

# Deformation und Metamorphose im Gebiet des Nufenenpasses, Lepontinische Alpen

Autor(en): **Klaper, E.M. / [s.n.]**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **66 (1986)**

Heft 1-2

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-50885>

## **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.

## **Deformation und Metamorphose im Gebiet des Nufenenpasses, Lepontinische Alpen**

von *E. M. Klaper*<sup>1</sup>

### **Abstract**

The effects of progressive regional Alpine metamorphism on polyphase deformed Mesozoic cover rocks have been studied along a cross section in the northern Lepontine Alps in the Nufenenpass area, Ticino, Switzerland.

Three deformation phases can be recognized: an early Alpine D1 deformation phase lead to a complex nappe structure through overthrusting and folding. The main Alpine D2 deformation phase isoclinally refolded the interleaved Penninic basement—cover nappe sequence on a regional scale and caused the formation of the regionally dominant foliation. A third late Alpine D3 deformation event tilted the strata in a steeply (north) dipping position (“northern steep zone”) and formed small scale crenulation folds.

A metamorphic pattern indicating greenschist to amphibolite facies conditions during regional Alpine metamorphism formed during the second and third deformation phase. The growth of porphyroblastic index minerals like garnet, staurolite and kyanite in (semi-)pelitic rocks and of the existence of the stable assemblages  $ma + cc + qtz$  and  $ma + qtz$  in marly rocks display a systematic metamorphic zonation with increasing grade from the north towards the south in the area studied.

The P-T conditions calculated from standard geothermo- and barometric techniques indicate for final (maximum temperature) equilibration an increase in temperature from 450 to 600°C and an increase in pressure from 5 to 7.5 kb.

**Keywords:** Progressive alpine metamorphism, metamorphic zonation, deformation, index minerals, Lepontine Alps.

### **Einleitung**

Die progressive regionale alpine Metamorphose zeigt im Lepontin konzentrische Zonen von zunehmendem Metamorphosegrad (NIGGLI, 1970), welche an den wesentlichen strukturellen oder tektonischen Grenzen überlagert sind. Der höchste Grad der Metamorphose wird in den tiefsten heute aufgeschlosse-

---

<sup>1</sup> Geologisches Institut ETH-Zentrum, 8092 Zürich, Switzerland.

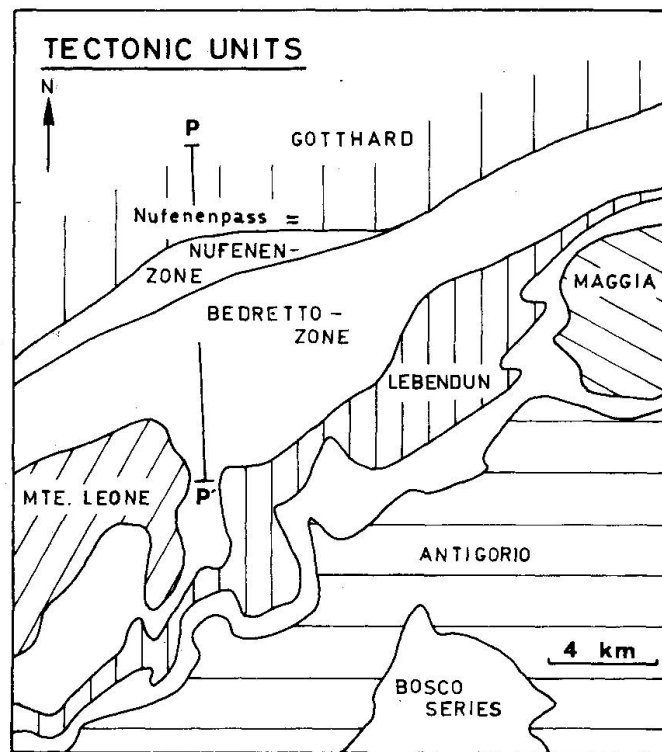


Abb. 1 Tektonische Karte des südlichen Gotthardmassivs und des nördlichen Lepontins (penninische Alpen) im Gebiet des Nufenenpasses (PP': untersuchtes Profil).

nen tektonischen Einheiten erreicht. Gegen Süden werden diese Metamorphosezonen von der Insubrischen Linie abgeschnitten.

Die vorliegende Arbeit untersucht ein etwa 7 km langes, N-S verlaufendes Profil mit zunehmendem Metamorphosegrad vom Nufenenpass ins oberste Val Formazza (Abb. 1, Linie P-P'). Die präsentierten Daten geben einen Überblick über die Deformationsgeschichte, das Verhältnis Deformation / Metamorphose und die Metamorphosebedingungen dieses Gebietes. Das bearbeitete Profil umfasst einerseits die steilstehenden ultrahelvetischen Sedimente südlich des Gotthardmassives (Nufenen-Zone) sowie die südlich daran anschliessenden penninischen Bündnerschiefer (Bedretto-Zone, mesozoische Sedimentbedeckung der prätriadischen Monte-Leone- und Lebendun-Kristallin-Einheiten). Diese beiden strukturell und faziell recht unterschiedlichen Einheiten sind durch einen tektonischen Kontakt voneinander getrennt.

Der Gesteinsinhalt beider mesozoischer Serien umfasst Marmore, Kalkglimmerschiefer und mergeliges sowie (semi-)pelitisches Material.

### Makroskopische Gefügeelemente - Deformationsgeschichte

Die beobachtete Deformation lässt sich schematisch in drei Entwicklungsschritte (D1-D3) gliedern:

Während einer ersten Deformationsphase D1 wurde durch Überschiebungen und erste Faltung ein penninischer Deckenstapel gebildet (HIGGINS 1964), wahrscheinlich verbunden mit der Abscherung der ultrahelvetischen Decken (MILNES 1974). Die erste Verformung ist in der Bedretto-Zone an einer reliktierten Foliation sowie an später nochmals verfalteten Isoklinalfalten erkennbar.

Eine Verschuppung und die Anlage erster Falten in der Nufenenzone dürfte während D1 stattgefunden haben.

Eine zweite Deformationsphase D2 verfaltete die Gesteine der Bedretto-Zone in regionalem Massstab isoklinal und verursachte die Bildung einer penetrativen, regional dominanten Foliation. Falten dieser zweiten Generation weisen oft eine starke Streckungsliniation auf, die parallel zu den Faltenachsen verläuft. Gebildet wird die Liniation durch elongierte Quarzkörner und eingeregelt Feldspäte. Diese Falten werden oft schon nach kurzer Distanz isoklinal, und ihre Stoffbänderung verläuft parallel zu der Achsenebenenfoliation.

Während D2 entwickelten sich die während D1 angelegten Falten in der Nufenenzone durch weitere Kompression zu grossen, engen Falten mit südfallenden Achsenebenen. Ihre Faltenachsen streichen etwa N70E und weisen ein äusserst variables Einfallen von 20°–80° gegen Westen oder Osten auf («sheath-fold»-Stil). Diese Falten sind assoziiert mit einer Foliation, die in der Regel parallel zu einem der Faltenchenkel verläuft und den anderen mit wechselndem Winkel (Schieferungsbrechung) durchschlägt (KLAPER, 1985; RAMSAY, 1979). Auch die Gesteine der Nufenen-Zone zeigen eine gut ausgebildete Streckungsliniation.

Typischerweise bildeten sich bis zum Ende dieser zweiten Deformationsphase keine verfalteten Isoklinalfalten in der Nufenen-Zone. Komplexe Falteninterferenzen und verfaltete Falten treten nur in der Bedretto-Zone auf (KLAPER 1985).

Während eines letzten faltenbildenden Deformationsereignisses D3 bildete sich eine synformale Steilstellung (Rückfalte) im nördlichen Lepontin und südlichen Gotthardmassiv, die von MILNES (1974) «nördliche Steilzone» genannt wurde. Diese nördliche Steilzone ist assoziiert mit einer Kleinfaltung, deren Faltenprofile offen, oft knickartig sind (Chevron-Geometrie). Die Achsenebenen dieser Falten fallen typischerweise mit 40° bis 70° gegen Norden ein, während die Faltenachsen mit 25° gegen N60E einfallen. In glimmerreichen Gesteinen entwickelte sich während D3 eine Krenulation, ohne jedoch eine penetrative Foliation zu bilden.

#### **Texturen und Mineralwachstum**

Die modale Häufigkeit der einzelnen Minerale in den untersuchten Gesteinstypen – Cc/Do-Marmore, Metapelite, mergelige Gesteine – variiert sehr.

stark, und damit variiert natürlich auch das Aussehen der Gesteine im Feld und im Handstück.

Gemeinsam ist allen Gesteinen eine unterschiedlich stark ausgeprägte D2-Foliation (S2). Die Foliation wird gebildet durch eingeregeltten Chlorit, Biotit sowie Hellglimmer. Das Wachstum der meisten Porphyroblasten wie Granat, Staurolith und Disthen fand nach der Bildung der Hauptschieferung zwischen der zweiten und dritten sowie während der dritten Deformationsphase statt.

In S2 eingeregeltte Hellglimmer (Muscovit und Paragonit, gelegentlich auch Margarit) bilden die dominante Foliation. Vereinzelt können spät (post D2) gesprossene Quermuscovite beobachtet werden. In Gesteinen, die eine D3-Kleinfältelung aufweisen, tritt synkinematisches Wachstum einer zweiten Hellglimmergeneration an den Faltenschenkeln auf, während Hellglimmer in den Faltenumbiegungen rekristallisieren.

Synkinematischer Margarit tritt eingeregelt in der Matrix von Phylliten und Glimmerschiefern auf, während Post-D2-Porphyroblasten von Margarit die Matrix überwachsen. Diese spiessig ausgebildeten Porphyroblasten können mehrere Millimeter lang werden (Abb. 2a und b). Margarit und Chlorit pseudomorph nach Syn- bis Post-D2-Chloritoid-Porphyroblasten (Abb. 2a) können im Bereich des Staurolith-in-Isogrades beobachtet werden. Margarit koexistiert in einigen Proben auch mit Granat.

Biotit tritt sowohl eingeregelt in der Matrix wie auch in einer syn- bis post-D3 gebildeten Querglimmer-Generation auf (Abb. 2c, d, e). Post-D2 gewachsene Hornblende-Porphyroblasten sind oft teilweise von Biotit ersetzt (Abb. 2c und d), der seinerseits noch eine späte Chloritisierung zeigen kann.

Granatwachstum kann syn-D2 erstmals beobachtet werden und dauert an bis in Syn- bis Post-D3-Zeiten (Abb. 2c, d, e). Granat zeigt ausser Staurolith und Disthen alle Matrixminerale auch als Einschlüsse.

Post-D2 gebildete Hornblende überwächst die Foliation meist helizitisch und kann garbenförmig ausgebildet sein. Hornblende kann randlich in Biotit umgewandelt sein (Abb. 2d und c).

Der oft verzwillingt auftretende Staurolith überwächst die Hauptschieferung helizitisch und koexistiert meist mit Granat, ist jedoch nie völlig im Granat eingeschlossen (Abb. 2e). Zeigt das Gestein eine während D3 entstandene Kleinfältelung, lässt sich ein Syn- bis Post-D3-Alter der Staurolithe ableiten (Abb. 2f).

Disthen liegt gelegentlich in der Schieferungsebene, meistens jedoch überwächst er die Matrixfoliation (Abb. 2d). Typischerweise koexistiert Disthen mit Plagioklas und gelegentlich mit reliktischem Paragonit. Die genauen Altersbeziehungen von Disthen zu den übrigen Mineralien sind schwer abzuschätzen, weil Disthen vorwiegend in wenig krenulierten Gesteinen auftritt. Da Disthen oft mit Granat koexistiert, jedoch nie von Granat eingeschlossen wird, muss

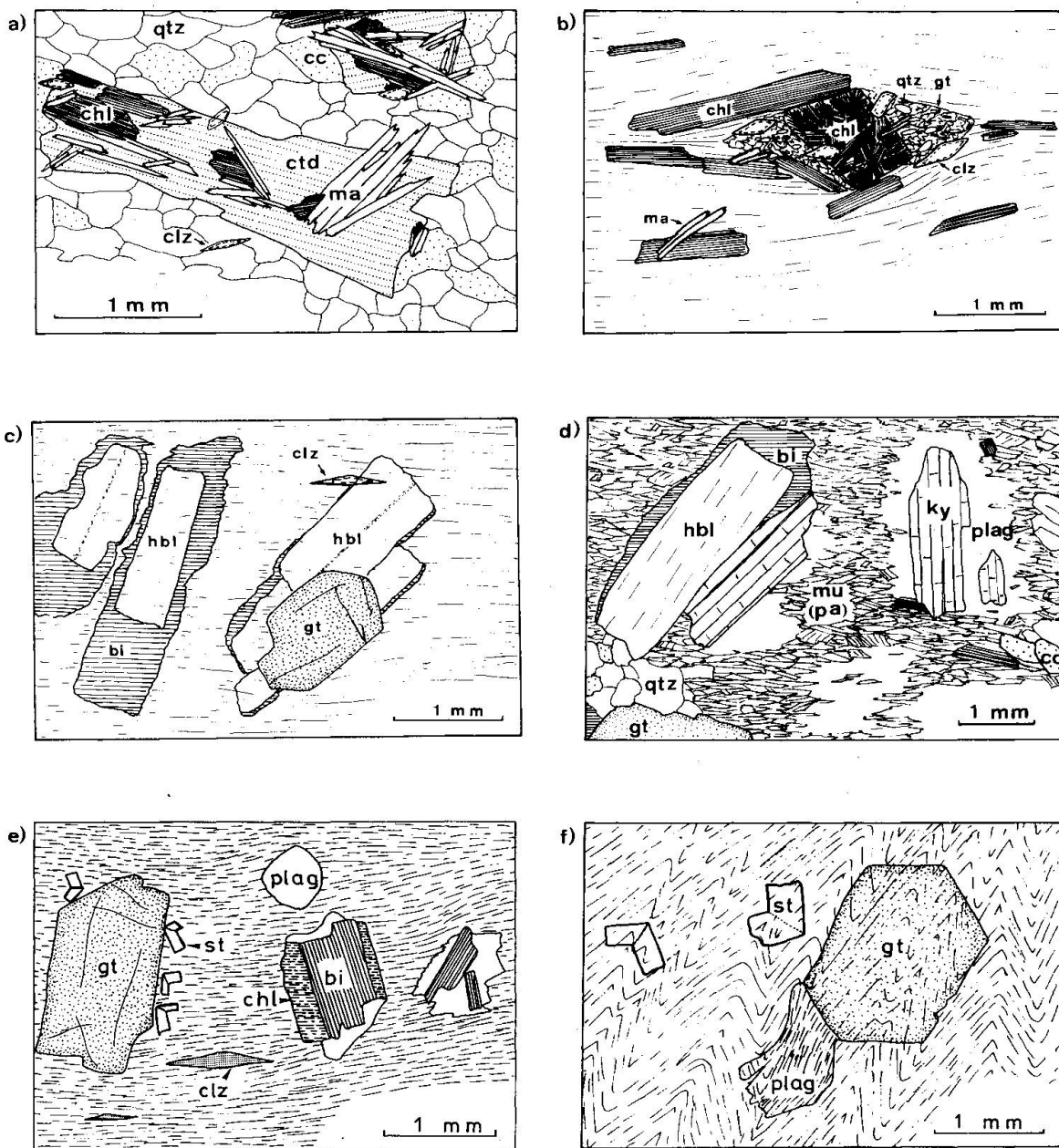


Abb. 2 Typische Mineraltexturen:

- Margarit und Chlorit pseudomorph nach Chloritoid.
- Margarit und Chlorit pseudomorph nach Chloritoid (?), im Druckschatten wächst netzartiger Granat.
- Die Matrix wird von Post-D2-Hornblende-Porphyroblasten überwachsen, die randlich teilweise durch Biotit ersetzt sind.
- Post-D2-Hornblende-Granat- und Disthen-Porphyroblasten überwachsen die S2-Foliation. Plagioklas koexistiert mit Disthen in einer Matrix mit reliktschem Paragonit.
- Granat und Biotit überwachsen die S2-Foliation. Das Wachstum des Stauroliths, des Plagioklases sowie der Chlorit-Bärs der Biotite ist von Post-Granat-Alter.
- Syn- bis- Post-D3-Granat, -Staurolith und -Plagioklas überwachsen die während D3 verfaltete S2-Foliation.

angenommen werden, dass es sich um ein relativ spätes Mineralwachstum handelt. Auch zeigen Disthen-Porphyroblasten im Untersuchungsgebiet keinerlei Deformationsphänomene wie etwa undulöse Auslöschung

### Metamorphose

Daten (\*) zur Metamorphose des vorliegenden Untersuchungsgebietes konnten anhand von Gesteinen eines breiten chemischen Spektrums gewonnen werden (Pelite, Mergel, Kalkglimmerschiefer und Marmore). Wachstum und Deformation von Porphyroblasten können in der Regel mit makro- und mikroskopischen Gefügen beziehungsweise Deformationsereignissen korreliert werden.

Diese Beziehungen zwischen Mineralwachstum und Deformation sind in Abb. 3 für die Nufenen- und Bedretto-Zone schematisch zusammengefasst.

Die höchstmetamorphen Porphyroblasten wachsen im wesentlichen nach der Bildung der regional dominanten D2-Foliation sowie während der D3-Phase. Ob der Höhepunkt der Metamorphose in der Nufenen-Zone wirk-

		pre D2	D2	inter-kinematic	D3	post D3
Nufenen Zone	chl		_____			_____
	ctd		_____			
	bi		_____			_____
	mu		_____		_____	
	ma		_____			_____
	clz		_____			_____
	plag				_____	_____
	hbl			_____		
	gt		_____		_____	
	st				_____	
Bedretto Zone	chl	_____				_____
	bi	_____				_____
	mu	_____				_____
	ma		_____			
	clz		_____			
	plag			_____	_____	
	hbl			_____		
	gt		_____		_____	
	st				_____	
	ky				_____	

Abb. 3 Das Wachstum alpin metamorpher Mineralien in den beiden tektonischen Einheiten Nufenen- und Bedretto-Zone ist dargestellt in Relation zu den Deformationsphasen D2 und D3.

\* Mikrosondendaten auf Wunsch vom Autor erhältlich.

lich etwas früher stattfand als in der Bedretto-Zone, wie Abb. 3 impliziert, oder ob allenfalls die Deformation in den beiden Teilgebieten nicht synchron verlief, kann hier nicht schlüssig beantwortet werden. Mineralwachstum und Rekristallisation überdauerten jedoch sicher das letzte faltenbildende (D3) Deformationsereignis.

#### PELITE

Die regionale Verbreitung der AFM-Indexminerale Granat, Staurolith und Disthen in metapelitischen Gesteinen im Nufenengebiet wurde kartiert (vgl. Abb. 7) und erlaubt es, vier Metamorphosezonen zu definieren (KLAPER und BUCHER, im Druck): a) Chloritoid-Zone, b) Staurolith + Chlorit-Zone, c) Staurolith + Biotit-Zone, d) Disthen-Zone. Die Isograde, welche diese Zonen separieren, können durch univariante Modellreaktionen im System KFMASH dargestellt werden. Sie sind den Schreinemaker-Gesetzen gemäss um zwei Invarianzpunkte angeordnet. Abb. 4 zeigt die Anordnung dieser Modellreaktionen um die beiden Punkte [ctd] und [als] abwesend:

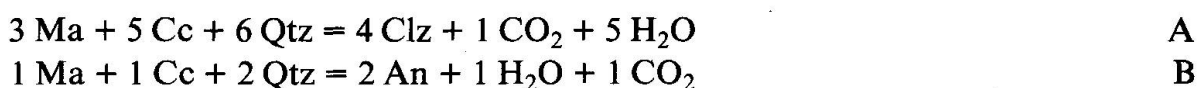
- A  $\text{ctd} + \text{qtz} = \text{gt} + \text{st} + \text{chl} + \text{H}_2\text{O}$   
Granat + Staurolith + Chlorit Isograd
- B  $\text{gt} + \text{chl} + \text{mu} = \text{st} + \text{bi} + \text{qtz} + \text{H}_2\text{O}$   
Staurolith + Biotit-Isograd
- C  $\text{st} + \text{chl} + \text{mu} = \text{ky} + \text{bi} + \text{qtz} + \text{H}_2\text{O}$   
Disthen + Biotit-Isograd

Die beiden univarianten Paragenesen (A) und (B) sind Teil der Paragenese [als] abwesend, während (B) und (C) Subparagenesen der Paragenese [ctd] abwesend sind. Abb. 4 zeigt eine mögliche Topologie für diese beiden Invarianzpunkte sowie den Verlauf der Metamorphose im P-T-Feld.

#### MERGELIGE GESTEINE UND KALKGLIMMERSCHIEFER

In Margarit-führenden mergeligen Gesteinen und Kalkglimmerschiefern können zwei Metamorphose-Zonen ausgeschieden werden, die auf dem letzten Auftreten der Paragenese  $\text{Ma} + \text{Cc} + \text{Qtz}$  basieren: a)  $\text{Ma-Cc-Qtz}$ -Zone, b)  $\text{Ma-Qtz}$ -Zone.

Die Koexistenz von  $\text{Ma} + \text{Cc} + \text{Qtz}$  mit Clinozoisit einerseits und mit Plagioklas andererseits erfordert das Gleichgewicht der folgenden beiden Isograd-definierenden Reaktionen (BUCHER et al. 1983):





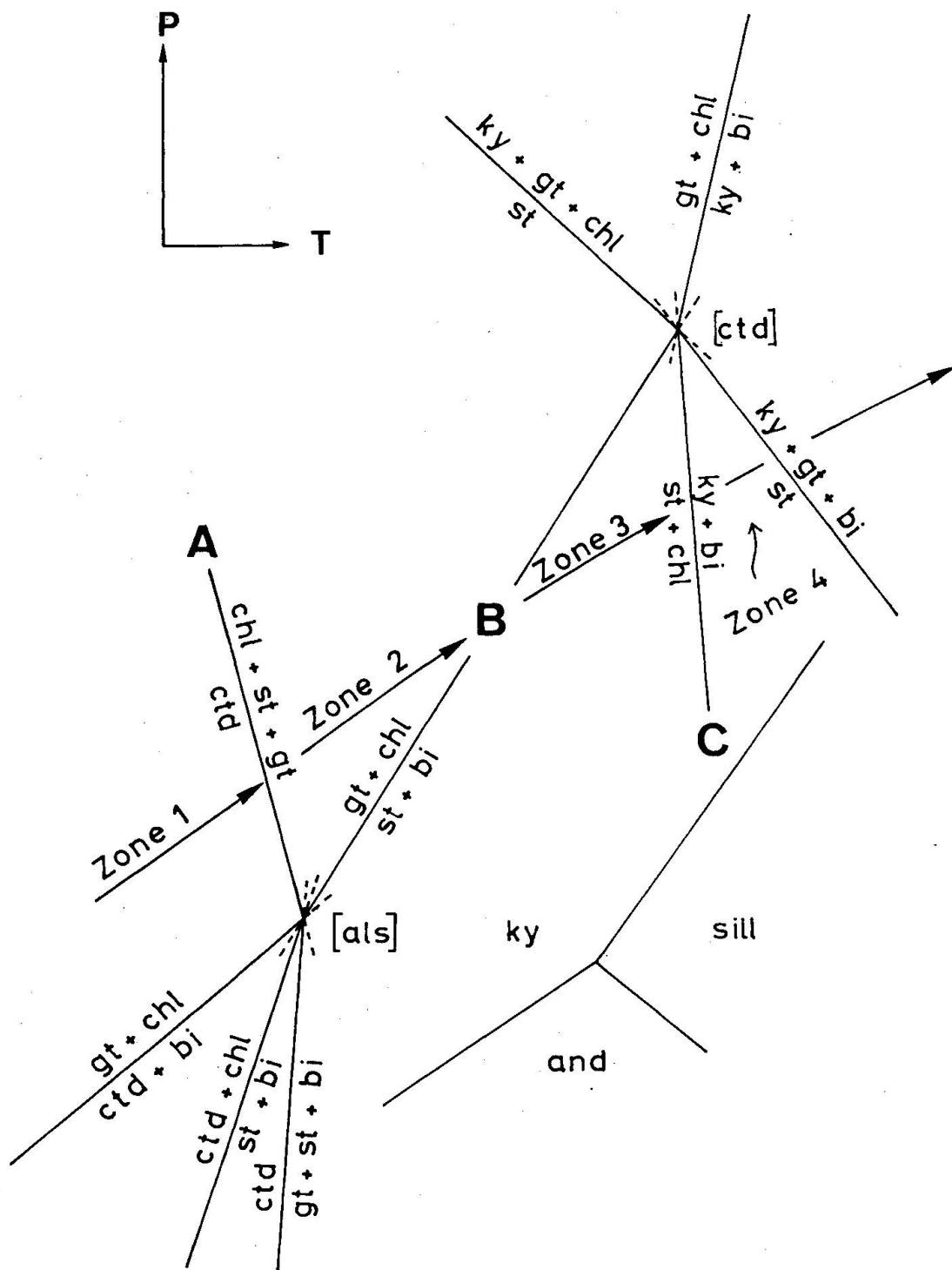
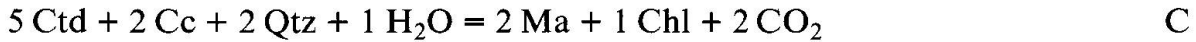


Abb. 4 P-T-Diagramm der Isograd-definierenden Mineralreaktionen in Metapeliten. Gegeben ist der von den untersuchten Gesteinen beschriebene Metamorphoseweg (Zone 1-4).

Abkürzungen der Mineralnamen:

Als	Alumosilikat	An	Anorthit	Bi	Biotit
Chl	Chlorit	Clz	Clinozoisit	Ctd	Chloritoid
Gt	Granat	Gr	Grossular	Ky	Disthen
Ma	Margarit	Py	Pyrophyllit	Qtz	Quarz

Im Bereich des Ma-Cc-Qtz-out-Isogrades können Pseudomorphosen von Margarit und Chlorit nach Chloritoid (Abb. 2a) beobachtet werden. Die in diesen Texturen oft beobachtete 6-Phasen-Paragenese Ma + Chl + Ctd + Cc + Clz + Qtz verlangt ein Gleichgewicht der folgenden beiden Reaktionen:



Die beobachtete 5-Phasen-Paragenese Ctd + Cc + Qtz + Chl + Clz entspricht jedoch dem folgenden Gleichgewicht:



Die Gleichgewichtskurven der Reaktionen A und B sind in Abb. 5 in einem T-X(CO<sub>2</sub>)-Schnitt des Systems CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-(C-O-H)-(FeO) bei 5 kb dargestellt.

Die beiden Abb. 5 und 6 basieren auf den Daten von HELGESON et al. (1978). Die Gleichgewichtskonstanten für die gerechneten Reaktionen wurden von den mit der Mikrosonde gemessenen Mineralchemismen abgeleitet, und es wurde mit Clinozoisit-Daten sowie mit einem CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-Fluid mit nicht-idealer Mischbarkeit gerechnet. Reaktionen mit Beteiligung von Chloritoid können jedoch wegen mangelnder chemischer Daten nur mittels einer Schreinemaker Analyse in Abb. 5 eingefügt werden.

Das in Abb. 5 und 6 dargestellte System wird charakterisiert durch die Invarianzpunkte I1 [An], I3 [Py], I4 [Clz, Py] (Abb. 6) und I5 [An, Py]. Die Lage des

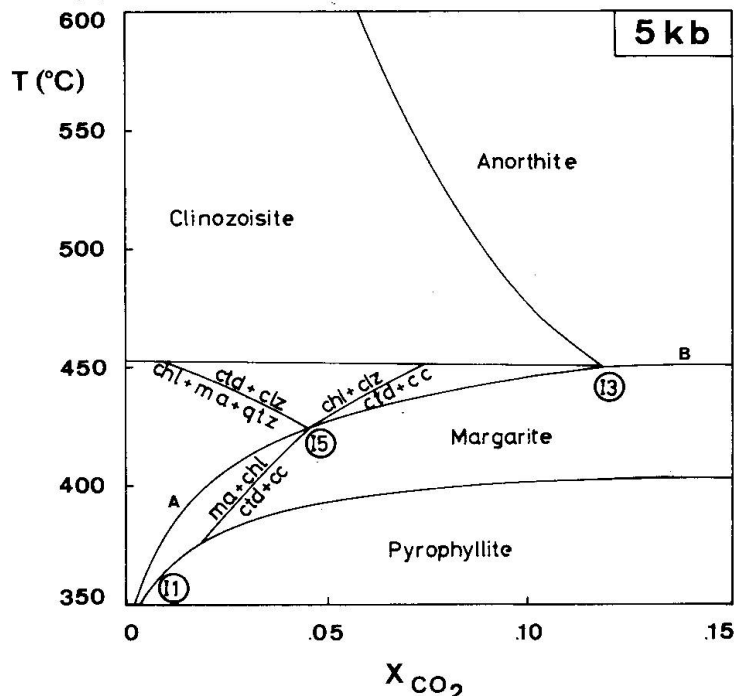


Abb. 5 T-X(CO<sub>2</sub>)-Diagramm für einige Reaktionen im System CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O bei P = 5 kb. Chloritoid involvierende Reaktionen um den Invarianzpunkt I5 gemäss Schreinemaker gezeichnet. Abkürzungen der Mineralnamen wie in Abb. 4.

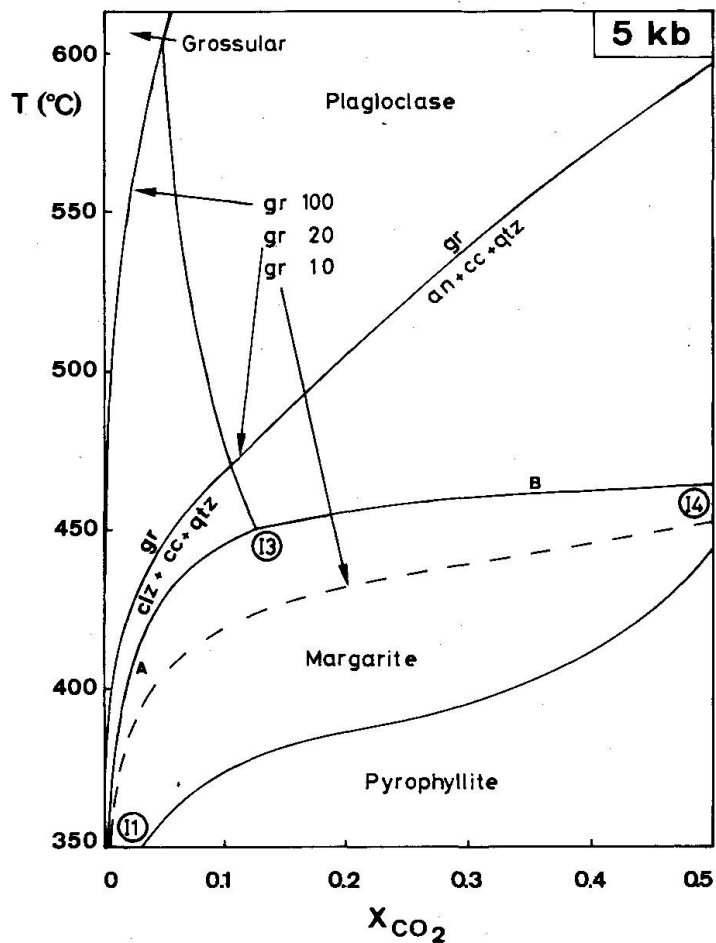


Abb. 6 T-X(CO<sub>2</sub>)-Diagramm bei P = 5 kb für Grossular involvierende Reaktionen im System CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O. Die Grossular-Reaktionen sind für unterschiedliche Granatzusammensetzungen konturiert. Abkürzungen der Mineralnamen wie in Abb. 4.

Invarianzpunktes I5 (in Abb. 5) zeigt, dass die Reaktionen, die von den beobachteten Texturen abgeleitet werden können, bei einer Fluidzusammensetzung mit sehr geringem X(CO<sub>2</sub>) abgelaufen sind.

Die im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes beobachtete Paragenese Clinozoisit + Disthen ist nach BUCHER et al. (1983) indikativ für Drücke über 6 (-7) kb, ist jedoch in der 5-kbar-Topologie von Abb. 5 nicht stabil.

#### GRANAT IN MERGELIGEN GESTEINEN

Granat ist Bestandteil der meisten mergeligen Gesteine dieses Gebietes, und er koexistiert oft mit Margarit. Das Stabilitätsfeld von reinem Grossular ist in Abb. 6 bei P = 5 kbar gegeben. Diese Figur zeigt, dass Margarit und Grossular kein gemeinsames Stabilitätsfeld aufweisen. Daraus folgt, dass die mit Margarit koexistierenden Granate nur eine geringe Grossularkomponente aufweisen

können, um die stabile Paragenese  $\text{Ma} + \text{Cc} + \text{Qtz} + \text{Gt}$  zu bilden. Wie Abb. 6 zeigt, ist dazu eine Verdünnung des Grossulars von etwa 80–90% notwendig. Diese Werte sind konsistent mit der Zusammensetzung der gemessenen Granate (z. B.  $\text{Alm}_{74}\text{Sp}_2\text{Py}_4\text{Gr}_{20}$ ), die im wesentlichen Almandin-Komponente aufweisen.

#### KIESELIGE MARMORE

Im untersuchten Gebiet treten Calcitmarmore mit der Paragenese  $\text{Cc} + \text{Qtz} + \text{Hgl}$  ( $\pm \text{Phl}$ ) sowie, mengenmässig untergeordnet, auch Calcit-Dolomit-Marmore mit den folgenden Paragenesen auf:

$\text{Cc} + \text{Do} + \text{Qtz} + \text{Hgl} + \text{Tr}$  ( $\pm \text{TC}$ )

$\text{Cc} + \text{Do} + \text{Qtz} + \text{Hgl} + \text{Phl}$  ( $\pm \text{TC}$ )

Wie im Bedrettal (KLAPER 1982) und im Gebiet des Campolungo (WALTHER 1982) gibt es auch in diesem Gebiet textuelle Evidenz für eine späte retrograde Bildung des Talks. Talk bildet, gelegentlich auch gemeinsam mit Tremolit, Überzüge auf Schicht- sowie auf Klufflächen.

#### Bedingungen der Metamorphose

Die während der Metamorphose herrschenden Druck- und Temperaturverhältnisse können anhand von standardisierten Geothermo- und Geobarometern bestimmt werden. Die experimentellen oder empirischen Kalibrationen der folgenden Gleichgewichte wurden für die P-T-Bestimmungen verwendet:

- a)  $\text{MgFe}_{-1}(\text{Bi}) = \text{MgFe}_{-1}(\text{Gt})$  THOMPSON (1976)  
 b)  $3 \text{ An (in Plag)} = 1 \text{ Gross (in Gt)} + 2 \text{ ky} + 1 \text{ Qtz}$  ARANOVICH et al. (1980)  
 c)  $\text{Bi} + \text{Mu} + \text{Chl}$  POWELL and EVANS (1983), BUCHER (in Vorb.)  
 d)  $\text{Hbl} + \text{Ky}$  SELVERSTONE (1984)  
 e)  $\text{Cc} + \text{Do}$  RICE (1977), BAUMGARTNER (1982)

Tabelle 1: Resultate der Thermobarometrie

Temp. °C	Methode	Metamorphosezonen in Metapeliten			
		Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
	Cc - Do	490 +/- 30	550 +/- 30		600 +/- 25
	Gt - Bi	450 +/- 30	475 +/- 25	500 +/- 25	550 +/- 30
Druck kb	Bi - Mu - Chl	4.5 - 5.5		6	-
	Gt - Plag	-	-	-	7 - 8
	Hbl - Ky	-	-	-	7.5

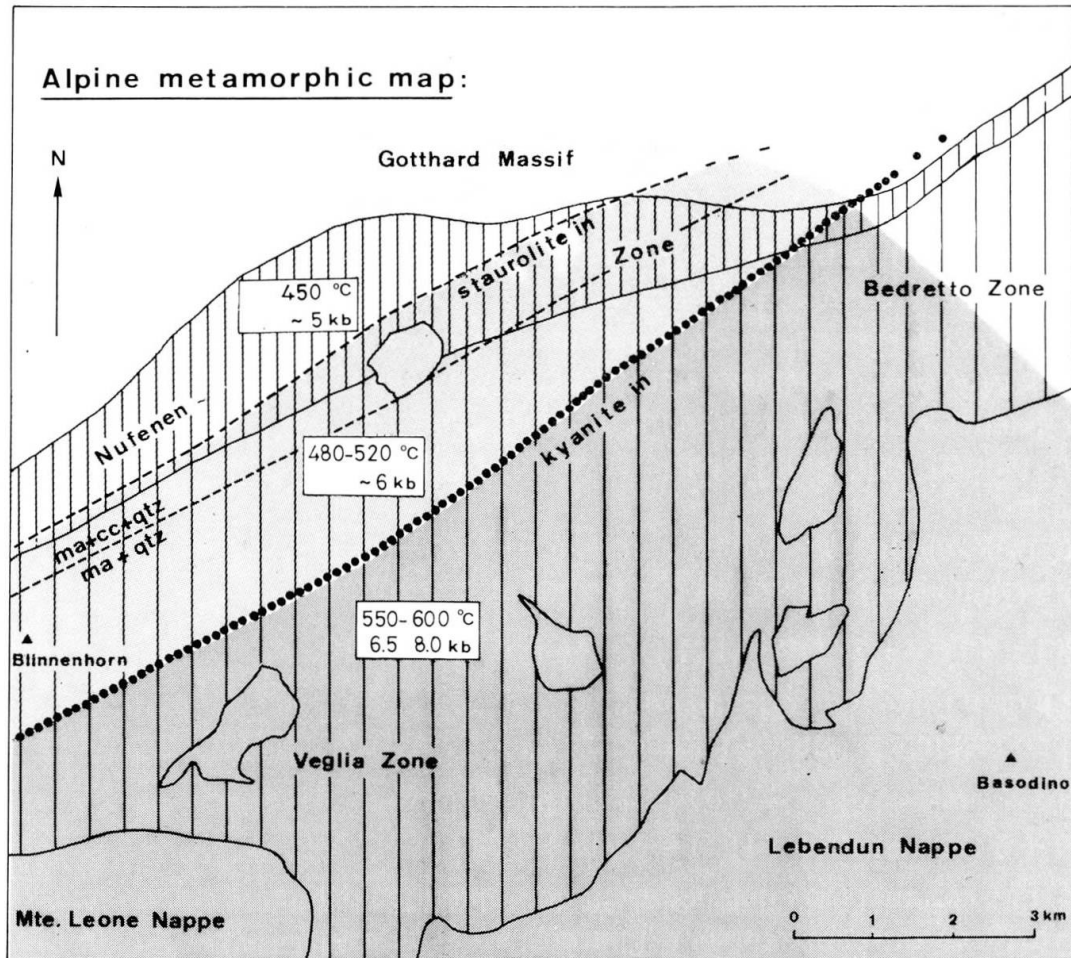


Abb. 7 Metamorphose-Karte des Nufenenpass-Gebietes: gegeben ist das erste Auftreten von Staurolith und Disthen in Metapeliten sowie der «Margarit + Calcit + Quarz-out»-Isograd in Metamergeln.

Die maximalen Druck- und Temperaturbedingungen, welche von der tertiären alpinen Regionalmetamorphose im Gebiet Nufenenpass-Val Formazza erreicht wurden, sind in Tab. 1 zusammengefasst und in Abb. 7 dargestellt. Es kann eine systematische Temperaturzunahme von 450 °C bis auf 600 °C beobachtet werden. Die Druckabschätzungen ergeben eine Druckzunahme von 5 kb im Norden auf 7-8 kb im Süden des untersuchten Gebietes.

### Zusammenfassung

Das bearbeitete Profil weist eine markante Zunahme des Metamorphosegrades von N nach S auf. Die Zunahme der Temperaturen reicht von 450 °C bis 600 °C, die Zunahme der Drücke von 5 kb bis 7-8 kb.

Diese Werte sind konsistent mit den Metamorphosebedingungen benachbarter Gebiete, wie sie von FRANK (1983) für das Simplongebiet abgeleitet wur-

den, oder für die Region Airolo (FREY et al., 1980, Geotraverse Basel-Chiasso) und für das Naret-Gebiet (Bedretto-Tal, KLAPER, 1982).

Der Höhepunkt der Metamorphose wurde nach der Bildung der Hauptschieferung, also nach der zweiten (D2) und während der dritten Deformationsphase (D3) erreicht. Die hohen Temperaturen überdauerten jedoch das letzte faltenbildende Deformationsereignis.

Der relativ starke Druckanstieg über eine kurze Distanz (ca. 2 kb über 3 km) wird interpretiert als das Resultat einer Aufwölbung (differential uplift) der südlichen, tektonisch tieferen Einheiten (penninische Decken, Bedretto-Zone) relativ zu den nördlichen Teilen des Untersuchungsgebietes (Gotthardmassiv, Nufenen-Zone).

#### Verdankungen

Herrn Prof. K. Bucher-Nurminen und Prof. J.G. Ramsay sei für die Unterstützung dieser Arbeit, die Teil einer Dissertation darstellt, herzlich gedankt. Für die Durchsicht des Manuskriptes danke ich auch Herrn Dr. R. Oberhänsli und M. Baumann.

#### Literaturverzeichnis

- ARANOVICH, L.YA. and PODLESSKIY, K.K. (1980): The garnet-plagioclase barometer. *Doklady, Earth Sci. Sections*, 251, 101-103.
- BAUMGARTNER, L.P. (1982): Petrologie der Alp de Confin, Misox. Unpublished master thesis, University of Basel. 140.
- BUCHER-NURMINEN, K. (in Vorb.): Chlorite-Biotite-Muscovite geobarometry in low grade pelitic schists.
- BUCHER, K., FRANK, E. and FREY, M. (1983): A model for the Progressive Regional Metamorphism of Margarite bearing Rocks in the Central Alps. *Am. Jour. Sci.* 283-A, 370-395.
- FRANK, E. (1983): Alpine metamorphism of calcareous rocks along a cross section in the central Alps: occurrence and breakdown of muscovite, margarite and paragonite. *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.* 63, 37-93.
- FREY, M., BUCHER, K., FRANK, E. and MULLIS, J. (1980): Alpine metamorphism along the geotraverse Basel-Chiasso - a review. *Eclogae geol. Helv.* 73, 527-546.
- HELGESON, H. C., DELANY, J. M., NESBITT, H. W. and BIRD, D. K. (1978): Summary and critique of thermodynamic properties of rock-forming minerals. *Amer. J. Sci.* 278-A, 229 p.
- HIGGINS, A. K. (1964): The structural and metamorphic geology of the area between Nufenenpass and Basodino, Ticino. PhD Thesis, Imperial College, London.
- KLAPER, E. M. (1982): Deformation und Metamorphose in der nördlichen Maggiazone. *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.* 62, 47-76.
- KLAPER, E. M. (1985): Deformation history and metamorphic mineral growth along the Pennine frontal thrust (Wallis, Ticino). Unpubl. PhD Thesis, ETH Zurich.
- KLAPER, E. M. and BUCHER-NURMINEN, K. (im Druck): Alpine metamorphism of pelitic schists in the Nufenen area, Lepontine Alps. *J. metam. Geol.*

- MILNES, A. G. (1974): The structure of the Pennine zone: a new working hypothesis. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 85, 1727-1732.
- NIGGLI, E. (1970): Alpine Metamorphose und alpine Gebirgsbildung. *Fortschr. Mineral.* 47, 16-26.
- POWELL, R. and EVANS, J. A. (1983): A new geobarometer for the assemblage biotite-muscovite-chlorite-quartz. *J. of metam. Geol.* 1, 331-336.
- RAMSAY, J. G. (1979): Exkursion in the area Nufenenpass-Griessee. *Eclogae geol. Helv.* 72, 299-304.
- RICE, J. M. (1977): Contact metamorphism of impure dolomitic limestone in the Boulder Aureole, Montana. *Contr. Mineral. Petrol.* 59, 237-259.
- SELVERSTONE, J., SPEAR, F. S., FRANZ, G. and MORTEANI, G. (1984): High pressure metamorphism in the SW Tauern Window, Austria: P-T paths from hornblende-kyanite-staurolite schists. *J. of Petrol.* 25, 501-531.
- THOMPSON, A. B. (1976): Mineral reaction in pelitic rocks: I. Prediction of PTX(Fe,Mg) phase relations. *Amer. J. Sci.* 276, 401-424.
- WALTHER, J. V. (1982): Description and interpretation of metamorphic phase relations at high pressure and temperature. 2. Metasomatic reactions between quartz and dolomite at Campolungo, Switzerland. *Amer. J. Sci.* 283-A, 459-485.

Manuskript erhalten 20. Februar 1986, angenommen 6. Juni 1986.