesondere für die neuen Fundpunkte 10 und 14. Im Dünnschliff besitzen die Disthenporphyroblasten scharfe Korngrenzen ohne jede Verglimmerung, wie dies bei einer voralpinen Bildung zu erwarten wäre (vgl. KWAK, 1971; H. R. WENK, 1974). Nach VAN DER PLAS (1959) bildeten sich die Disthene der Fundpunkte 1 und 3 frühalpiner, eventuell auch später. In R 16 ist der Disthen durch reliktschen Granat gepanzert. Im Kontakt zu den netzwerkartigen Spaltrissen des Granates liegt der Disthen in Hellglimmer-Pseudomorphosen vor; einzig die Umrisse lassen hier auf Disthen schließen (vgl. Fig. 3d).

Granat

Granat tritt im ganzen Untersuchungsgebiet auf. Dabei können drei textuelle Ausbildungsformen unterschieden werden:

Reliktischer Granat. Kennzeichen im Dünnschliff sind abgerundete oder eingebuchtete Umrisse, netzwerkartige Spaltrisse mit Chlorit und Limonitbildung, sowie Chloritnester mit Granatrelikten (vgl. Fig. 4a).

Neugebildeter Granat zeigt teilweise idiomorphe oder poikilitische Ausbildung ohne Spaltrisse und retrograde Chloritbildung (vgl. Fig. 4b).

Kombinationsformen. Die Kernzone zeigt Spaltrisse und vorwiegend Quarzeinschlüsse; sie wird häufig umgeben von einem Kranz feinsten submikroskopischer Einschlüsse; die Randzone schliesslich zeigt teilweise eine Tendenz zu Idiomorphie (vgl. Fig. 4c).

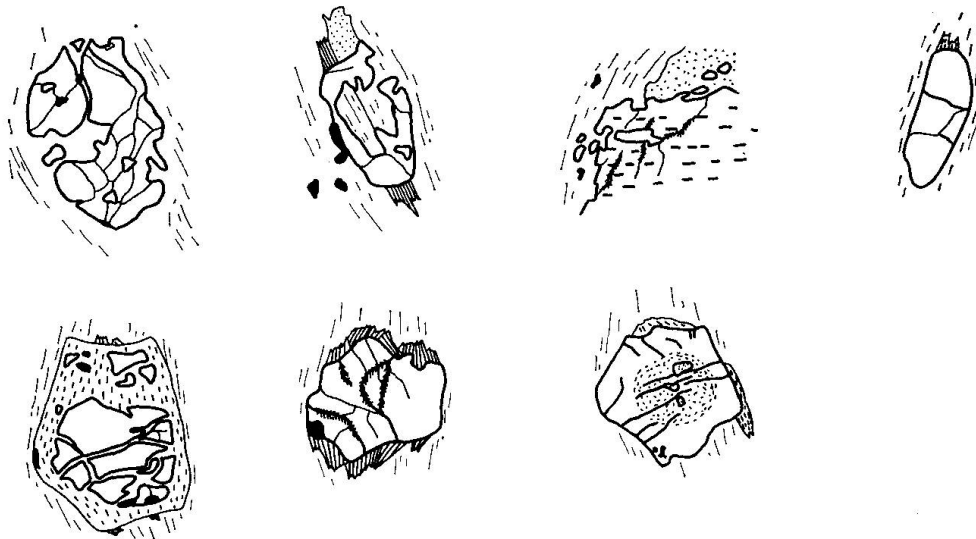


Fig. 4a. Reliktischer Granat. Beispiele: korrodiert und in s gelangt, reliktscher Granat mit zwei Wachstumsphasen (reliktscher Granat I und II), Granat in diversen Korrosionsstadien, Chloritnester mit Granatrelikten (Pseudomorphosen von Chlorit nach Granat), Granat mit im Vergleich zum s verschiedenem Interngefüge.

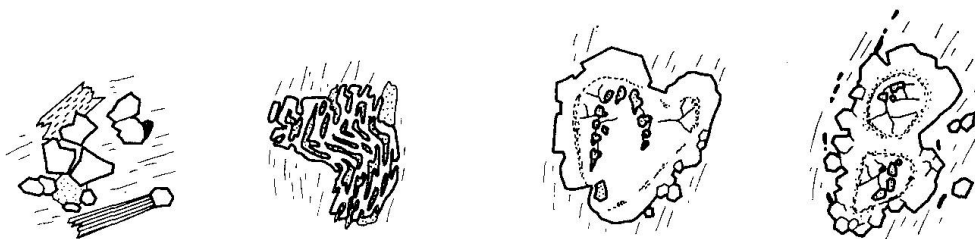


Fig. 4b. Neubildungen.

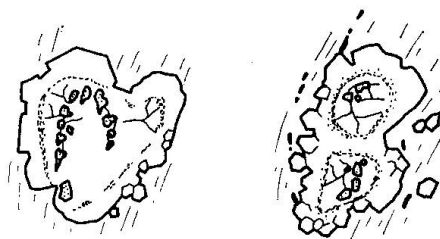


Fig. 4c. Kombinationsformen.

Fig. 4. Dünnschliffsskizzen von Granat.

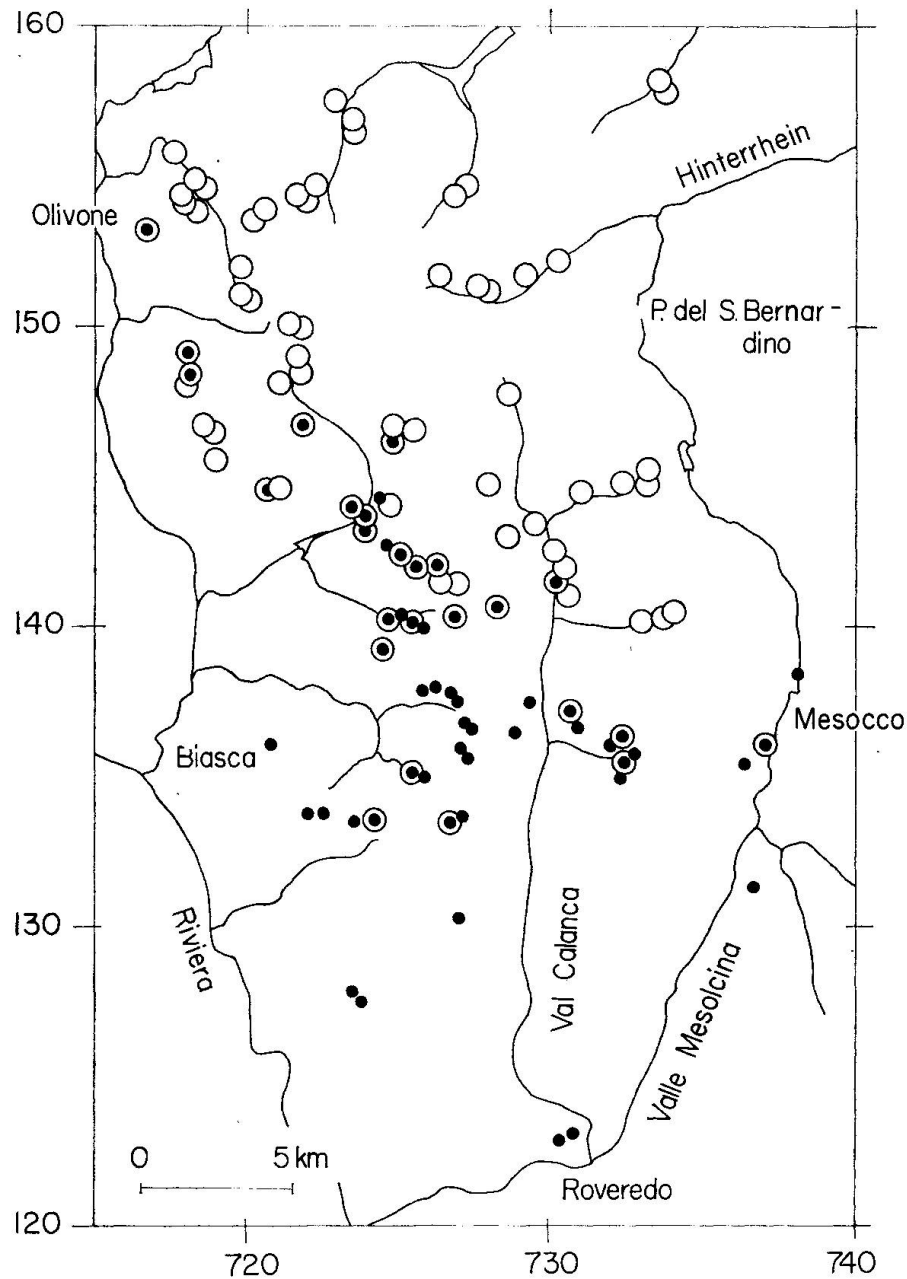


Fig. 5. Regionale Verteilung der drei Granat-Ausbildungsformen. Offener Kreis: reliktsicher Granat (I und II), Punkt: neugebildeter Granat, offener Kreis mit Punkt: Kombinationsformen.

Die regionale Verteilung der drei Ausbildungsformen ergibt eine deutliche Zonierung (Fig. 5). Reliktischer Granat tritt im nordöstlichen Teil des Untersuchungsgebietes auf. Südwestlich schliesst sich eine 5–10 km breite Übergangszone an. Im südlichsten Teil scheint ausschliesslich neugebildeter Granat aufzutreten. Eine Alterszuordnung der zwei Granatgenerationen ist schwierig. Während es sich beim neugebildeten Granat wohl um eine tertiäre Neubildung handeln dürfte, kann vorläufig nicht entschieden werden, ob der reliktsiche Granat voralpin oder früh-alpin entstanden ist.

Muskovit

Nach CIPRIANI et al. (1968) gestattet die Lage des (060)-Reflexes eine grobe Abschätzung des Phengitgehaltes. Bei den untersuchten Kali-Hellglimmern handelt es sich mehrheitlich um Muskovit, und zwar auch bei den nördlichsten gelegenen Proben, wo man eher phengitischen Muskovit erwartet hätte (vgl. GRAESER und NIGGLI, 1967; SCHWANDER et al., 1968). Der kleine Phengitgehalt

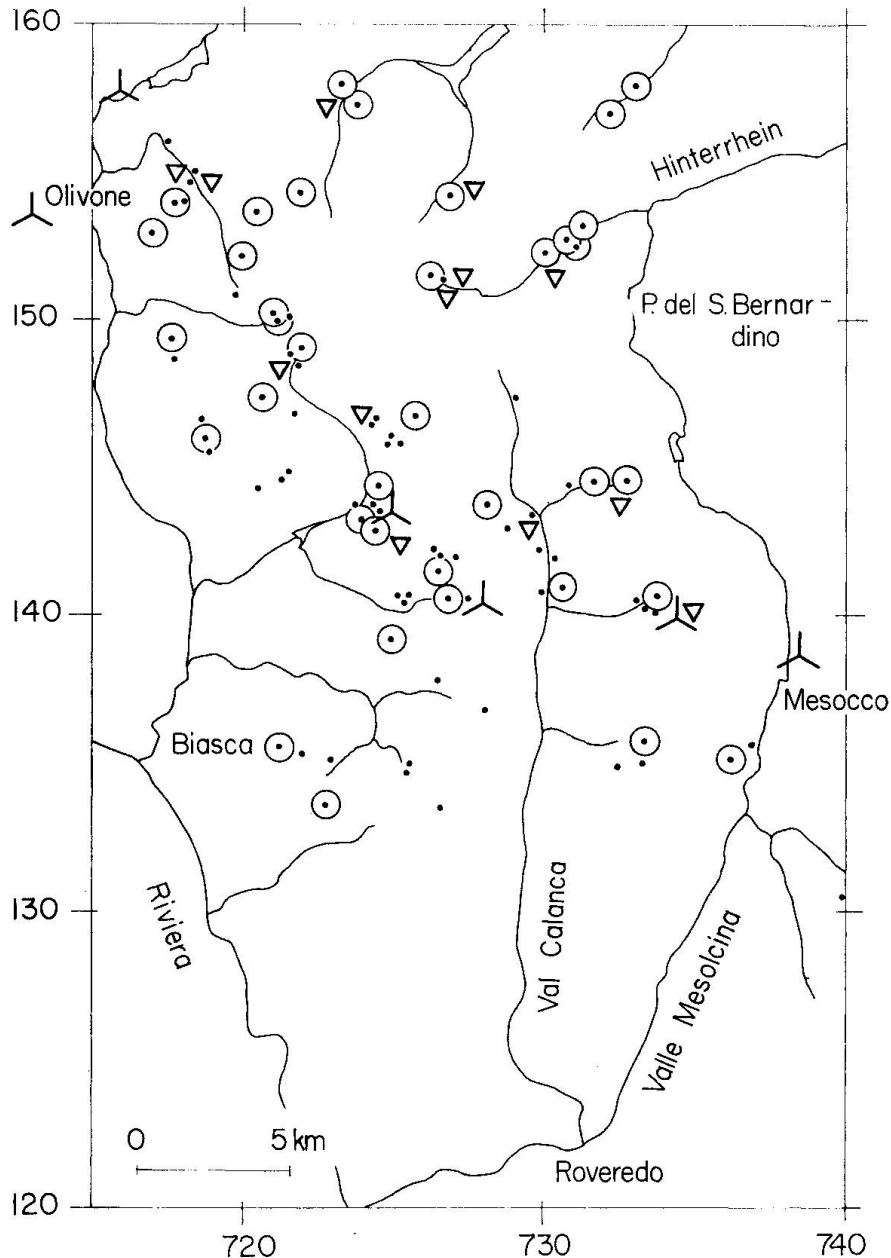


Fig. 6. Regionale Verteilung der Hellglimmer- und Margarit-Fundpunkte. Punkt: 2M-Muskovit, offenes Dreieck: 2M- und 3T-Muskovit, offener Kreis: Paragonit, dreistrahliger Stern: Margarit.

unserer Proben dürfte durch den Aluminiumreichtum der untersuchten Metapelite bedingt sein.

In allen zirka 100 geröntgten Proben tritt die Modifikation 2M auf, in 12 Proben des nördlichen Teiles des Arbeitsgebietes konnte zusätzlich die Anwesenheit des 3T-Polymorphs festgestellt werden (Fig. 6). Die Untersuchung des Achsenwinkels an separierten Muskoviten aus dem nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes zeigen zwei $2V_x$ -Maxima bei 0° – 5° und 30° – 40° , südlichere Proben zeigen hingegen nur $2V_x$ -Werte zwischen 30° und 40° . Muskovite mit kleinen Achsenwinkeln stammen aus Gesteinspulvern, in welchen die 3T-Muskovit-Modifikation nachgewiesen werden konnte.

Nach vorläufigen Untersuchungen von FREY et al. scheint die 3T-Modifikation in den Zentralalpen auf jene Gebiete beschränkt zu sein, in welchen die frühalpiner Metamorphosephase erkannt worden ist (für die Verbreitung der frühalpinen Hochdruck-Niedertemperatur-Metamorphose siehe z. B. ZWART, 1973, oder FREY et al., 1974). Der nördliche Teil des Untersuchungsgebiets wurde nach VAN DER PLAS (1959) ebenfalls von der frühalpinen Metamorphose erfasst, und es wäre demnach möglich, dass es sich bei unseren 3T-Muskoviten um frühalpine Relikte handeln würde.

Paragonit

Paragonit konnte in 37 der etwa 100 untersuchten Proben röntgenographisch nachgewiesen werden. In den nordöstlichsten Metapeliten ist Paragonit fast immer vorhanden (1 Ausnahme), während er nur in einem Drittel der südwestlicheren Proben erkannt wurde (Fig. 6). Der Modalbestand an Paragonit nimmt ebenfalls von Nordosten gegen Südwesten ab, wobei in gleicher Richtung eine Zunahme des Plagioklasgehaltes festgestellt werden kann.

Nach ROSENFELD et al. (1958) und ZEN und ALBEE (1964) zeigen die Basisabstände koexistierender Muskovit-Paragonit-Paare mit zunehmender Metamorphose eine Annäherung, wodurch der Differenzwert $d(002)_{MS} - d(002)_{Pa}$ immer kleiner wird. Für die sechs untersuchten Hellglimmerpaare (Tabelle 2) dieser Arbeit ergab sich keine deutliche regionale Abhängigkeit. Aus der bekannten Zoneographie der alpinen Metamorphose (NIGGLI und NIGGLI, 1965; WENK, 1962; TROMMSDORFF, 1966; WENK und KELLER, 1969) würde man für unser Arbeitsgebiet ein Ansteigen des Metamorphosegrades von Nordosten nach Südwesten erwarten. Demgegenüber weist Probe 308 einen zu kleinen Differenzwert auf. Möglicherweise wurden in diesen polymetamorphen und plurifaziellen Gesteinen verschiedenaltige Glimmergenerationen miteinander verglichen.

Margarit

In sechs Proben konnte optisch Margarit an der spiessigen Ausbildungsform, dem gegenüber Muskovit stärkeren Relief und der kleineren Doppelbrechung

sowie positiver Elongation bestimmt werden. In allen Fällen konnte die Anwesenheit von Margarit auch röntgenographisch bestätigt werden (Basisreflex 00.10). Drei der Fundpunkte stammen aus prätriadischen Metapeliten der Adula- und Simano-Decke, die drei übrigen Fundpunkte kommen aus mesozoischen, zum Teil karbonatführenden Metasedimenten. Die zierlichen Margaritkristalle sind postkinematisch gewachsen und dürften daher der tertiären alpinen Metamorphose angehören. Alle Fundpunkte liegen innerhalb des niedriggradigen Bereiches der alpinen Staurolithzone.

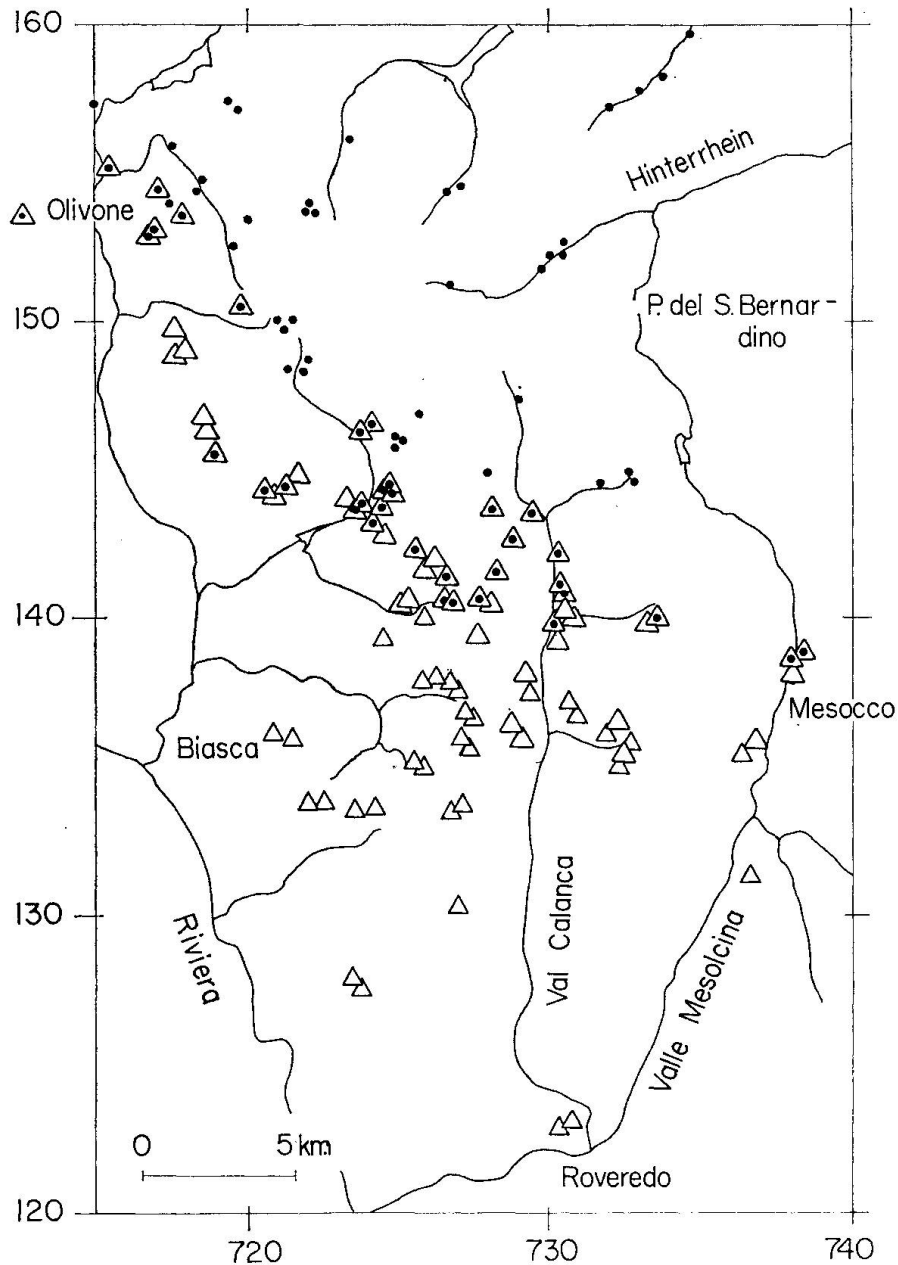


Fig. 7. Regionale Verteilung der Hellglimmer-Chlorit- und Hellglimmer-Biotit-Paragenesen. Punkt: Hellglimmer-Chlorit, offenes Dreieck: Hellglimmer-Biotit.

Chlorit und Biotit

Chlorit ist im nordöstlichen Teil des Arbeitsgebietes weit verbreitet, während Biotit in den Metapeliten erst südwestlich einer Linie Olivone–Mesocco auftritt (Fig. 7). Der modale Chloritanteil nimmt gegen Südwesten ab, wogegen der Biotitanteil zunimmt. Der Chlorit verschwindet innerhalb einer etwa 5 km breiten Zone südwestlich des ersten Auftretens von Biotit. Dies deutet darauf hin, dass Chlorit an der Biotitbildung beteiligt war.

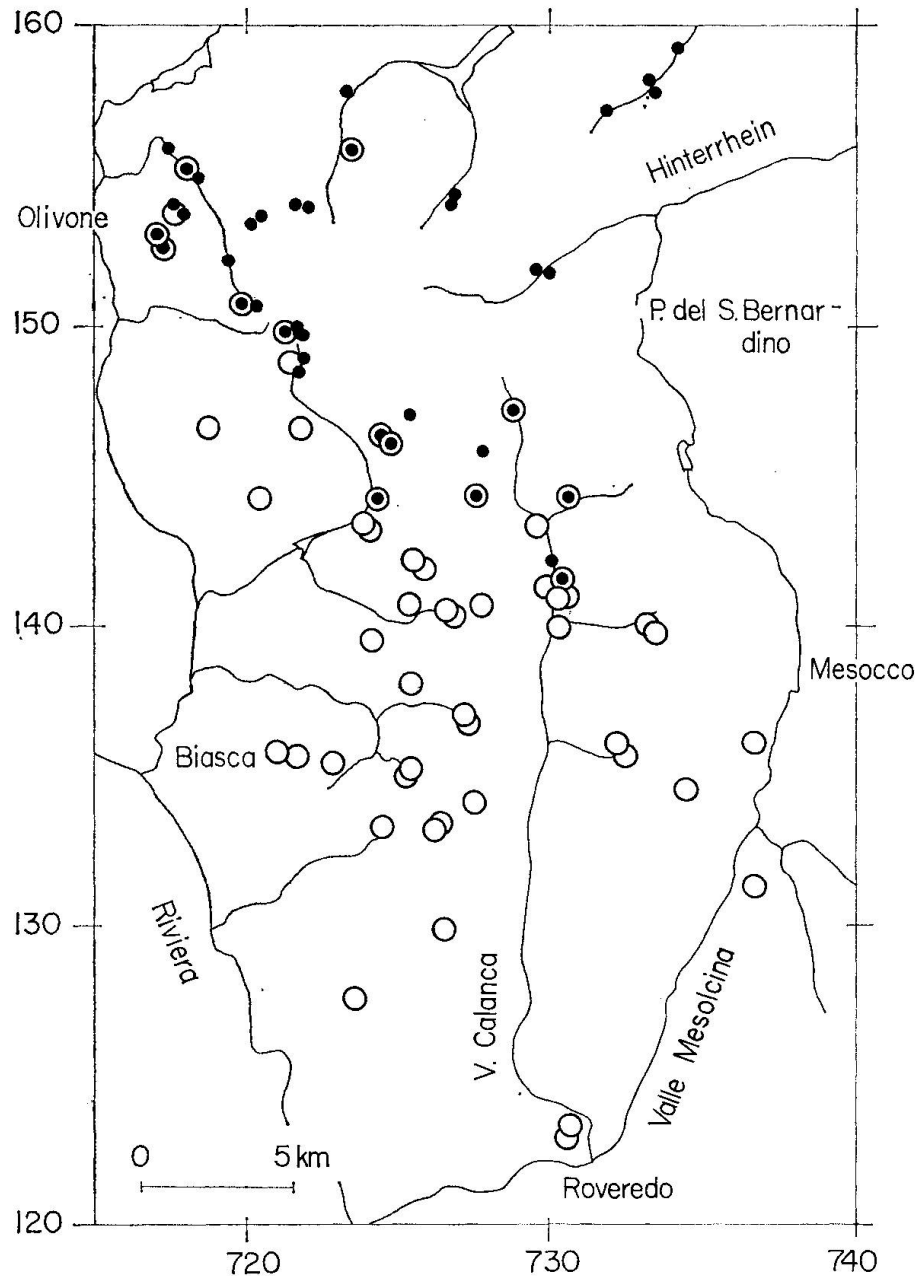


Fig. 8. Regionale Verteilung des An-Gehaltes der Plagioklase. Punkt: Albit (An 0–4), offener Kreis: Oligoklas bis Andesin (An 20–27, selten bis 32), offener Kreis mit Punkt: inverszonare Verwachsung von Albit (im Kern) und Oligoklas (im Rand).

Plagioklas

Der Anorthitgehalt der Plagioklase wurde mit Hilfe des Universaldreh-tisches, des Vergleiches $n_{\alpha \text{ Qz}} - n_{\gamma \text{ Plag}}$ abgeschätzt und zum Teil röntgenogra-phisch mit dem Diffraktometer (BAMBAUER et al., 1967) bestimmt. In den nord-östlichen Proben liegt der Plagioklas in Metapeliten als Albit vor, in den süd-westlichen als Oligoklas (bis Andesin) (vgl. Fig. 8). Die Übergangszone ist durch die nichtkristallographische Verwachsung von Albit (An 0–4 im Kern) und Oligoklas (An 20–27) im Rand gekennzeichnet. Die einzelnen Phasen der inver-sionären Plagioklase können anhand der Reliefunterschiede ($n_{\alpha \text{ Qz}} - n_{\gamma \text{ Plag}}$) iden-tifiziert werden; die Daten wurden durch E. Wenk mit Hilfe des Universaldreh-tisches bestätigt.

DISKUSSION

Alterszuordnung

Wie in der Einleitung erwähnt, erlitten die untersuchten Metapelite minde-stens drei metamorphe Phasen: voralpine, frühalpiner und tertiäre. Die vor-wiegend mikroskopischen Untersuchungen dieser Arbeit sowie die bisherigen Kenntnisse über die Verbreitung der frühalpinen und tertiären Metamorphose in den Zentralalpen gestatten es nur unter grossen Vorbehalten, die beobach-teten Mineralien den verschiedenen Metamorphosephasen zuzuordnen:

- voralpin: eventuell reliktscher Granat I, eventuell Chloritoid (R 12, 13) und Disthen in Probe R 16 (Kl 254),
- frühalpin: eventuell reliktscher Granat II, 3T-Muskovit, eventuell Chloritoid und Disthen im nordöstlichen Teil des Untersuchungsgebietes,
- tertiär: Biotit, Staurolith, neugebildeter Granat, Disthen (eventuell mit obigen Ausnahmen), die Mehrzahl der Hellglimmer, eventuell Chlo-ritoid.

Physikalische Bedingungen der tertiären Metamorphose

Das Verschwinden von Chloritoid, das Auftreten von Staurolith sowie von Margarit innerhalb des Staurolithfeldes erlauben es, für das Gebiet Olivone-oberstes Hinterrheintal–Mesocco Temperaturen um 500° – 550° C abzuschätzen (HOSCHEK, 1967, 1969; RICHARDSON, 1968; STORRE und NITSCH, 1973). Mini-male Angaben über den Druck erhält man durch die Anwesenheit von Disthen ($p = 4$ – $4,5$ kb, RICHARDSON et al., 1969; HOLDAWAY, 1972) sowie von Margarit + Quarz innerhalb der Staurolithzone ($p_{\text{H}_2\text{O}} > 5$ kb, STORRE und NITSCH, 1973).

Zoneographie

Vier subparallele Zonengrenzen durchlaufen das Untersuchungsgebiet von Nordwesten nach Südosten und gliedern das Gebiet in einen schwächer metamorphen nordöstlichen und einen höher metamorphen südwestlichen Teil. Die Zonengrenzen, welche das erste Erscheinen von Biotit, von Oligoklas und neugebildetem Granat definieren, fallen ungefähr zusammen und verlaufen von Olivone nach Mesocco (vgl. Fig. 5, 7 und 8). Die Staurolith-Zonengrenze ist schlecht definiert und zeigt dank den Fundpunkten der Proben KI 254 und 264 eine Ausbuchtung ins oberste Hinterrheintal (Fig. 2). Alle drei Zonengrenzen dürften der alpinen, tertiären Metamorphosephase angehören.

Um Auskunft über die mögliche dreidimensionale Lage der tertiären Zonengrenzen zu erhalten, wurden die Fundpunkte von Chlorit, Chlorit + Biotit sowie Staurolith (zusätzlich immer mit Muskovit + Quarz) in einem Profil (Fig. 9)

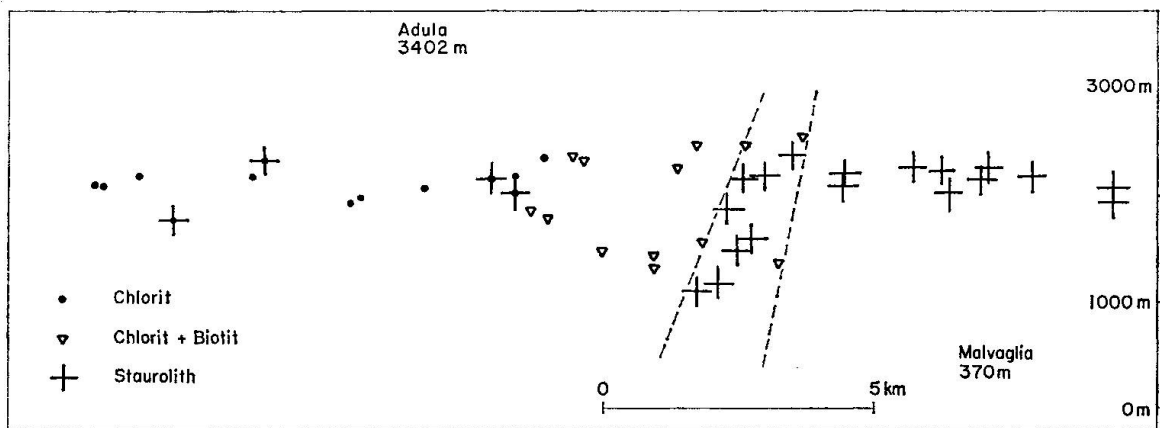
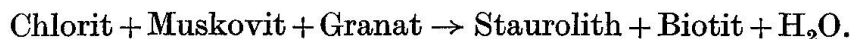


Fig. 9. Normalprojektion der Chlorit-, Chlorit+Biotit- und Staurolith-Fundpunkte tertiärer Bildungen auf eine Ebene senkrecht zu den beschriebenen Zonengrenzen (Spur der Projektionsebene in Fig. 1). Die gestrichelten Linien grenzen die auf Seite 471 beschriebene Isoreaktionsgrade ein.

dargestellt. Das Profil verläuft ungefähr senkrecht zu den oben beschriebenen Zonengrenzen in Richtung NNE (vgl. Fig. 1). Da die Kristallisation die Deformation weitgehend überdauert hat (vgl. z. B. AYRTON und RAMSAY, 1974), wurden Fundpunkte von maximal 5 km seitlicher Entfernung senkrecht auf die Profilebene projiziert. Die Aussagen, welche aus Fig. 10 gewonnen werden können, sind vorläufig aus den folgenden Gründen beschränkt. Einmal ist die Probedichte zu gering, vor allem im nördlichen Profilteil; zudem beträgt der Höhenunterschied zwischen tiefst- und höchstgelegener Probe maximal 1,5 km. Schliesslich sind die Reaktionen, welche zur Bildung von Biotit und Staurolith geführt haben, nicht bekannt. Immerhin fällt das erste *gehäufte* Auftreten von Staurolith zusammen mit dem Verschwinden von Chlorit in Gegenwart von Muskovit, Biotit und Quarz. (Dabei werden die vier nördlicher gelegenen Proben, in welchen Staurolith nur in wenigen Einzelkörnern auftritt, ausser acht

gelassen.) Eine mögliche Reaktion für die Staurolithbildung könnte demnach lauten:



In einem p_{tot} -T-Diagramm stellen univariante Kurven von Entwässerungsreaktionen bei Drücken $> 4 \text{ kb}$ (vgl. S. 469) beinahe Isothermen dar (vgl. z. B. MIYASHIRO, 1973, S. 45). Mit allen Vorbehalten (siehe oben) kann demnach eine Neigung der Isothermenfläche von $50\text{--}55^\circ$ gegen Norden bestimmt werden.

Verdankungen

Ein spezieller Dank gilt meinem Lehrer, Herrn Professor Dr. E. Wenk, auf dessen Anregung hin diese Arbeit entstanden ist. Herrn Professor Dr. M. Frey sei hier für die unermüdliche Hilfe und aufbauende Kritik während der Endphase der Entstehung dieser Publikation ganz besonders gedankt; ebenso Herrn T. Fischer und H. Hänni für das Anfertigen der Dünnschliffe; Herrn Dr. Luigi Bier und Herrn G. Levinson für die Verfassung des Riassunto bzw. Durchsicht des Abstract.

ANHANG: TABELLEN

Tabelle 1. *Disthen- und/oder staurolithführende Paragenesen*

Probe Nr.	Lokalität	Koordinaten	Di	St	Gr	Bi	Ms	Pa	Chl	An-Plag	d(060) _{Ms}	Ms-Modifikation
Cal 9	Calvaresc	732.2/136.2		×	×	×	×					
H 224	Cma. di Bresciano	718.4/151.5	×	×								
H 250a	Cma. di Bresciano	718.4/151.5	×	×								
H 250b	Cma. di Bresciano	718.4/151.5	×	×					×			Ctd, Ep/Clzo
LP 276a	Hennensädel	730.6/159.2	×	×	×	×	×		×			Ctd
Mis 66	Cabiolo	736.3/131.3	×	×	×	×	×		×			Ctd prism. Sill.
Kl 69/3	A. di Campel	741.3/131.5	×	×	×	×	×		○	22	1,497	2M
Kl 69/4	P. Padiön	741.7/131.7	×	×	×	×	×		○		1,496	2M
Kl 80	Sopra Augio	730.2/136.4		×				×				
Kl 98	Calvaresc	732.7/135.9		×	×	×	×	×	○			
Kl 104	Mottone di Cava	721.8/135.6	×	×	×	×	×	×	○	23-25	1,505	2M
Kl 106	Mottone di Cava	721.7/135.6	×	×	×	×	×	—	○	20-24	1,496	2M
Kl 131	A. Piöv di dentro	726.8/133.1	×	×	×	×	×			21-23		
Kl 134	A. Piöv di dentro	726.5/133.1	×	×	×	×	×		○	21-25		
Kl 135	I Pianon di Piöv	727.4/133.9	×	×	×	×	×	—	○	20-22	1,494	2M
Kl 139	Fil de Calvaresc	732.2/134.5	×	×	×	×	○				1,499	3T \gg 2M
Kl 142	Fil de Calvaresc	732.8/135.8		×	×	×	×	—	○	24		
Kl 152	Valbella	730.3/141.4	○	×	×	×	×		○	25		
Kl 159	P. di Giümella	727.0/136.1	×	×	×	×	×		○			
Kl 160	P. di Giümella	727.0/136.1	×	×	×	×	×		○			
Kl 163	P. di Giümella	727.0/136.1	×	×	×	×	×		×			
Kl 165	Passo di Giümella	727.3/136.8	×	×	×	×	×		○	23-25		
Kl 167	Cerign	727.0/137.9	×	×	×	×	×		○	20-25		
Kl 168	Cerign	726.9/137.9	×	×	×	×	×					
Kl 171	sopra A. d'Ardedo	726.0/138.1	×	×	×	×	×		○	28?		
Kl 172	Ganna del Torrent	725.2/135.1	○	×	×	×	×		○	30-31		
Kl 173	Ganna del Torrent	725.2/135.1	×	×	×	×	×		○	20-22	1,496	2M + evtl. 3T
Kl 180	A. di Caldözz	725.3/140.4	×	×	×	×	×	—	○		1,496	2M
Kl 181	A. di Caldözz	725.3/140.4	×	×	×	×	×	—	○	22	1,498	2M
Kl 184	A. di Caldözz	725.3/140.3	×	×	×	×	×	—	○		1,497	2M

Tabelle 2. *Basisreflexe koexistierender Muskovite und Paragonite*

(Technische Daten: Röntgendiffraktometer, Cu-K α -Strahlung, 40 kV, 30 mA, Divergenzschlitz 1°, Aufgangsschlitz 0,1°, Streustrahlenschlitz 1°, Abtastgeschwindigkeit 1/8° pro Minute, Papiervorschub 600 mm pro Stunde, Zeitkonstante je nach Intensität 2 bzw. 4; als interner Standard diente Silizium und/oder Quarz. Jeder Reflex [(0010) und (006)] wurde mindestens dreimal gemessen. Die Standardabweichung beträgt im Mittel 0,003 Å.)

Probe	Lokalität	Koordinaten	d(002) _{Ms}	d(002) _{Pa}	Differenz d(002) _{Ms} - d(002) _{Pa}	d(060) _{Ms}
Kl 305	Wäschehüt	732.1/157.2	9,951	9,628	0,323	1,497
Kl 244	Läntahütte	722.9/156.9	9,945	9,633	0,312	1,500
Kl 235	Btta. di Fornee	721.6/154.5	9,956	9,647	0,307	1,502
Kl 308	Tritt	734.6/159.9	9,923	9,633	0,290	1,502
Kl 285	V. dei Passetti	731.8/144.4	9,935	9,651	0,284	1,499?
Kl 98	Calvarese	732.7/135.8	9,909	9,647	0,262	1,505

Tabelle 3. *Chloritoidführende Paragenesen*

Probe Nr.	Lokalität	Koordinaten	Di	St	Ctd	Gr	Bi	Ms	Pa	Chl	Ep/ Clzo	d(060) _{Ms}	Ms-Modifikation
Ad 34	A. Scaradra	719.3/157.8			×			×		×			
H 224	Cma. di Bresciano	718.4/151.5	×		×			×		×	×		
H 250 b	Cma. di Bresciano	718.4/151.5	×		×			×		×	×		
LP 276	Hennensädel	730.6/159.2	×		×	×		×		×	×		
Lp 276 a	Hennensädel	730.6/159.2			×	×		×		×	×		
Kl 236	Btta. di Fornee	721.6/154.5			×		×					1,501	2M > 3T
Kl 254	Ursprung	726.6/151.3	×		×			×		×	×	1,501	2M
Kl 264	Chämboden	729.7/151.8	×		×			×		×	×	1,501	2M
Kl 265	Hohgufer	730.6/152.6			×			×		×	×	1,499	2M + 3T
Kl 285	V. dei Passetti	731.8/144.4			×		×	×		×	×	1,498	Ctd als gepanzertes Relikt
Kl 484	Dandrio	724.4/143.9			×			×		×	×	1,498	Ctd als gepanzertes Relikt

Zusätzlich wurden folgende Chloritoid-Fundpunkte aus der Literatur übernommen und in Fig. 2 übertragen:

GANSNER (1937)	Gadenstatt	734.4/153.7
	Mittaghorn	735.0/153.5
	P. Uccello	735.0/151.0
VAN DER PLAS (1959)	Wissgrätli	728.9/157.2
	Guralätsch	729.4/156.7

Tabelle 4. *Helldümmner* – *Chlorit* – *Biotit*Tabelle 4.1. *Muskovit* und *Chlorit* stabil

Probe Nr.	Lokalität	Koordinaten	Gr	Bi	Ms	Pa	Chl	Ep/Clzo	Karb	d(060) _{Ms}	Ms-Modifikation
Ad 33	A. Scaradra	719.3/157.8			×		×				
Blen 6	A. Predasca	712.2/157.9					×		×		
Blen 25	Campo Blenio	715.1/157.2	×								
Kl 200	A. di Giunello	725.6/146.7	×		×			○		1,497	2M
Kl 203	A. Carassino	718.4/154.7	×					○			An 0-4, 21-22
Kl 204	A. Carassino	718.4/154.7	×					×		1,501	2M > 3T
Kl 206	A. Bresciano	719.6/152.1	×		×						
Kl 210	A. della Bolla	717.4/155.9	×					×		1,496	
Kl 235	Btta. di Fornee	721.6/154.5	×		×			×		1,502	
Kl 240	Läntahütte	723.4/156.3	×		×			×		1,501	An 0-4, 20
Kl 244	Läntahütte	722.9/156.9	×		×			×		1,500	3T > 2M
Kl 248	Grosstäli	726.9/154.5	×		×			×		1,499	2M
Kl 254	Ursprung	726.6/151.3	×		×			×		1,501	2M > 3T
Kl 255	Ursprung	726.6/151.4	×	○				○		1,499	2M > 3T
Kl 262	Inner Teiltobel	729.5/151.5	×		×			○		1,499	2M ≧ 3T
Kl 263	Inner Teiltobel	729.5/151.5	×	○				○		1,500	2M
Kl 264	Studenpirg	729.7/151.8	×		×			○		1,501	2M
Kl 265	Hohgrufer	730.6/152.6	×		×			○		1,501	Ctd, Di, St
Kl 281	Pass di Passit	733.0/144.7	×		×			○		1,500	Ctd
Kl 283	Pass di Passit	732.7/144.5	×		×			○		1,499 ?	Di, St
Kl 285	V. dei Passetti	731.8/144.4	×	○				○		1,499	St
Kl 302	A. de Stabi	729.0/147.3	×	○				○			
Kl 303	A. de Stabi	728.1/145.3	×		×			○			
Kl 305	Wäschchrut	732.1/157.2	×		×			○		1,497	2M
Kl 306	Fanellalp	733.2/157.9	×		×			○			
Kl 307	Fanellastafel	733.6/158.3	×		×			○			
Kl 308	Tritt	734.6/159.9	×		×			○			
Kl 314	Cima Sgru	717.9/154.1	×		×			○		1,502	2M
Kl 328	L. dei Cadabi	721.5/150.1	×		×			○		1,499	2M
Kl 331	L. dei Cadabi	721.2/150.1	×		×			○			An 0-4, 21-27 (?)
Kl 473	Piano dell'Alpe	721.6/148.6	×		×			○		1,497	2M
Kl 475	A. di Quarnei	721.5/148.3	×	○	×			○		1,499	2M

Tabelle 4.2. *Muskovit, Chlorit und Biotit stabil*

Probe Nr.	Lokalität	Koordinaten	Gr	Bi	Ms	Pa	Chl	Ep/Clzo	d(060) _{Ms}	Ms-Modifikation
Blen 3	Campo Blenio	715.1/156.8	×	×	×	×	×	○		
Cal 33a	Filo di Revi	727.5/142.6	×	×	×	×	×	○		
Mis 69	Mesocco	738.2/138.9	×	×	×	×	×	○		
Kl 147	Matarela	730.2/139.8	×	×	×	×	×			An 0-4, 22
Kl 150	Valbella	730.3/140.3	×	×	×	×	×		1,496	Di
Kl 152	Valbella	730.3/140.3	×	×	×	×	×		1,501	2M
Kl 153	La Mott d'As	730.3/142.3	×	×	×	—	×		1,497	2M
Kl 177	Piancabella	716.6/153.1	○	×	×	×	○		1,497	An 0-4, 20-23
Kl 197	A. la Piotta	725.4/145.6	×	×	×	—	×		1,496	2M
Kl 202	Piano di Pena	724.4/146.8	×	○	×	—	×		1,496	2M
Kl 208	Capna. Adula	719.9/150.5	×	×	×	×	×			
Kl 269	A. de Trescolmen	733.6/139.9	×	×	×	×	×		1,502	2M = 3T
Kl 289	A. de Revi	728.5/142.5	×	×	×	—	×		1,497	Ma
Kl 290	Purtulina alta	727.8/144.7	×	×	×	×	×		1,497	2M
Kl 292	Bosch de Pertus	729.8/143.4	×	×	×	—	×		1,507	2M = 3T
Kl 313	Cima Sgiu	717.9/154.1	×	○	×	—	×			
Kl 314	Cima Sgiu	717.9/154.1	×	○	×	×	×		1,499	2M
Kl 409	Dandrio	724.5/144.3	×	×	×	×	×			
Kl 443	A. Rotondo	726.4/141.6	×	×	×	×	×			
Kl 467	Piano delle Bolle	721.8/146.8	×	×	×	—	○		1,499	2M
Kl 468a	Piano delle Bolle	721.5/146.9	×	×	×	—	○			
Kl 472	Piano dell'Alpe	721.2/148.5	×	○	×	—	○		1,496	2M > 3T
Kl 492	Camperio	712.5/153.7	×	×	×	×	×			Hbl, Ma

Tabelle 4.3. *Muskovit und Biotit stabil*

Probe Nr.	Lokalität	Koordinaten	Gr	Bi	Ms	Pa	Chl	Ep/Clzo	d(060) _{Ms}	Ms-Modifikation
Cal 35a	Fil di Remia	727.9/139.6	×	×	×	×	×			
Kl 77	Soazza	737.1/135.7	×	×	×	—	×		1,496	2M
Kl 91	I Mot del Seanot	730.8/136.9	×	×	×	—	○			
Kl 92	I Mot del Seanot	730.4/140.4	×	×	×	—	○			
Kl 93	La Fraggia	729.6/137.8	×	×	×	—	○			
Kl 95	Martinel	729.3/136.7	×	×	×	—	○			
Kl 96	Paré-Dedent	729.1/136.0	×	×	×	—	×			

Probe Nr.	Lokalität	Koordinaten	Paragenese	1,497	3T > 2M	St	St als Einschluss in Gr
Kl 108	Stabbielli	726.3/142.3	×	—	×	—	—
Kl 110	Pianezza	724.8/142.5	×	×	×	St	—
Kl 111	Pianezza	724.2/142.8	×	×	×	St	—
Kl 142	Calvaresc	732.8/135.8	×	×	○	—	—
Kl 146	Moncùch	730.2/139.5	○	×	×	St	—
Kl 190	Stabbielli	726.4/142.1	×	×	×	St	—
Kl 191	Bosco di Camp.	726.7/142.3	×	—	×	St	—
Kl 192	Pian Cascinaccio	726.8/142.3	×	—	×	St	—
Kl 277	A. de Trescolmen	733.3/140.1	×	—	○	—	—
Kl 280	V. dei Passetti	731.1/144.3	×	—	○	—	—
Kl 318	Valbella	730.4/141.2	×	—	×	—	—
Kl 324	Varecc	726.0/140.5	×	—	×	—	—
Kl 415	Sponda Negra	721.8/144.7	×	—	×	Di, St	—
Kl 416	Sponda Negra	721.8/144.6	×	—	×	—	—
Kl 442	A. Rotondo	726.6/141.4	×	—	×	—	—
Kl 444	A. di Bragnéi	725.1/142.4	×	×	○	—	—
Kl 449	A. di Ciou	720.4/144.8	×	×	○	—	—
Kl 451	A. di Ciou	720.4/144.0	×	×	×	—	—
Kl 453	Madra (ponte)	723.8/143.8	○	×	×	—	—
Kl 460	A. Pièi	718.6/146.7	×	×	×	Di, St	—
Kl 462	Grussett	720.7/144.4	×	×	×	St	—
Kl 482	Madra	724.1/144.0	○	—	×	—	—
Kl 486	Pian Premesti	717.7/149.6	×	—	×	—	—
Kl 488	Valle Grande	718.0/148.7	×	×	×	—	—
Kl 490	Valle Grande	718.0/148.7	×	—	×	—	—

Tabelle 5. Margaritiführende Paragenesen

Probe Nr.	Lokalität	Koordinaten	Paragenese
Blen 25	Campo Blenio	715.1/157.2	Ma - Hgl - Qz - Gr
Mis 70	Mesocco	738.0/138.4	Ma - Hgl - Qz - Zo - Bi - Gr (?)
Kl 269	Alp de Trescolmen	733.6/139.9	Ma - Hgl - Qz - Zo - Bi - Gr - Plag - Ilm - Ru
Kl 327	P. del Ramulazz	728.2/140.5	Ma - Hgl - Qz - Zo - Bi - Gr
Kl 484	Madra	724.4/143.9	Ma - Hgl - Plag - Zo
Kl 492	Camperio	712.5/153.7	Ma - Plag

Literatur

SMPM = Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.

- AYRTON, S. N. and J. G. RAMSAY (1974): Tectonic and metamorphic events in the Alps. SMPM 54, 609–639.
- BAMBAUER, H. U., M. CORLETT, E. EBERHARD and K. VISWANATHAN (1967): Diagrams for determination of plagioclase using X-ray powder methods. SMPM 47, 333–349.
- BEARTH, P. (1963): Contribution à la subdivision tectonique et stratigraphique du cristallin de la nappe du Grand-St-Bernard dans le Valais (Suisse). Livre à la mémoire du professeur Paul Fallot, tome II, 407–418, Paris 1960–1963.
- BRUGGMANN, H. O. (1965): Geologie und Petrographie des südlichen Misox. Diss. Zürich.
- CIPRIANI, C., F. P. SASSI e C. V. BASSANI (1968): La composizione delle miche chiare in rapporto con le costanti reticolari e col grado metamorfico. Rend. Soc. mineral. ital. 24, 153–187.
- EGLI, W. (1966): Geologische und petrographische Untersuchungen in der NW-Aduladecke und in der Sojaschuppe (Bleniotal, Tessin). Diss. Zürich, Offsetdruck P. Schmidberger.
- FREY, M. (1974): Alpine metamorphism of pelitic and marly rocks in the Central Alps. SMPM 54, 489–506.
- FREY, M., J. C. HUNZIKER, W. FRANK, J. BOCQUET, G. V. DAL PIAZ, E. JÄGER and E. NIGGLI (1974): Alpine metamorphism of the Alps – A review. SMPM 54, 247–290.
- FUMASOLI, M. W. (1974): Geologie des Gebietes nördlich und südlich der Iorio-Tonale-Linie im Westen von Gravedona. Diss. Zürich, Offsetdruck Steinbauer und Rau, München.
- GRAESER, S. und E. NIGGLI (1966): Zur Verbreitung der Phengite in den Schweizer Alpen; ein Beitrag zur Zoneographie der alpinen Metamorphose. «Etages tectoniques», Colloque de Neuchâtel.
- HÄNNI, R. (1972): Das Migmatitgebiet der Valle Bodengo (östliches Lepontin). Beitr. geol. Karte Schweiz, NF 145.
- HEITZMANN, P. (1975): Zur Metamorphose und Tektonik im südöstlichen Teil der Lepontinischen Alpen (Provincia di Como, Italia). SMPM 55, 467–522.
- HOLDAWAY, M. J. (1971): Stability of andalusite and the aluminium silicate phase diagram. Amer. J. Sci. 271, 97–131.
- HOSCHEK, G. (1967): Untersuchungen zum Stabilitätsbereich von Chloritoid und Staurolith. Contr. Mineral. Petrol. 14, 123–162.
- (1969): The stability of staurolite and chloritoid and their significance in metamorphism of pelitic rocks. Contr. Mineral. Petrol. 22, 208–232.
- JENNY, H., G. FRISCHKNECHT und J. KOPP (1923): Geologie der Adula. Beitr. geol. Karte Schweiz, NF 51.
- KÜNDIG, E. (1926): Beiträge zur Geologie und Petrographie der Gebirgskette zwischen Val Calanca und Misox. Diss. Zürich, Buchdruckerei Gebrüder Leemann und Co.
- KWAK, T. A. P. (1971): The selective replacement of the Al-silicate by white micas. Contr. Mineral. Petrol. 32, 193–210.
- MİYASHIRO, A. (1973): Metamorphism and metamorphic belts. George Allen & Unwin Ltd., London.
- MÜLLER, R. O. (1958): Petrographische Untersuchungen in der nördlichen Adula. SMPM 38, 403–473.
- NIGGLI, E. und C. R. NIGGLI (1965): Karten der Verbreitung einiger Mineralien der alpidischen Metamorphose in den Schweizer Alpen. Eclogae geol. Helv. 58, 335–368.

- RICHARDSON, S. W. (1968): Staurolite stability in a part of the system Fe-Al-Si-O-H. *J. Petrol.*, 467–488.
- RICHARDSON, S. W., M. C. GILBERT and P. M. BELL (1969): Experimental determination of kyanite-andalusite and andalusite-sillimanite equilibria; the aluminium silicate triple point. *Amer. J. Sci.* 267, 259–272.
- ROSENFELD, J. L., J. B. THOMPSON and E.-AN ZEN (1958): Data on coexisting muscovite and paragonite. *Bull. geol. Soc. Amer.* 69, 1637 (Abstr.).
- SCHWANDER, H., J. HUNZIKER und W. B. STERN (1968): Zur Mineralchemie von Hellglimmern in den Tessiner Alpen. *SMPM* 48, 357–390.
- STORRE, B. und K. H. NITSCH (1973): Zur Stabilität von Margarit im System CaO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O. *Contr. Mineral. Petrol.* 43, 1–24.
- TROMMSDORFF, V. (1966): Progressive Metamorphose kieseliger Karbonatgesteine in den Zentralalpen zwischen Bernina und Simplon. *SMPM* 46, 431–460.
- VAN DER PLAS, L. (1959): Petrology of the northern Adula region, Switzerland. *Leidse geol. Meded.* 24, afl. 2.
- WEBER, W. (1966): Zur Geologie zwischen Chiavenna und Mesocco. Diss. Zürich, Offsetdruck P. Schmidberger.
- WENK, E. (1962): Plagioklas als Indexmineral in den Zentralalpen. *SMPM* 35, 311–319.
- WENK, E. und F. KELLER (1969): Isograde in Amphibolitserien der Zentralalpen. *SMPM* 49, 157–198.
- WENK, H. R. (1974): Two episodes of highgrade metamorphism in the northern Bergell Alps. *SMPM* 54, 555–565.
- ZEN, E.-AN and A. L. ALBEE (1964): Coexisting muscovite and paragonite in pelitic schists. *Amer. Mineralogist* 49, 904–925.
- ZWART, H. J. (1973): Metamorphic map of the Alps. 1 : 1,000,000, sheet 17. The subcommission for the cartography of the metamorphic belts of the world, Leiden/UNESCO Paris.

Manuskript eingegangen am 15. Oktober 1976.