Zeitschrift:	Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie
Band:	53 (1973)
Heft:	2
Artikel:	Über Metamorphose und Deformation der östlichen Malenco- Ultramafitite und deren Rahmengesteine (Prov. Sondrino, N-Italien)
Autor:	Bucher, Kurt / Pfeifer, Hans-Rudolf
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-41383

# 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. <u>Mehr erfahren</u>

# **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. <u>En savoir plus</u>

# 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. <u>Find out more</u>

# Download PDF: 03.07.2025

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

# Über Metamorphose und Deformation der östlichen Malenco-Ultramafitite und deren Rahmengesteine (Prov. Sondrio, N-Italien)

Von Kurt Bucher und Hans-Rudolf Pfeifer (Zürich)\*)

Mit 5 Figuren und 3 Tabellen im Text

#### Abstract

The eastern Malenco body (total area  $170 \text{ km}^2$ , 2 km thick) consists mainly of ultramafic rocks, many of which display mesoscopic primary igneous layering. It is further possible to distinguish the upper from the lower part of the body. The upper part is foliated and contains mainly elinopyroxene-antigoriteserpentinites with meta-clinopyroxenite layers; the lower part is more massive and contains mainly olivine-antigoriteserpentinites. A possibly early alpine (70 my) folding is associated with greenschist metamorphism; pelitic schists contain stilpnomelane/biotite and in carbonate rocks the Ancontent of albite varies between 0 and 10%. Metamorphic mineralzones are later than tectonic boundaries. The alpine mineral paragenesis in the ultramafics is antigoriteolivine-diopside-chlorite-chrommagnetite. From field data it is inferred that this paragenesis must have been produced at higher temperatures than indicated by the published (metastable) reactions involving chrysotile as the serpentine mineral. Textural evidence indicates more than one generation of minerals in the ultramafics. Together with the existence of a prealpine foliation this indicates that the Malenco ultramafics underwent a earlier serpentinisation before the alpine deformation and metamorphism.

# EINFÜHRUNG

Über einen längeren Zeitraum hinweg lag die Gegend südlich der Berninagruppe abseits der intensiv bearbeiteten Gebiete der Alpen. So kam es, dass von einem der grössten Ultramafititkörper der Alpen (ca. 170 km<sup>2</sup>, Fig. 1) neben einer Umrisskartierung (STAUB, 1946) nur wenige Mineralstudien bekannt wurden (DE QUERVAIN, 1938, 1963; FAGNANI, 1958). Seit kurzem ist die Erforschung dieser Region etwas intensiviert worden, vor allem in Hin-

<sup>\*)</sup> Adresse der Autoren: K. Bucher und H.-R. Pfeifer, Institut für Kristallographie und Petrographie der ETHZ, Sonneggstrasse 5, CH-8006 Zürich.



#### Tektonik

### Alpine Indexminerale



Fig. 1. Übersichtskarte des Malenco-Körpers mit Indexmineralpunkten der alpinen Metamorphose (nach Daten von BUCHER (1972), DIETRICH und DE QUERVAIN (1968), PFEIFER (1972), SEGER (1971), WANNER (1971) und unpublizierte Daten von V. Trommsdorff) und grobskizzierter Petrographie. Eingerahmtes Gebiet: Bisherige Strukturmessungen (Pass d'Ur-Antiform). blick auf die Metamorphose der Malenco-Ultramafitite (PETERS, 1968; EVANS und TROMMSDORFF, 1970, TROMMSDORFF und EVANS, 1972). Die vorliegende Arbeit befasst sich mit neuen petrographischen Daten und Metamorphoseund Deformationsbeziehungen des östlichen Malenco-Körpers zum tektonischen Rahmen.

Seine tektonische Situation im Bereich des hochpenninischen und unterostalpinen Rahmens ist in Figur 1 dargestellt: Der Körper bildet eine über 2 km mächtige Decke, mit steiler Lage im S und flacher im N, und taucht als flachgewellte Antiform nach E ab. In ihrem Kern sind fensterartig die Plagioklasgneise und Dolomitmarmore der sog. *Lanzada-Einheit* aufgeschlossen. Im Hangenden folgen, über Plagioklasgneisen und Amphiboliten sowie Metasedimenten der *Margna-Einheit*, die Metagranitoide und Glimmerschiefer der unterostalpinen *Sella-Bernina-Einheit* (STAUB, 1916, 1921).

#### DEFORMATION

Der untersuchte E-Teil der Malenco-Region (Fig. 1) zeigt eine intensive mehrphasige alpine Faltung (es ist sicheres Mesozoikum verfaltet). Diese greift



Fig. 2. Strukturdaten vom NE-Rand des Malenco-Körpers, projiziert in die untere Halbkugel. Zusammengestellt aus Daten von BUCHER (1972), GERBER (1966) und PFEIFER (1972). Faltenachsen/Achsenebenen: Dreiecke = Phase 2, Punkte = Phase 3, Kreise = Phase 4 (vgl. Tab. 1). PU: Achse der Pass d'Ur-Antiform.

# Tabelle 1. Entstehung der Parallelgefüge am NE-Rand des Malenco-Körpers(Pass d'Ur-Antiform, vgl. Fig. 1). AE = Achsenebenen

Phasen	Malenco-Körper	Rahmengesteine (inkl. Mesozoikum)				
0	Lagenbau im dm- bis m-Bereich (S <sub>0</sub> ) Klinopyroxenit- und Chromspinell-Lagen					
1	Schieferung $S_1$ (Antigoritregelung) schwach diskordant zu $S_0$ . Evtl. erste Magnetit- und Klinopyroxenitlängung					
Bildung des alpinen Deckenstapels						
2	?	Meist isoklinale Falten im mm- bis m- Bereich mit $AE_2$ parallel Schieferung $S_2$ (Hellglimmerregelung) und Faltenachsen $L_2$ . $S_2$ parallel Stofflagen				
Homoaxiale Deformation						
3	Asymmetr. Falten im mm- bis 20 m- Bereich mit ausgeprägtem AE-Clivage $(AE_3)$ und häufigen dm-Knickzonen. Verfaltet Schieferung $S_1$	mm- bis dm-Fältelung mit $AE_3$ und Fal- tenachsen $L_3$ auf $AE_2 = S_2$ . Im Feld Altersbeziehung zu Phase 2 nicht erkenn- bar				
Entstehung der Pass d'Ur-Antiform						
4	Asymmetr. mm- bis dm-Fältelung mit mm-Knickzonen, verfaltet deutlich L <sub>3</sub> -Faltenachsen	Als Kleinfalten nicht sicher nachgewie- sen (Überlagerung mit Phase 2)				

über alle tektonischen und petrographischen Grenzen hinweg und ist mit einer syn- bis postkinematischen Metamorphose verbunden. Die bis jetzt vorliegenden Daten aus dem Bereich der ESE-streichenden Pass d'Ur-Antiform sind in Tabelle 1 und Figur 2 schematisch dargestellt: Bemerkenswert ist die Tatsache, dass die Hauptschieferung im Malenco-Körper (S<sub>1</sub>) deutlich diskordant zu derjenigen in den Rahmengesteinen (S<sub>2</sub>) liegt, welche dem Deckenkontakt parallel läuft und deshalb mit der Bildung des Deckenstapels korreliert werden kann. Es ist somit wahrscheinlich, dass S<sub>1</sub> voralpin gebildet wurde, was zugleich eine voralpine Antigoritbildung (1. Generation) im Malenco-Körper bedingt.

# PETROGRAPHIE UND METAMORPHOSE

Am Westrand des Malenco-Körpers dominieren im Bereich der Bergeller Tonalitaureole (Fig. 1) thermometamorphe Gesteine (TROMMSDORFF und EVANS, 1972). Im östlichen Teil zeigen die bisherigen Untersuchungen einen im dm- bis m-Bereich unregelmässig gebänderten Ultramafititkörper. Es lassen sich hauptsächlich zwei Gesteinsgruppen unterscheiden, die jedoch ohne scharfe Grenze ineinander übergehen: In den tiefern Bereichen herrschen relativ massige, braungrüne klinopyroxen- und brucitführende Olivin-Antigoritserpentinite vor (lokal auch Antigorit-Olivinfelse), welche chrommagnetitreiche Lagen enthalten. Die Dachpartie (ca. oberste 500 m) wird gebildet aus schiefrigen, grünen olivin- und brucitarmen *Klinopyroxen-Antigoritserpentini*ten und fast reinen Antigoritserpentiniten. Diese wechsellagern mit grauschwarzen chloritreichen Metaklinopyroxeniten. Eine im Mittel 10 m mächtige zonierte und karbonat- und tremolitdurchaderte metasomatische Abfolge von Ophikarbonaten, Tremolitfelsen und Talkschiefern bildet den Kontakt zu den hangenden Margnagneisen.

Im ganzen Ultramafititkörper verbreitet, finden sich cm- bis dm-mächtige chlorit- und diopsidführende *Titanklinohumit-Olivinlagen* (konkordant zur Schieferung  $S_1$ ), die oft in diskordante Adern übergehen können (vgl. auch DE QUERVAIN, 1938). Sie sind immer mit  $S_1$  verfaltet und sind je nach Mächtigkeit mehr oder weniger stark zerbrochen. Eine jüngere Generation von verfalteten Diopsidadern liegt diskordant zu  $S_1$ .



Fig. 3. Normmineralbestand von Gesteinen des Malenco-Körpers im Dreieck Orthopyroxen-Klinopyroxen-Olivin (IUGS-Empfehlung Aug. 1972). Die Zahlen beziehen sich auf die Analysen in Tabelle 2.

Der normative Mineralbestand (Fig. 3) der olivinreichen Gesteine der tiefern Bereiche des Körpers entspricht ursprünglich harzburgitischen Gesteinen. In den Dachpartien zeigen die Ultramafitite vorwiegend lherzolithischen bis pyroxenitischen Charakter. Auffällig am *Chemismus* (Tab. 2) ist der hohe Aluminiumgehalt aller Gesteine.

Charakteristisch für den *alpinen Metamorphosegrad* der Rahmengesteine des Malenco-Körpers (Metagranite, Plagioklasgneise) ist die Mineralparagenese Quarz-Albit-Epidot-Chlorit-Biotit (grüne Varietät) oder -Stilpnomelan (Fig. 1). Biotit und Stilpnomelan sind postkinematische Bildungen. Am NE-Rand des

	1	2	3	4	5	6
$SiO_2$	40,3	41,9	41,8	42,6	42,5	44,9
TiO,			0,1	0,1	0,14	
Al <sub>a</sub> Õ <sub>a</sub>	1,45	2,1	2,8	2,9	3,7	5,4
Fe <sub>3</sub> O <sub>3</sub>	2,1	3,4	4,4	1,9	3,44	2,4
Cr.O.	0,16	0,1	0,3	0,2	0,26	0,2
FeO	3,7	2,5	3,8	3,3	4,0	2,2
NiO	0,3	0,2	0,3	0,3	0,27	0,2
MnO	0,11	0,1	0,1	0,1	0,13	0,1
MgO	39,9	37.9	33,9	35,9	30,2	27,5
CaO	1,2	0,1	0,9	0,9	6,9	9,8
P.O.	_	0,04	0.09	0,07		
$H_2O$	10,5	11,7	10,6	11,4	8,8	7,5
Total	99,72	100,0	99,3	99,7	100,34	100,2

Fabelle	2.	Chemische	Analusen	von	Gesteinen	des	E	Malenco-Körn	pers (Gew.	- %)	
---------	----	-----------	----------	-----	-----------	-----	---	--------------	------------	------	--

1: Olivin-Antigoritserpentinit, Chiesa Valmalenco (TROMMSDORFF und EVANS, 1972).

2: Antigoritserpentinit, Fore. di Fellaria, Val Campo Moro.

3: Klinopyroxen-Antigoritscrpentinit, Sasso Moro.

4: Klinopyroxen-Antigoritserpentinit, Alpe Fellaria.

5: Klinopyroxenreicher Antigoritserpentinit, Val Poschiavina.

6: Klinopyroxenit, Sasso Moro.

2-6: Analytiker: BUCHER und PFEIFER.

Malenco-Körpers überlappen sich die Verbreitungsgebiete beider Minerale in einer schmalen Zone. Der Plagioklas weist dort in calcitführenden Metasedimenten und Amphiboliten Anorthitgehalte zwischen 0 und 10% auf. Im Fenster von Lanzada hingegen findet sich invers zonarer Plagioklas mit An-Gehalten von 5–10%, jedoch kein Stilpnomelan mehr. Dieser Übergang von unterer Grünschieferfazies im Hangenden zur oberen im Liegenden des Malenco-Körpers bildet im folgenden die Grundlage für die Betrachtung der Metamorphose der Ultramafitite.

In den Gesteinen des untersuchten E-Teils des Körpers liegen die meisten Minerale in zwei oder mehreren Generationen vor (Fig. 4): Neben einer fein-



Fig. 4. Mineralgenerationen und Polygonisation (rechte Bildhälfte) in olivinführenden Klinopyroxen-Antigoritserpentiniten.

kristallinen, parallel geregelten und verfalteten Antigorit-1-Generation liegen grössere Antigorit-2-Individuen quer zur allgemeinen Mineralregelung. In den olivinreichen Gesteinstypen zeigen grössere, unregelmässig begrenzte Massen von Olivin-1-Erzentmischungen und Deformationserscheinungen und werden von Antigorit überwachsen. Kleinere polygonale Olivin-2-Individuen (klar, ohne Entmischungen) umgeben kranzförmig Olivin-1 oder bilden Polygonalgefüge mit Antigorit. Die erste Klinopyroxengeneration besteht aus bis cmgrossen, mit Chrommagnetit verwachsenen Diallagen (mit (100)-Entmischungslamellen). Sie sind pseudomorphoseartig mit Mg-Al-Chlorit und Antigorit-2 überwachsen. Der Klinopyroxen-2 (Diopsid) bildet entweder epitaktische Anwachsungen an die Diallage oder liegt als stengelige Individuen oder feinkristalline Lagen im Antigoritgefüge. Annähernd gleiche Gefügebeziehungen beschreibt BEARTH (1967) aus der Zone von Zermatt-Saas Fee.

Brucit tritt nur in einer Generation auf und liegt oft quer zur Antigoritregelung. Häufig beobachtet man ihn auch als Produkt der Reaktion Olivin  $+ H_2O \rightarrow Brucit + Antigorit.$  Neben *Chrommagnetit*, der oft von chromführendem Pennin begleitet ist, finden sich auch verbreitet Nickel- und Titanerze (DE QUERVAIN, 1963).

Die Chemismen der zwei Generationen zeigen bei Klinopyroxen und Olivin, abgesehen vom Aluminium, nur geringe Differenzen. Von Antigorit liegen nur Daten von einer Generation vor (PETERS, 1968; TROMMSDORFF und EVANS, 1972).

Die geschilderten Gefügebeziehungen zeigen, dass bei geeignetem Chemismus die syn- bis postkinematischen Phasen Antigorit-2-Olivin-2-Klinopyroxen-2-Chlorit-Chrommagnetit (und evtl. weitere Erze), die alpine Mineralparagenese darstellt (vgl. auch Evans und TROMMSDORFF, 1970). Für eine Diskussion der Bildungsbedingungen dieser Paragenese stehen die experimentell bestimmten Gleichgewichts- und Synthesekurven (JOHANNES, 1968; BOWEN und TUTTLE, 1949) zur Verfügung (Fig. 5). In der Natur (z. B. in Profil Oberhalbstein-Fextal-Val Malenco, DIETRICH und PETERS, 1971) bildet sich Antigorit in Serpentiniten bei zunehmender Temperatur vor Olivin (vermutlich aus Chrysotil/Lizardit). Die progressive Reaktion Chrysotil + Brucit  $\rightarrow$  Olivin + Wasser (1a) ist zudem unseres Wissens bisher noch nie in der Natur beobachtet worden. Wir vermuten, dass die experimentell bestimmten Gleichgewichtsund Synthesekurven mit Chrysotil als Serpentinpolymorph metastabil sind. Die der Reaktion (1a) entsprechende Antigorit-Reaktion Antigorit + Brucit  $\rightarrow$  Olivin + Wasser (1b) muss dementsprechend bei höhern Temperaturen liegen. Derselbe Schluss ergibt sich aus dem Vergleich mit der Rahmengesteinsparagenese, wo Biotit stabil ist.

Nimmt man für die  $\Delta G^{\circ}$ -Differenz zwischen Antigorit und Chrysotil einen Wert von 1–1,5 kcal/Mol an (Grössenordnung von  $\Delta G^{\circ}$ -Differenzen bei andern Schichtsilikatpolymorphen), so ergibt sich bei  $p_{tot} = 3$  kbar (geschätzte Bedin-



Fig. 5. Relative Lage der Modellreaktionen für Serpentinite im Druck-Temperatur-Diagramm. Ausgezogene Kurven: Publizierte, vermutlich metastabile Gleichgewichte (JOHANNES, 1968; TROMMSDORFF und EVANS, 1970). Gestrichelt: In der Natur beobachtete Reaktionen. Die alpinen pT-Bedingungen für die E Malenco-Ultramafitite liegen zwischen Reaktion 1b und 2b.

gungen für Malenco-Region) eine Gleichgewichtstemperatur-Erhöhung gegenüber (1a) um 15–20°C auf ca. 420°C (Fig. 5).

In den Malenco-Gesteinen lässt sich keine progressive Olivinbildung aus Antigorit + Brucit nachweisen (Reaktion 1b). Andererseits ist die Modellreaktion Serpentin + Diopsid  $\rightarrow$  Tremolit + Olivin + Wasser (2) ausser im Bergeller Kontaktbereich nirgends abgelaufen. Die Reaktion (1b) bildet also die maximal untere Grenze, die Reaktion (2b) die maximal obere Grenze für die Bildungsbedingungen der Malenco-Ultramafitite.

# FOLGERUNGEN (Tabelle 3)

Aus Tabelle 3 sind die folgenden Punkte speziell hervorzuheben:

1. Die regionalmetamorphen Ultramafitite des Malenco-Körpers sind das Produkt einer retrogressiven Entwicklung in Form einer sukzessiven Serpentinisierung eines gebänderten Peridotit-Pyroxenitkörpers. Die Hauptserpentinisierung und anschliessende Verschieferung, die direkt zu Antigoritserpentinit führte, fand bereits vor der Bildung des alpinen Deckenstapels statt. Dabei blieb die ursprüngliche Stofflagenstruktur erhalten (nur lokal erkennbar). Sogar ein vormesozoisches Kristallisationsalter des ursprünglichen Harzburgits ist nicht auszuschliessen.

Deformation		Transport in Krusten- bedingungen. Deformationsphase 1	Deckenstapelbildung mit Phase 2. Anschliessend Deformationsphasen 3 und 4. Abscherung des grössten Teils der Mafitite?
Mineralbildungen	Olivin, Orthopyroxen, Klinopyroxen, Chrom- spinell (alle nicht mehr in dieser Form erhalten)	Antigorit 1, Olivin 1, Klinopyroxen 1 (Diallag), Chrommagnetit, Chlorite, Nickel- und Titanerze, Titanklinohumit	Dolomit, Calcit, Magnesit, Talk, Tremolit. Antigorit 2 und 3, Olivin 2, Klino- pyroxen 2 (Diopsid), Chlorit, Titanklino- humit, Brucit, Erze
Gesteinsbildungen	Gebänderter Ultramafititkörper aus vorwieg. Harzburgiten, seltener Dunite und Lherzolithe, mit Chromspinell- und Klinopyroxenlagen. Evtl. als stratiformer Körper mit Mafititen im Dach	Olivin-Antigoritserpentinite, Klinopyroxen- Antigoritserpentinite, Bänderung bleibt erhal- ten. Titanoklinohumit-Olivinadern und -lagen, Klinopyroxenadern	Ophikarbonate, Talkschiefor, Talkadern, Karbonatadern. (Brucit-) Olivin-Antigoritserpentinite, Klino- pyroxen-Antigoritserpentinite (sind erhalten geblieben)
Ereignisse	Bildung (Kristallisation und Differentiation) im obern Mantel oder Unterkruste	1. Serpentinisierung (aus Olivin und Orthopyroxen und Wasser) in oberen Krustenbereichen	Alpine Orogenese und Meta- morphose (nur Ober-Kreide, 70 m. a. ?) CO <sub>2</sub> -Metasomatose (unter- geordnet SiO <sub>2</sub> ) am Rand und Rekristallisation bereits exi- stierender Phasen. Untergeordnet 2. Serpentini- sierung (aus Olivin)

Tabelle 3. Mögliche Entwicklung des Malenco-Körpers

Malenco-Ultramafitite und deren Rahmengesteine

239

- 2. Die letzte alpine Deformation und Metamorphose erfolgte in dieser Region erst *nach* der Bildung des Deckenstapels und greift über die tektonischen Grenzen hinweg. Im Ultramafititkörper ist alpin eine Rekristallisation aller Phasen (z. T. als Pseudomorphosen) und eine geringfügige 2. Serpentinisierung (Olivin +  $H_2O \rightarrow Brucit + Serpentin$ ) zu verzeichnen.
- 3. Erste Hellglimmer-Alterswerte von 67 und 68 m. a. aus den Margnagneisen unmittelbar am NE-Kontakt zum Malenco-Körper sowie der schiefe Verlauf des Stilpnomelanisograds gegenüber der Bergellbegrenzung deuten auf eine frühalpine Metamorphose der untersuchten Region hin.

Wir danken V. Trommsdorff für die Überlassung seines Dünnschliffmaterials und zahlreichen unpublizierten Daten aus dem nördlichen und westlichen Berninagebiet. Wertvolle Kritik und Anregung verdanken wir auch A. Gansser, A. Milnes, B. Skippen und E. Moores. Die Altersbestimmungen wurden verdankenswerter Weise von E. Jäger und J. Hunziker in Bern durchgeführt.

#### LITERATUR

SMPM = Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.

- BEARTH, P. (1967): Die Ophiolithzone von Zermatt-Saas Fee. Beitr. geol. Karte Schweiz N.F. 132, 130 S.
- BOWEN, N. and O. TUTTLE (1949): The system MgO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O. Bull. Geol. Soc. Am. 60, 439-460.
- BUCHER, K. (1972): Geol.-petrogr. Untersuchungen am nördlichen Kontakt des Malencoserpentins. Diplomarbeit Geol. Inst. ETH-Zürich.
- Carta geologica d'Italia, 1:100 000, Foglio 18 (Sondrio), F. 19 (Tirano).
- DIETRICH, V. und F. DE QUERVAIN (1968): Die Nephrit-Talklagerstätte von Scortaseo. Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Serie 46, 78 S.
- DIETRICH, V. und TJ. PETERS (1971): Regionale Verteilung der Mg-Phyllosilikate in den Serpentiniten des Oberhalbsteins. SMPM 51, 329–353.
- EVANS, B. W. and V. TROMMSDORFF (1970): Regional metamorphism in the Central Alps: Parageneses in the System CaO-MgO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O. SMPM 50, 481–492.
- FAGNANI, G. (1958): Sulle formazioni talcose della Val Malenco. Rendiconti Soc. Miner. Ital. 14, 204–214.
- GERBER, R. (1966): Der Malencoserpentin östlich des Passo d'Ur. Diplomarbeit Geol. Inst. ETH-Zürich.
- JOHANNES, W. (1968): Experimental investigation of the reaction forsterite +  $H_2O$  = serpentine + brucite. Contr. Mineral. Petrol. 19, 309–315.
- PETERS, TJ. (1968): Distribution of Fe, Mg, Al, Ca und Na in coexisting olivine, orthopyroxene and clinopyroxene in the Totalp serpentinite (Davos, Switzerland) and in the alpine metamorphosed Malenco serpentinite (N. Italy). Contr. Mineral. Petrol. 18, 65-75.
- PFEIFER, H.-R. (1972): Metamorphose und Deformation am Nordrand des Malenco-Serpentinitkörpers westlich des Pass d'Ur (Norditalien). Diplomarbeit Geol. Inst. ETH-Zürich.
- QUERVAIN, F. DE (1938): Zur Kenntnis des Titanklinohumits. SMPM 18, 591-603.

240

-- (1963): Die Erzmineralien von Selva-Quadrada (Puschlav). SMPM 43, 295-312.

- SEGER, F. (1971): Geologische Untersuchungen in der Fexer Schuppenzone zwischen Sils und Fex-Curtins. Diplomarbeit Geol. Inst. Univ. Zürich.
- STAUB, R. (1916): Tektonische Studien im östlichen Berninagebirge. Vjschr. Natf. Ges. Zürich 61, 330-357.
- (1921): Zur Tektonik der penninischen Decken im Val Malenco. Jb. Natf. Ges. Graub. 60.
- (1946): Geol. Karte der Berninagruppe 1:50 000. Schweiz. geol. Komm. Spez. Karte 118.
- TROMMSDORFF, V. and B. W. EVANS (1972): Progressive metamorphism of antigoriteschist in the Bergell tonalite aureole (Italy). Am. J. Sci. 272, 423–437.
- WANNER, J. (1971): Zur Geologie der Fexer Schuppenzone zwischen Fex-Curtins und Piz Tremoggia. Diplomarbeit Geol. Inst. Univ. Zürich.

Manuskript eingegangen am 16. Mai 1973.