

# Fluor-Verteilung in Tremolit und Talk in den metamorphen Dolomiten des Campolungo (Tessin) und ihre phasenpetrologische Bedeutung

Autor(en): **Mercolli, Ivan**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **60 (1980)**

Heft 1

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-46656>

## **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.

# Fluor-Verteilung in Tremolit und Talk in den metamorphen Dolomiten des Campolungo (Tessin) und ihre phasenpetrologische Bedeutung

von Ivan Mercolli\*

## Abstract

Alpine metamorphic mineralisation has caused rims of tremolite, talc and calcite to form on quartz nodules in the Campolungo dolomite marbles. Studies of textural relationships and mineral chemistry permit the following reconstruction of the mineralogical evolution of the nodules:

- Formation of the quartz cores in the dolomitic sediment.
- Boudinage and partial remobilisation of the nodules during the climax of Alpine metamorphism.
- Formation of postkinematic reaction rim of calcite and tremolite around the quartz cores.
- Formation of talc pseudomorphs after tremolite.

Microprobe analysis of coexisting tremolite and talc permit the calculation of a partitioning coefficient of fluorine between the two minerals:

$$K_D = \frac{X_{OH}^{Tr} \cdot X_F^{Tc}}{X_F^{Tr} \cdot X_{OH}^{Tc}} = 0.5$$

With this  $K_D$  one can calculate the shift of the curves in T- $X_{CO_2, H_2O}$ -diagrams for the talc-tremolite reactions in the system CaO-MgO-SiO<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O. The stability fields of the parageneses talc-quartz-calcite and talc-tremolite-calcite are blown up compared to the fluorine-free system. The new T-X topology fits well the topology constructed from field evidence by TROMMSDORFF (1972). Fluorine uptake could be responsible for the big stability field of the talc-tremolite parageneses in the central alps.

## Einführung

Das Campolungo Gebiet, auf der Wasserscheide zwischen Leventina- und Maggiatal, ist durch eine Zone von triassischen dolomitischen Sedimenten charakterisiert. Man befindet sich hier in der Stirnregion der Simanodecke, und diese dolomitischen Sedimente bilden zusammen mit den darüberliegenden

---

\* Institut für Kristallographie und Petrographie, ETH-Zentrum, 8092 Zürich. Gegenwärtige Adresse: Mineralogisch-Petrographisches Institut, Universität Bern, Sahlstrasse 6, CH-3012 Bern.

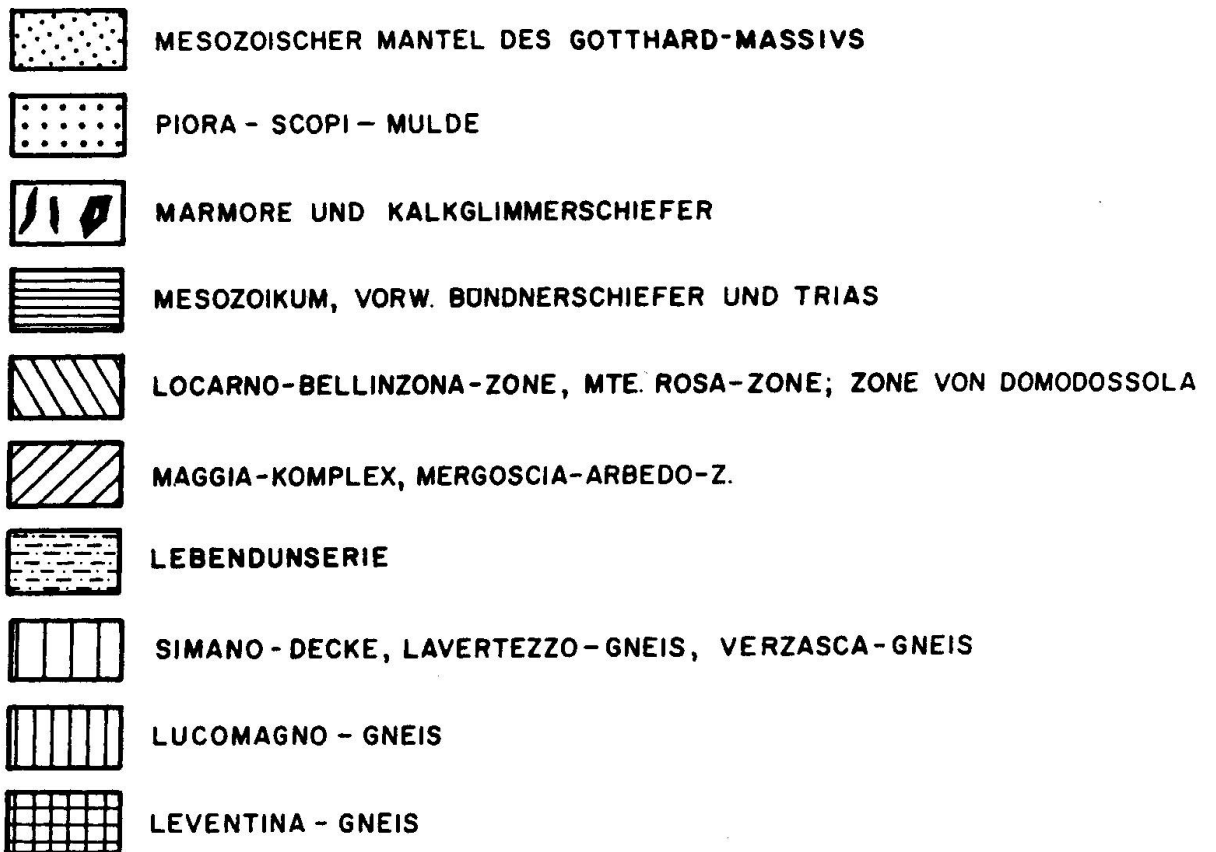
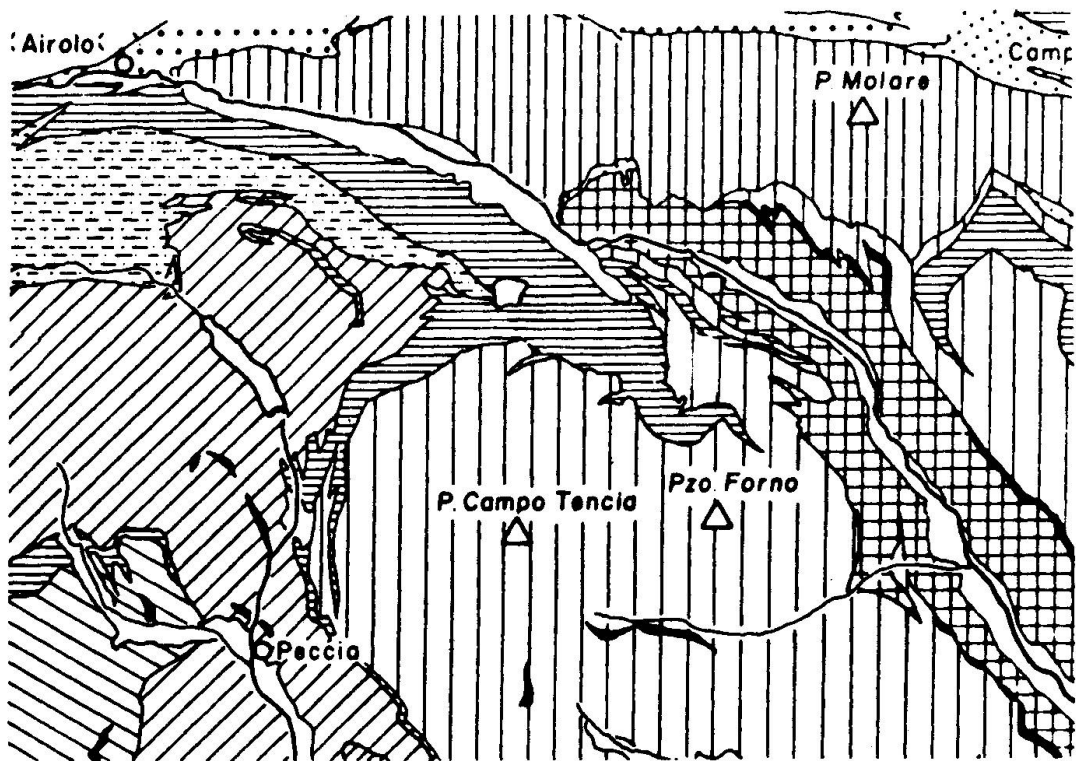


Fig. 1 Tektonische Kartenskizze des Nord-Tessin

Bündnerschiefern die mesozoische Bedeckung des Campo-Tencia-Kristallins (Fig. 1). Während der Alpenen Metamorphose wurden die Dolomite kompliziert verfaultet (BIANCONI, 1971) und in Amphibolitfazies überprägt (TROMMSDORFF, 1966). Eine besondere Erscheinung der Alpenen Metamorphose ist die Bildung von Reaktionsrändern mit Tremolit, Talk und Calcit um ältere (sicher voralpine, wahrscheinlich synsedimentäre) Quarzknuern, die zum Teil Fluorit enthalten (MERCOLLI, 1979) (Fig. 2). Die Koexistenz von Tremolit und Talk in den Reaktionsrändern und die zum Teil bedeutenden Fluorgehalte beider Mineralien haben die Analyse der F-OH-Verteilung zwischen Tremolit und Talk ermöglicht. Diese Problematik wurde schon von verschiedenen Autoren besprochen; insbesondere RICE (1975) mit einem Beispiel aus dem Campolungo-Gebiet und MOORE and KERRICK (1976). Experimentelle Untersuchungen über die Verteilung von Fluor in Fluid- und Festphasen wurden von MUNOZ und EUGSTER (1969) und MUNOZ und LIDDINGTON (1974) durchgeführt.

### Mineralogie

Im Campolungo-Gebiet muss man während der Alpenen Metamorphose zwei Hauptphasen der Mineralneubildung unterscheiden:

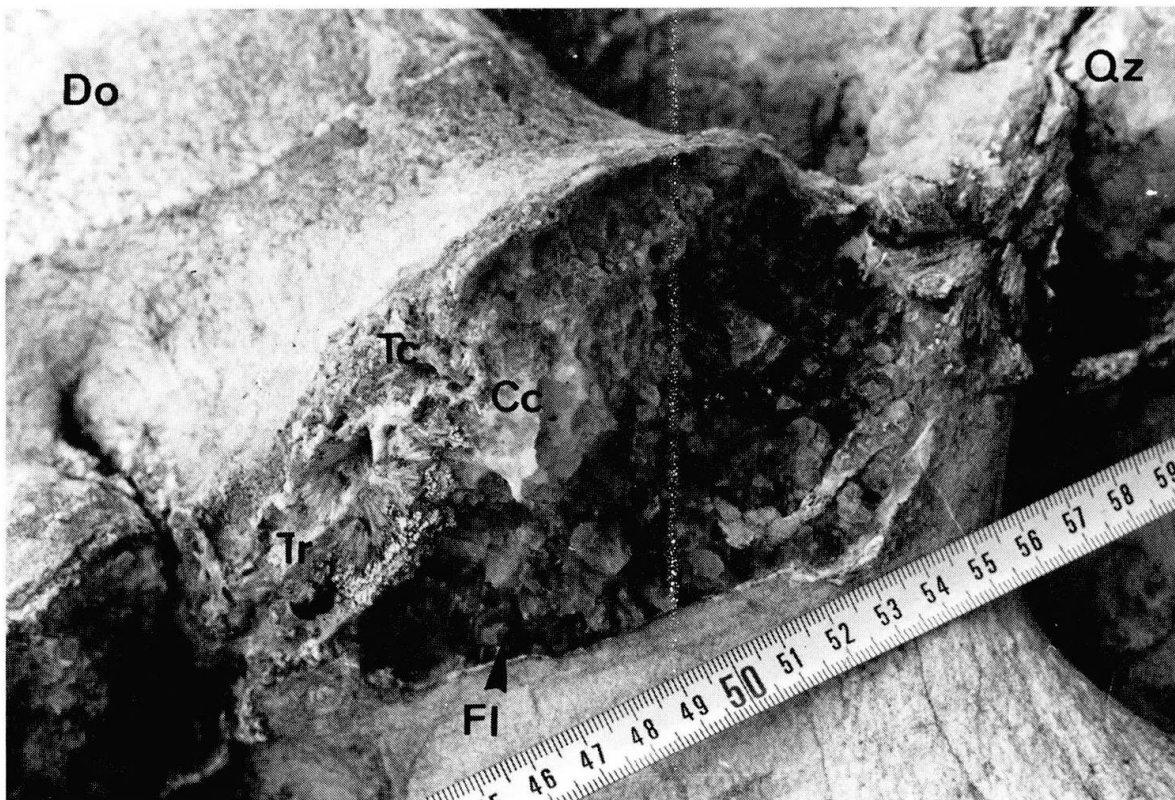


Fig. 2 Knuern im Dolomitmarmor, mit Fluorit im Kern und Tremolit, Talk und Calcit im Reaktionsrand

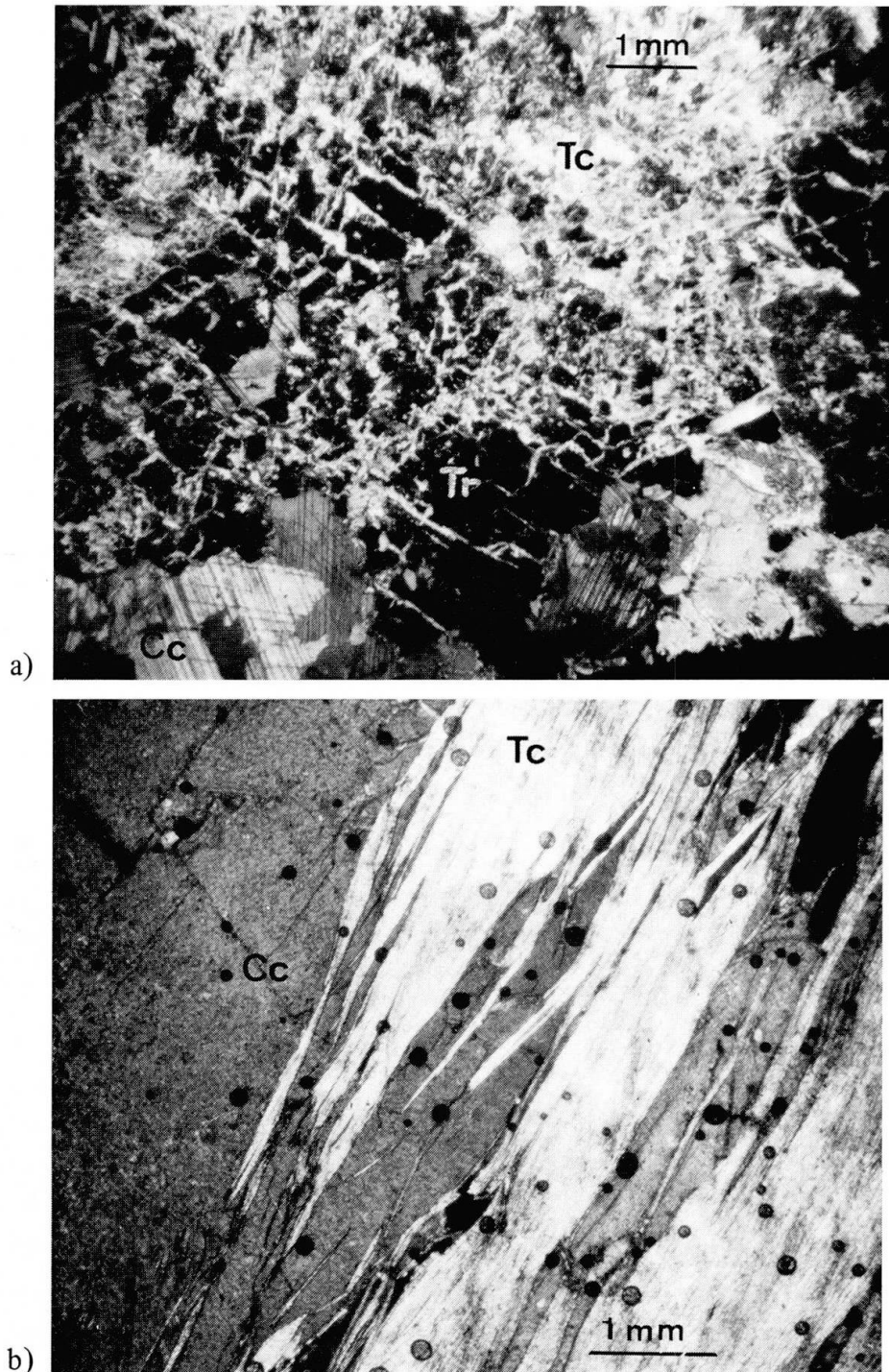


Fig. 3 a) Fein-körniger Talk pseudomorph auf Tremolit  
 b) Grobkörniger Talk mit Calcit

1. Während des Höhepunktes der Alpenen Metamorphose bildeten sich in den kieseligen Partien der Dolomite vereinzelt langprismatische (bis 10 cm) Tremolite.
2. Zu einem späteren Zeitpunkt entstanden die Reaktionsränder um die Quarzknauern, wobei man wiederum zwei Phasen unterscheiden muss:

- a) Die Bildung von Calcit und von radialstrahlig angeordneten Aggregaten von nadeligen Tremoliten.
- b) Die Vertalkung dieser Tremolite.

Die zwei Hauptphasen lassen sich auf Grund der zwei Tremolitgenerationen gut unterscheiden.

In der ersten Tremolitgeneration (Phase 1) kristallisieren langprismatische Individuen, oft grün oder grau gefärbt, welche mit ihrer C-Achse parallel zur alpinen Hauptschieferung orientiert sind. Chemisch sind diese synkynematischen Tremolite (BIANCONI, 1971) reich an Al (bis 5 Gew.%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) und arm an F (maximal 0.4 Gew.%).

Die zweite Generation (Phase 2), d.h. die Tremolite in den Reaktionsrändern, wird von radialstrahligen Aggregaten aus nadeligen, immer weissen Kristallen gebildet, die weder orientiert noch deformiert sind. Im Gegensatz zur ersten Generation sind diese postkinematischen Tremolite arm an Al und reich an F. In der Folge werden nur die Reaktionsränder betrachtet; ich beziehe mich also immer nur auf die zweite Tremolitgeneration.

Die Kristallisation von Talk lässt sich nicht so einfach einordnen. Es gibt wiederum zwei verschiedene Talkvarietäten, eine sehr feinkörnige und massige, welche pseudomorph auf Tremolit wächst (Fig. 3a) und eine zweite mit gut auskristallisierten mm-langen Lamellen (Fig. 3b). Obwohl die zweite Varietät eine sehr begrenzte Verbreitung hat, ist es häufig schwierig, die beiden deutlich auseinanderzuhalten. Oft sind fließende Übergänge zu beobachten. Es ist deshalb unmöglich, verschiedene Generationen zu definieren. Man hat den Eindruck, dass beide Talkvarietäten mehr oder weniger gleich alt sind, aber jünger als die Tremolite.

Für die Betrachtung des F-OH-Austausches wurde nur die erste Talkvarietät benützt, d.h. diejenige welche sicher pseudomorph auf Tremolit wuchs.

### Mineralchemie

Die Mineralanalysen wurden mit einer Elektronenmikrosonde (Typ SEMQ von ARL) durchgeführt. Als Standards wurden natürliche Mineralpräparate verwendet.

Die Hauptelemente wurden unter den folgenden Bedingungen bestimmt:

Anregungspotential 15 KV, Probestrom 20 nA und Strahldurchmesser ca. 1  $\mu\text{m}$ , Messzeit 20 sec. Für die Fluorbestimmung, welche separat erfolgte, wurde der Probestrom auf 50 nA und die Messzeit auf 40 sec. erhöht. Nach einer ersten ZAF-Korrektur der Analysen wurde  $\text{H}_2\text{O}$  unter der Annahme  $\text{OH} + \text{F} = 2$  addiert und die vollständige Analyse nochmals korrigiert (ZAF), um den Einfluss von  $\text{H}_2\text{O}$  in die Matrix einzubeziehen. Der statistische Fehler ( $2\sigma$ ) ist für die Hauptelemente kleiner als 1%, für Fluor variiert er je nach Konzentration zwischen 6 und 9%.

Tab. 1. Chemische Analysen koexistierender Tremolit/Talk-Paare mit Fluor-Molenbruch und Fluorverteilungskoeffizient ( $K_D$ ) für jedes Paar.

Probe	A6c		B6b1		B6b2		D1d		D4b1		D4b2	
	TR	Tc	Tr	Tc	Tr	Tc	Tr	Tc	Tr	Tc	Tr	Tc
SiO <sub>2</sub>	59.08	61.35	57.08	59.94	57.67	60.75	59.15	62.38	58.46	60.27	58.53	60.06
TiO <sub>2</sub>				.01	.02		.03	.02			.02	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.62	.80	1.26	1.61	1.51	1.49	.73	.53	.45	.63	.58	.69
FeO	.1	.06	.08	.05	.06	.05	.21	.20	.20	.20	.20	.20
MgO	25.12	31.68	23.50	29.71	24.28	30.45	24.74	30.30	24.71	30.13	24.45	31.35
CaO	13.30	.09	13.37	.07	13.28	.04	13.30	.24	13.12	.96	13.17	.08
Na <sub>2</sub> O	.26	.32	.36	.72	.44	.73	.20	.11	.12	.22	.15	.25
K <sub>2</sub> O	.10	.02	.06	.02	.07	.02	.05	.05	.03	.08	.04	.10
H <sub>2</sub> O	1.64	4.03	1.29	3.43	1.28	3.42	1.84	4.45	1.80	4.32	1.82	4.39
F	1.17	1.49	1.85	2.79	1.88	2.86	.76	.74	.82	.94	.79	.87
F=O	.49	.63	.78	1.18	.79	1.20	.32	.31	.34	.40	.33	.36
total	101.38	99.86	99.59	98.36	100.50	99.81	101.00	99.08	99.74	97.75	99.76	98.52
Si	7.96	7.85	7.90	7.83	7.90	7.83	7.95	7.98	7.96	7.86	7.97	7.83
Al <sup>IV</sup>	.04	.12	.10	.17	.10	.17	.05	.02	.04	.10	.03	.10
Al <sup>VI</sup>	.06			.08	.01	.05	.07	.07	.03		.06	
Ti												
Fe	.01	.01	.01	.01	.03		.02	.02	.02	.02	.02	.02
Mg	5.03	6.04	5.08	5.79	5.05	5.85	4.96	5.78	5.02	5.86	4.96	6.04
Ca	1.91	.01	1.92	.01	1.92	.01	1.92	.03	1.91	.13	1.92	.01
Na	.07	.08	.09	.18	.08	.18	.05	.03	.03	.05	.04	.06
K	.02		.01		.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.02
H	1.47	3.44	1.12	2.99	1.10	2.94	1.65	3.80	1.64	3.76	1.65	3.77
F	.50	.60	.84	1.15	.87	1.16	.32	.30	.35	.39	.34	.35
X <sub>F</sub>	.25	.15	.43	.28	.44	.28	.16	.07	.18	.09	.17	.08
K <sub>D</sub>	0.512		0.514		0.500		0.418		0.485		0.449	

Fluor-Verteilung in Tremolit und Talk

Probe	E1ab1		E1ab2		E1ab3		H6a1		H6a2		H9b1		H9b2	
	Ti	Tc	Ti	Tc	Ti	Tc	Ti	Tc	Ti	Tc	Ti	Tc	Ti	Tc
SiO <sub>2</sub>	58.53	60.67	58.99	61.45	58.84	61.20	58.33	61.58	58.26	60.35	58.54	61.38	58.65	61.41
TiO <sub>2</sub>			.01	.01	.04	.04	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.46	.66	.26	.54	.17	.66	.43	.60	.63	.81	.34	.53	.33	.48
FeO	.08	.03	.04	.01	.05	.02	.16	.11	.10	.13	.08	.03	.07	.06
MgO	24.22	30.59	24.29	30.70	24.08	30.25	24.34	32.08	25.14	31.31	24.15	30.97	24.16	30.94
CaO	12.96	.06	13.19	.03	13.07	.31	13.27	.03	13.22	.16	12.97	.12	13.19	.07
Na <sub>2</sub> O	.26	.33	.16	.29	.19	.33	.32	.40	.33	.47	.26	.35	.21	.33
K <sub>2</sub> O	.05	.02	.03	.01	.04	.01	.06	.01	.04	.03	.06	.01	.05	.02
H <sub>2</sub> O	1.49	3.84	1.55	3.88	1.56	3.83	1.28	3.58	1.24	3.73	1.38	3.72	1.34	3.67
F	1.54	2.02	1.45	1.96	1.43	2.11	1.89	2.53	1.95	2.17	1.69	2.32	1.85	2.45
F=O	.57	.85	.61	.83	.60	.89	.80	1.07	.82	.91	.71	.73	.78	1.03
total	99.61	98.24	99.96	98.89	99.48	98.73	100.1	100.93	100.93	99.17	99.49	99.46	99.88	99.42
Si	8.0	7.89	8.02	7.93	8.04	7.92	7.97	7.84	7.90	7.81	8.02	7.90	8.01	7.91
Al <sup>IV</sup>		.10		.07		.08	.03	.09	.10	.12		.08		.07
Al <sup>VI</sup>	.07		.04	.01	.03	.02	.04				.06		.05	
Ti														
Fe	.01				.01		.03	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01
Mg	4.93	5.93	4.92	5.90	4.90	5.84	4.96	6.09	5.08	6.04	4.93	5.94	4.92	5.94
Ca	1.90	.01	1.92		1.91	.04	1.94		1.92	.02	1.90	.02	1.93	.01
Na	.07	.08	.04	.07	.05	.08	.08	.01	.09	.12	.07	.09	.06	.08
K	.07		.01		.01		.01		.01	.01	.01		.01	
H	1.36	3.33	1.41	3.34	1.42	3.31	1.16	3.04	1.12	3.22	1.26	3.20	1.22	3.15
F	.67	.83	.63	.80	.62	.87	.86	1.02	.84	.89	.73	.94	.80	1.00
X <sub>F</sub>	.33	.20	.31	.19	.30	.20	.41	.25	.43	.22	.37	.23	.40	.24
K <sub>D</sub>	0.504		0.537		0.601		0.474		0.368		0.507		0.475	



Die Messungen erfolgten an benachbarten Körnern. Die Abstände zwischen den Messungen liegen in der Grössenordnung von  $20\ \mu\text{m}$ , wobei für Tremolit keine Schwierigkeiten auftreten. Man kann sehr nahe an der Korngrenze messen. Für Talk hingegen muss man mit einem grösseren Abstand rechnen, weil man wegen des hohen Probestroms mit einem Strahldurchmesser von ca.  $10\ \mu\text{m}^2$  arbeiten muss.

Dank der homogenen Verteilung des Fluors innerhalb jeder der beiden Mineralien fallen die Abstände zwischen den Messpunkten nicht ins Gewicht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 in Form von koexistierenden Paaren von Tremolit und Talk dargestellt.

Aus Tabelle 1 und Fig. 5 ist ersichtlich, dass der Fluorgehalt nicht überall konstant bleibt, sondern man beobachtet eine Variation des Fluorgehaltes der beiden Minerale in Abhängigkeit ihrer Lage (die Grossbuchstaben vor den Probennummern und in den Figuren bezeichnen die verschiedenen Sektoren, in welche das Untersuchungsgebiet unterteilt wurde [Fig. 4]). Man kann diese Variationen sehr leicht mit der Anwesenheit von Fluorit im Kern der Quarzknuern korrelieren. Man erkennt deutlich, dass die Fluorgehalte in Tremolit und Talk dort am höchsten sind, wo Fluorit anwesend ist. Eine wichtige Feststellung ist, dass diese Variationen in einem sehr kleinen Bereich auftreten (ca. 200 m) und dass trotz des Vorhandenseins von sehr grossen Fluidmengen (MERCOLLI, 1979) um die Knuern Fluor offenbar nicht weit transportiert wird, d.h. es findet kei-

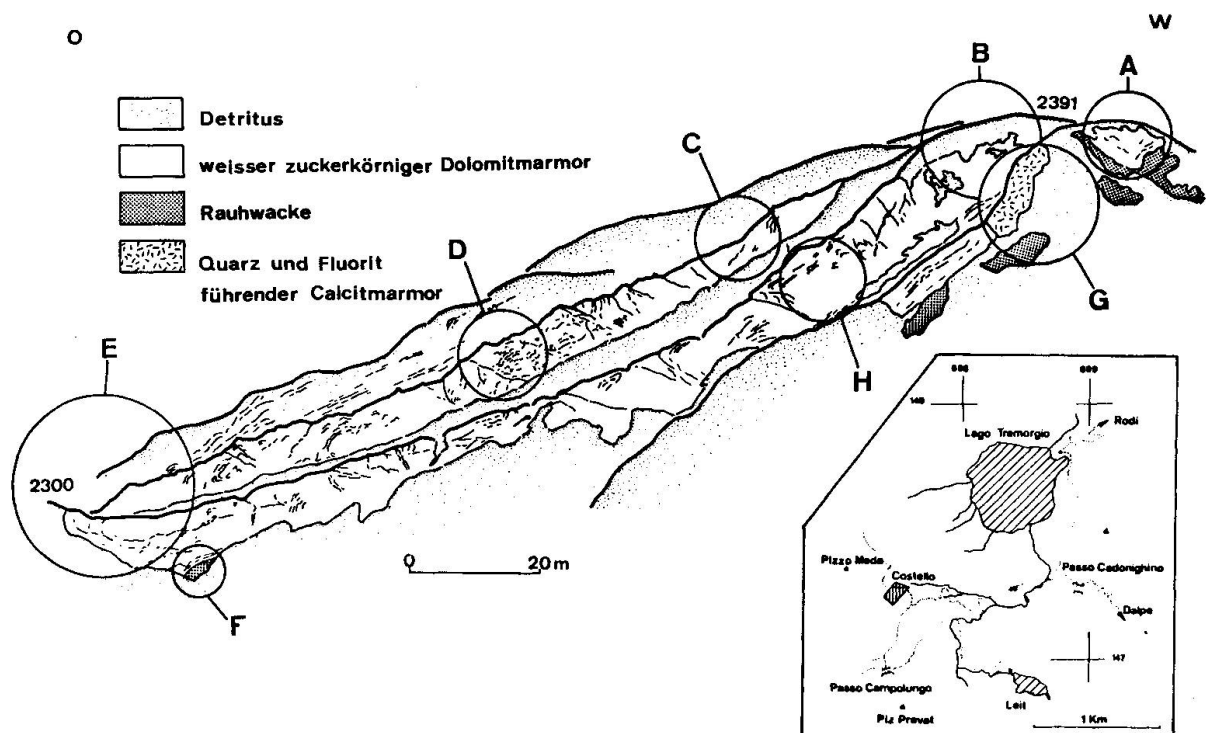


Fig. 4 Ansichtsskizze der Dolomitmarmore mit den speziell untersuchten Sektoren

ne Homogenisierung des Fluors im Fluid statt. Deshalb können Sprünge im Fluorgehalt schon innerhalb weniger Meter auftreten. Diese Beobachtung stimmt mit den experimentellen Arbeiten von MUNOZ und EUGSTER (1969) und MUNOZ und LUDDINGTON (1974) überein, welche zeigen, dass für den F-OH Austausch die feste Phase gegenüber der fluiden Phase extrem bevorzugt ist.

Eine wichtige Konsequenz ist der räumlich beschränkte Einfluss von Fluorit als Puffer. Wenn man eine Reaktion des Typs



für den Fluoreinbau in Tremolit postuliert, ist deutlich, dass wegen der schlechten Homogenisierung des Fluors im Fluid die Pufferwirkung des Fluorits nur in seiner unmittelbaren Umgebung wirksam sein wird.

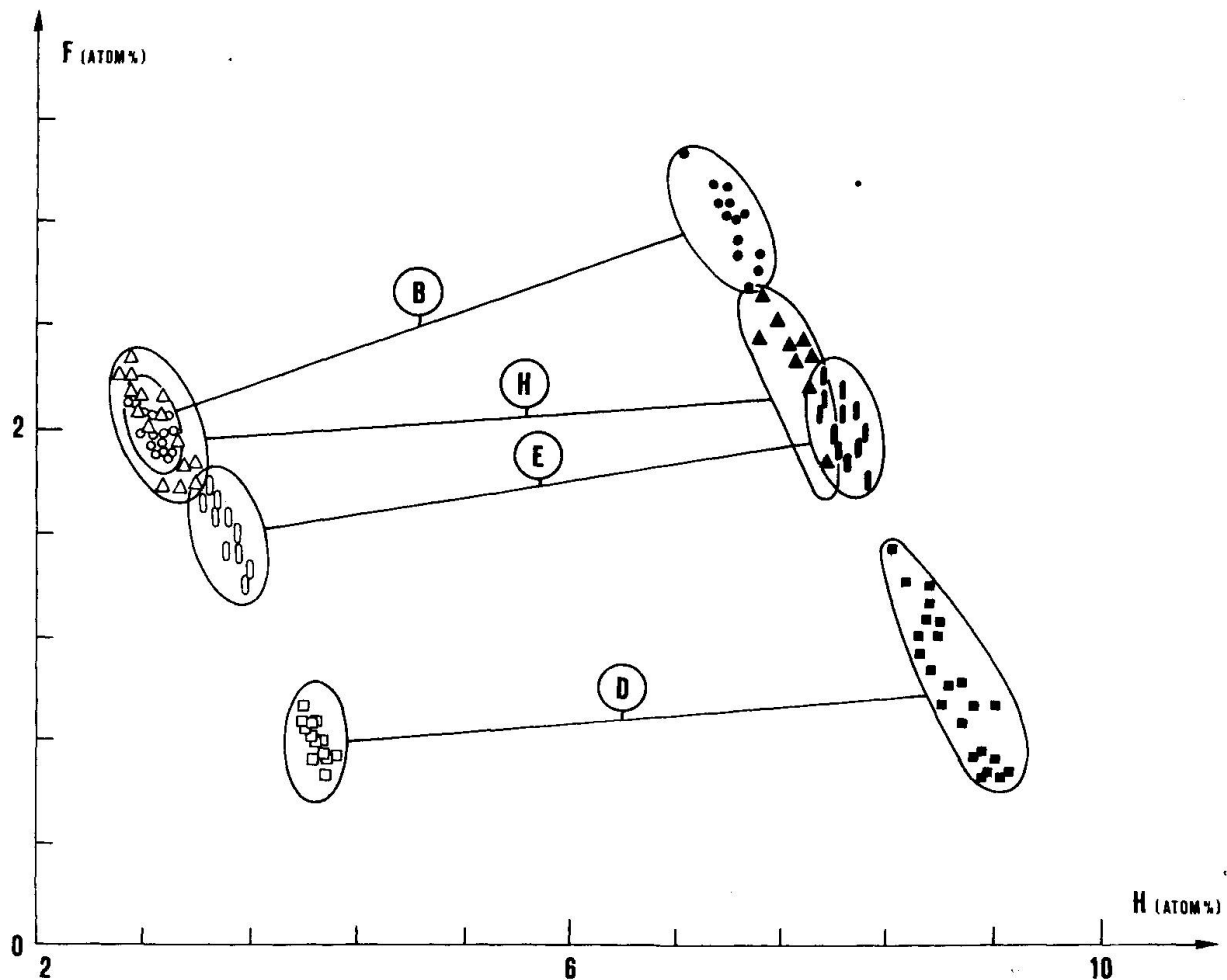


Fig. 5 Verteilung der Fluorgehalte in Tremolit (offene Symbole) und Talk (schwarze Symbole) in den Sektoren (Gross-Buchstaben), in die man das Untersuchungsgebiet unterteilt hat.

<sup>1)</sup> Qz = Quarz, Do = Dolomit, Fl = Fluorit, Tr = Tremolit, Cc = Calcit, Tc = Talk

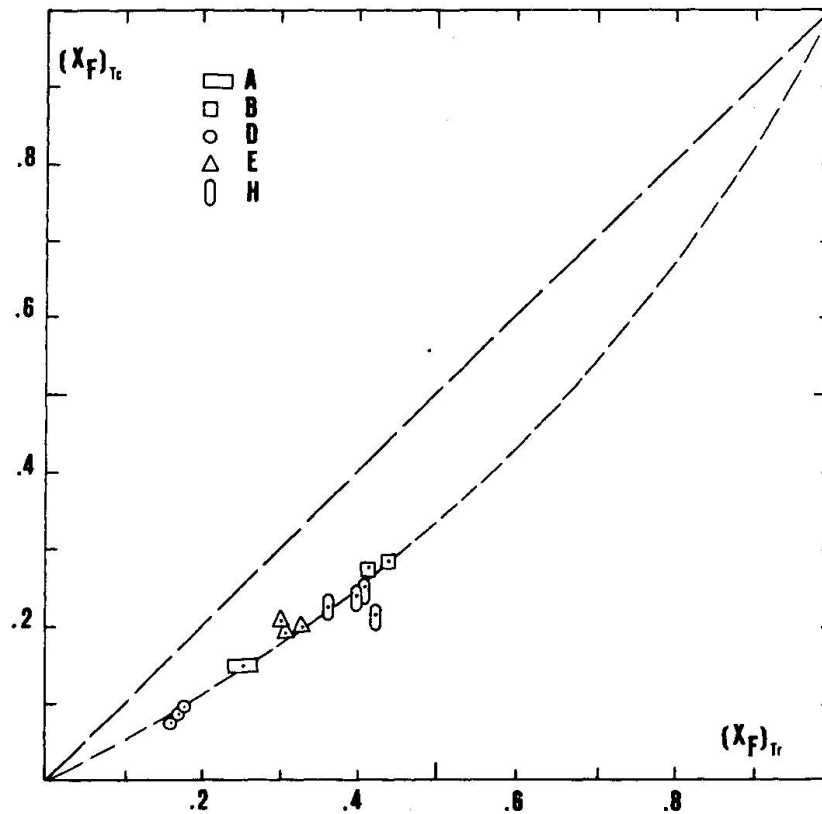


Fig. 6 Fluorverteilung in koexistierenden Talk/Tremolit-Paaren für die verschiedenen Sektoren

Aus den Analysen der koexistierenden Paare von Tremolit und Talk wurde  $X_F$  für beide Mineralien berechnet (Tabelle 1) und entsprechende Werte in ein Roozeboom Diagramm eingetragen (Fig. 6). Wie aus diesem deutlich hervorgeht, definieren die Werte eine kohärente Kurve. Diese Tatsache spricht dafür, dass der Austauschprozess auch bei relativ unterschiedlichen Fluorkonzentrationen unter der gleichen Gesetzmässigkeit abgelaufen ist. Es ist also möglich, einen verallgemeinerten Verteilungskoeffizienten ( $K_D$ ) für den F-OH-Austausch zwischen Tremolit und Talk zu formulieren:



$$K_D = \frac{X_{\text{OH}}^{\text{Tr}} \cdot X_{\text{F}}^{\text{Tc}}}{X_{\text{F}}^{\text{Tr}} \cdot X_{\text{OH}}^{\text{Tc}}}$$

Die Kurve in Fig. 6 ergibt für diesen  $K_D$  einen Wert von 0.5.

**Einfluss des F-OH Austausches auf die Gleichgewichtsbedingungen der Reaktionen, an denen Tremolit und Talk beteiligt sind**

Im System CaO - MgO - SiO<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O - CO<sub>2</sub> kann man fünf Reaktionen formulieren, an welchen Tremolit und Talk beteiligt sind (Talk immer als Edukt; Tremolit als Produkt geschrieben):

- 1) 5 Tc + 6 Cc + 4 Qz = 3 Tr + 6 CO<sub>2</sub> + 2 H<sub>2</sub>O
- 2) Tc + 3 Cc + 3 CO<sub>2</sub> = 3 Do + 4 Qz + H<sub>2</sub>O
- 3) 8 Qz + 5 Do + H<sub>2</sub>O = Tr + 3 Cc + 7 CO<sub>2</sub>
- 4) 2 Tc + 3 Cc = Tr + Do + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O
- 5) Tc + 2 Do + 4 Qz = Tr + 4 CO<sub>2</sub>

Auf Grund des oben ermittelten Verteilungskoeffizienten kann man den Einfluss des F-OH Austausches auf die Gleichgewichtsbedingungen der fünf Reaktionen ausrechnen. Diese Betrachtungen erfolgen unter Annahme der Idealität des F-OH Austausches und dass die Aktivität von H<sub>2</sub>O im mit Fluor verunreinigten System in folgender Weise definiert werden kann:

$$a_{\text{OH-Tr}} = (X_{\text{OH}}^{\text{Tr}})^2 \qquad a_{\text{OH-Tc}} = (X_{\text{OH}}^{\text{Tc}})^2$$

Eine qualitative Erfassung der Gleichgewichtsverschiebungen erfolgt mit der Berechnung von  $\Delta \log K$  als Differenz zwischen  $\log K$  des reinen und  $\log K$  des mit Fluor verunreinigten Systems. Als Beispiel wird die Berechnung für Reaktion 1) durchgeführt. Für das reine System gilt:

$$K' = f_{\text{CO}_2}^6 \cdot f_{\text{H}_2\text{O}}^2$$

Nach der Fluorsubstitution kann man schreiben:

$$K' = f_{\text{CO}_2}^6 \cdot f_{\text{H}_2\text{O}}^2 \cdot \frac{a_{\text{OH-Tc}}^3}{a_{\text{OH-Tr}}^5}$$

Für  $K_D = 0.5$  ergibt sich:

$$a_{\text{OH-Tr}} = 0.311 \qquad a_{\text{OH-Tc}} = 0.514$$

zum Schluss:

$$\Delta \log K = \log K - \log K' = 0.076$$

Ein positiver  $\Delta \log K$  zeigt, dass die Fluorsubstitution zu einer Stabilisierung der Produkte der Reaktion 1) führt.

Analog werden die  $\Delta \log K$  der anderen Reaktionen bestimmt.

- 2)  $\Delta \log K = -0.289$  Die Edukte sind stabilisiert
- 3)  $\Delta \log K = 0.507$  Die Produkte sind stabilisiert
- 4)  $\Delta \log K = -0.070$  Die Edukte sind stabilisiert
- 5)  $\Delta \log K = 0.218$  Die Produkte sind stabilisiert

Um diese qualitativen Überlegungen deutlicher zu machen, wurde versucht, die Verschiebung der Gleichgewichtskurven in einem T-X-Diagramm darzustellen. Die Diagramme wurden mit einem modifizierten SUPCRIT-Programm (KIRKHAM - WALTHER - DELANY, 1975) und auf Basis der von HELGESON - DELANY - NESBITT - BIRD (1978) vorgeschlagenen thermodynamischen Daten der Mineralien und Gasphasen gerechnet. Die Resultate sind in Fig. 7 in Form von T-X-Diagrammen für verschiedene Drücke (2 und 3 Kb) und sowohl das reine als auch das mit Fluor verunreinigte System dargestellt.

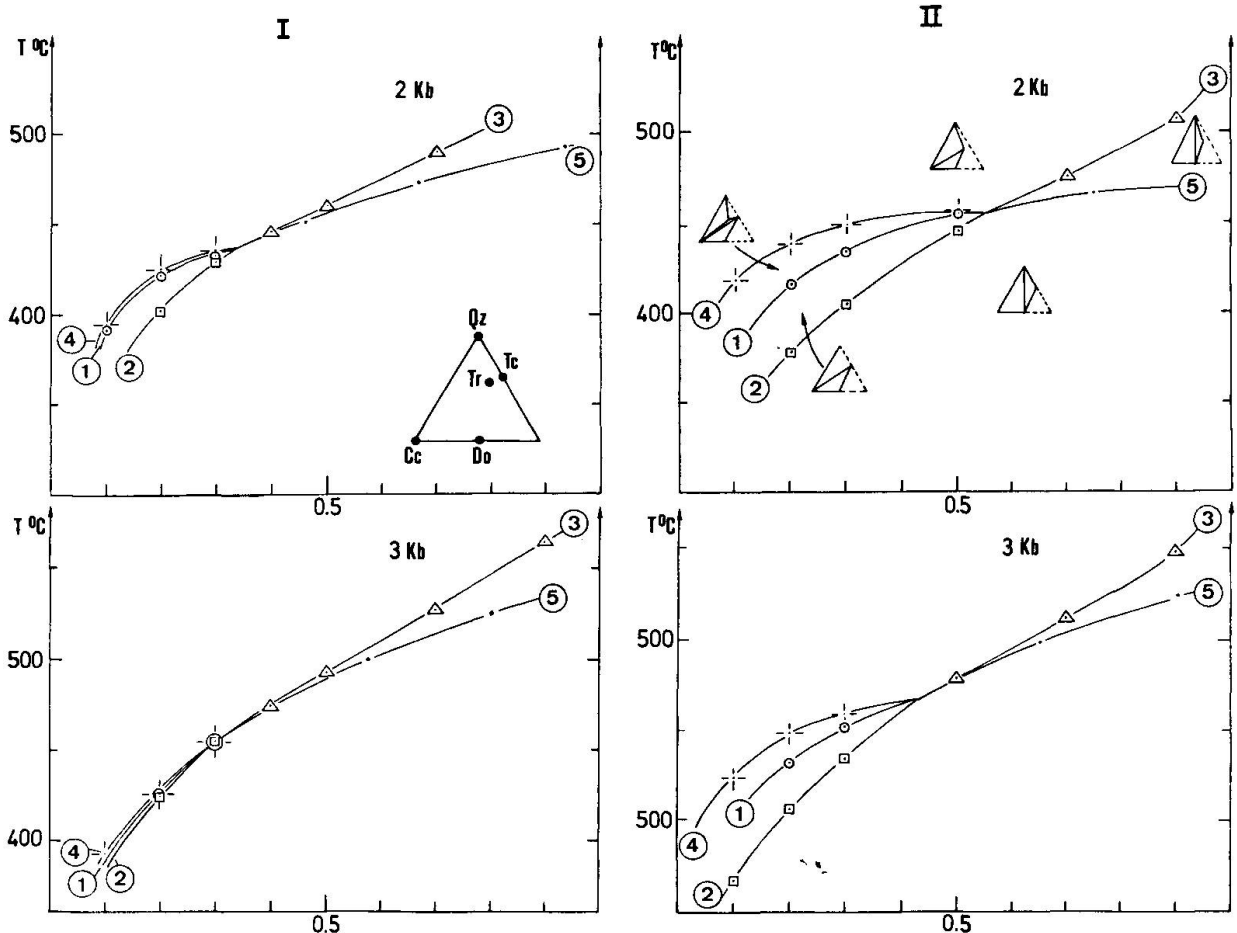


Fig. 7 T-X-Diagramme im System  $\text{SiO}_2\text{-MgO-CaO-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$  mit den Reaktionen, an denen Tremolite und Talk beteiligt sind (Numerierung siehe Text).

I reines System

II mit Fluor verunreinigtes System

### Schlussfolgerung

Die Stabilisierung der Tremolit-Talk-Paragenesen gegenüber der ursprünglichen Dolomit-Quarz-Paragenese dank der Fluorsubstitution ist in den Diagrammen in Fig. 7 deutlich erkennbar. Man beobachtet erstens die Verschiebung des Invarianzpunktes gegen höhere Werte von  $X_{CO_2}$  und gleichzeitig auch eine leichte Verschiebung desselben gegen höhere Temperaturen. Aber wichtiger ist die Vergrößerung der Felder zwischen Kurve 2 und 4 mit den entsprechenden kritischen Paragenesen Tc-Qz-Cc (2-1) und Tr-Tc-Cc (1-4). Das am meisten bevorzugte Feld ist dasjenige zwischen 1 und 4 mit der kritischen Paragenese Tr-Tc-Cc. Dies ist eine Konsequenz der Verschiebung der zwei Kurven ( $\Delta \log K_1 > 0$ ,  $\Delta \log K_4 < 0$ ) in entgegengesetzten Richtungen. Bei steigenden Drucken beobachtet man im verunreinigten System eine Verschiebung des Invariantepunktes gegen niedrigere Werte von  $X_{CO_2}$ . Das heisst, die mit Fluor verunreinigten Tremolit-Talk-Paragenesen weisen auch bei höheren Drucken ein bedeutend grösseres Stabilitätsfeld als reine  $H_2O$ -Paragenese auf.

Die T-X-Diagramme wurden nur bis 3 Kb gerechnet, weil die Flüssigkeitseinschlussdaten aus den Quarzknuern des Campolungo Drucke von etwa 2 Kb ergaben (MERCOLLI, 1979).

Die Resultate dieser Arbeit stehen in leichter Diskrepanz zu denjenigen von RICE (1975). Rice hatte für drei Tremolit-Talk-Paare aus dem Campolungo-Gebiet einen  $K_D$  von 2 gefunden, d.h. die Fluorsubstitution stabilisierte vor allem Talk. Mit diesem  $K_D = 2$  hat Rice die Verschiebung der Gleichgewichtskurven im T-X-Diagramm gerechnet. Sein Resultat war eine starke Vergrößerung der Felder zwischen Kurve 2 und 4. In dieser Arbeit mit einem  $K_D = 0.5$  ist hingegen Tremolit die bevorzugt stabilisierte Phase des F-OH-Austausches. Die Konsequenzen scheinen aber in der gleichen Richtung zu gehen. Auch in diesem Fall, trotz einem deutlich kleineren Verschiebungsbetrag, verändern sich die Gleichgewichtskurven im Sinne einer Stabilisierung der Tremolit-Talk-Paragenesen.

Die Konfiguration der T-X-Diagramme nach der Fluorsubstitution nähert sich an die von TROMMSDORFF (1972) für die Zentralalpen direkt aus Felddaten vorgeschlagene T-X-Topologie an. Es könnte also sein, dass genau die Fluorsubstitution für den grossen Stabilitätsbereich der Tremolit-Talk-Paragenesen in den Zentralalpen verantwortlich sein könnte. Diese Verallgemeinerung lässt sich aber nur mit Vorsicht anwenden. Es bestehen hauptsächlich zwei Einschränkungen, die durch den einzigartigen Charakter des untersuchten Phänomens bedingt sind. Wie man am Anfang gesehen hat, stellen die Reaktionsränder um die Quarzknuern nicht die Hauptphase der Alpinen Metamorphose in den Zentral-Alpen dar, sondern sie wurden später gebildet. In diesem Hinblick muss man sich merken, dass die Tremolite der ersten Generation, die während dieser Hauptphase gebildet wurden, arm an Fluor sind. Die zweite Einschrän

kung ist die schon erwähnte geringe Mobilität von Fluor in der Fluidphase, die eine grossräumige (Km<sup>2</sup>)-Verbreitung von Fluor verhindert. Man müsste also annehmen, dass die in den Zentralalpen stratigraphisch ähnlichen Dolomitgesteine eine primäre (sedimentäre?) Fluor-Anreicherung aufwiesen.

#### Verdankungen

Ich danke V. Trommsdorff für seine Anregungen und sein Interesse an dieser Arbeit. Für Computer-Arbeiten möchte ich H.R. Pfeifer und H. Oterdoom danken. Im weiteren möchte ich auch R. Oberhänsli und E. Hefti danken.

#### Literaturverzeichnis

- BIANCONI, F. (1971): Geologia e petrografia della regione del Campolungo. Beitr. Geol. Karte Schweiz, N. F., 142, 238 p.
- HELGESON, H. C., J. M. DELANY, H. W. NESBITT, D. K. BIRD (1978): Summary and critique of the thermodynamic properties of rock-forming minerals. Amer. J. Sci., 278-A, 1-229.
- KIRKHAM, D. H., J. U. WALTHER, J. M. DELANY (1975, ms): SUPCRIT, a Fortran IV computer program to compute the thermodynamic properties of minerals, gases and aqueous species and/or equilibrium constants etc. at elevated pressures and temperatures. Program No. 7402, Computer library H. C. Helgeson, U. C. Berkeley.
- MERCOLLI, I. (1979): Le inclusioni fluide nei noduli di quarzo dei marmi dolomitici della regione del Campolungo. ETH-Zürich Diss. No. 6378.
- MOORE, J. N., D. M. KERRICK (1976): Equilibria in siliceous dolomites of the Alta aureole, Utah. Amer. J. Sci., 276, 502-524.
- MUNOZ, J. L. and H. P. EUGSTER (1969): Experimental control of fluorine reactions in hydrothermal systems. Amer. Mineralogist 54, 943-959.
- MUNOZ, J. L. and S. D. LUDINGTON (1974): Fluoride-hydroxyl exchange in biotite. Amer. J. Sci. 274, 396-413.
- RICE, J. M. (1975): Progressive metamorphism of impure dolomite and mineral equilibria in the system CaO-MgO-SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O. Ph. D. Thesis, University of Washington, Seattle, USA.
- TROMMSDORFF, U. (1966): Progressive Metamorphose kieseliger Karbonatgesteine in den Zentralalpen zwischen Bernina und Simplon. SMPM, 46, 431-460.
- (1972): Change in T-X during metamorphism of silicious dolomitic rocks of the central alps. SMPM, 52, 1-4.

Manuskript eingegangen am 18. Juni 1980.