

Aus dem Institut für Mineralogie der Technischen Hochschule Darmstadt

Zur Bildungsbedingung des Marmores vom Koralm-Kamm

Von MÖCK, M., ANDREADAKI, Z., und PAULITSCH, P.

Mit 1 Abbildung und 2 Diagrammen (im Text)

Eingelangt am 11. März 1985

Inhalt: Mit Hilfe von Merkmalen der Gefügeorientierung von Kalzit, dem Magnesiumgehalt des Kalzites sowie der Bildungsbedingungen von Zoisit und Titanit werden die herrschenden Temperaturen und Drucke abgeschätzt.

I.

Bildungsbedingungen von Mineralgesellschaften können aus geometrischen und chemischen Merkmalen abgeleitet werden. Diese liefern den Druck, die Temperatur, die Art und Geschwindigkeit der Verformung und Umwandlung.

Das Ziel dieser Untersuchung ist es, aus der Orientierung der Kalzite in den untersuchten Marmoren der Koralm Hinweise auf die Fazies zu gewinnen. Diesen Daten sollen auch die experimentellen Bildungsbedingungen der weiteren Gemengteile wie Zoisit und Titanit eingefügt werden. Hinzu kommen die Hinweise, die aus dem MgCO_3 -Gehalt der Calcite zu gewinnen waren.

II.

Der aufgesammelte Marmor ist von Amphiboliten des Bärenfels umgeben und wurde in der baumfreien Alpenregion aufgesammelt. Seine Lage wurde von CLOOS 1927 in seiner Arbeit über das Kammgebiet der Koralm beschrieben.

Das Gestein besteht aus grobkörnigen, entpigmentierten, rekristallisierten sowie aus feinkörnigen Calciten (90 Vol%), die plattig ausgebildet sind. Sie zeigen Zwillingslamellen. Die Korngrößen schwanken von 0,3 bis 3 mm. Quarz (3 Vol%) tritt in runden, undulösen Körnern von \varnothing 0,5 mm auf.

Zoisit (4 Vol%) liegt in 0,3–1 mm großen Kristallen vor. Klinochlor und Muskovit könnten röntgenographisch bestätigt werden (2 Vol%). Daneben findet sich Pyrit, Rutil, Hämatit und Titanit (1 Vol%).

Röntgenographisch wurde der MgCO_3 -Gehalt des Calcits gemessen. Der d-Wert von 3,02 des (211) Reflexes des Calcits weist auf einen MgCO_3 -Gehalt von etwa 5% hin.

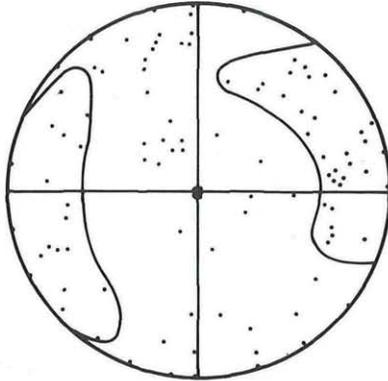
Mit der röntgendispersiven Analyse wurde zusätzlich Ba, Cr, Ti, Mn und Ni nachgewiesen. Hierbei ergab sich ein MgCO_3 -Gehalt im Calcit um 6%. Die chemische Analyse der Zoisite stimmt mit der Zoisit-Analyse von DEER et al. 1962 S. 188 Nr. 2 gut überein. Die chemische Analyse der Titanite ergab: SiO_2 32,6%, CaO 28,2%, TiO_2 39,0 Gew. %.

Diese Analyse kommt der von DEER et al. 1962 S. 72 Nr. 1 registrierten sehr nahe.

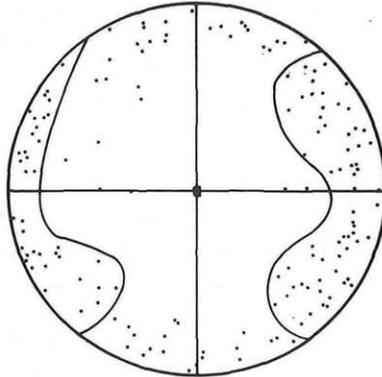
III.

Orientierung der Calcite

Im Diagramm 1 ist die Orientierung von 100 optischen Calcit-Achsen wiedergegeben. Sie bilden einen unterbrochenen ac-Gürtel am Grundkreis mit einer Häufung unweit des Pols der Schieferung und einem deutlichen Minimum um B. Die Orientierung von 149 Calcitfugen in den Körnern zeigt hingegen, in Diagramm 2, einen geschlossenen (ac)-Gürtel. Hier treten zwei fast symmetrisch zum Schieferpol liegende Häufungen auf. Somit kann das Fugengefüge als fast rhombisch bezeichnet werden, was einer Plättung entspricht. Das Gestein wird als mehrschariger Tektonit bezeichnet.



D 1: 100 Kalzitachsen, Koralm-Marmor senkrecht B.



D 2: 149 Kalzitfugen, Koralm-Marmor senkrecht B.

IV.

A. Mehrere Merkmale von Calcit können auf die Bildungsbedingungen des Gesteins hinweisen:

1. Orientierung der Calcit-Achsen
2. Verschiedene Translationssysteme im Calcit
3. $MgCO_3$ -Gehalt im Calcit
4. Farbe des Calcits

Zu 1.) PAULITSCH und AMBS haben 1966 in Anschluß an FELKEL 1928 mehrere Typen von Calcit-Orientierungen beschrieben, die in verschiedenen Paragenesen auftreten und verschiedenen Bildungsbedingungen entsprechen.

Die Orientierung der Calcite unterscheidet sich in sedimentären, metamorphen, rekristallisierten und primären (Karbonatite) Calcitgefügen.

Zu 2.) PATTERSON und TURNER 1970 zeigten in Experimenten, daß sechs verschiedene Gleitmechanismen in Calcit in Abhängigkeit von der Ausgangslage und Temperatur auftreten. Und zwar in vier verschiedenen Flächen. Translation oder Verzwillingung nach r, e, in f oder nach dem Prisma a. Auf niedrige Temperatur weist Verzwillingung nach r hin. Verzwillingung nach f ist über 500° C häufig. Der Verzwillingungsmechanismus nach e tritt in einem großen Temperaturbereich (Durchläufer) auf.

Zu 3.) Das Diagramm vom GOLDSMITH und GRAF 1958 gibt den MgCO₃-Gehalt nach dem d-Wert (211) wieder.

Das Diagramm nach GOLDSMITH und HEARD 1961 zeigt die dazugehörige Bildungstemperatur. MgCO₃-Gehalte von 22% treten bei Temperaturen über 800° C auf, während 5% MgCO₃ bei 500° C eintritt. LIPPMANN 1973 weist auch auf die Extrapolation auf niedrigere Temperaturen in Sedimenten hin.

HERITSCH 1978 hat im Marmor vom Steinbruch Gupper in reinweißem Calcit einen Gehalt von 2 Mol. % MgCO₃ naßchemisch und röntgenographisch nachgewiesen und in coexistierenden Calciten und Dolomiten im Calcit 5,5–6 Mol. % MgCO₃ bestimmt.

Zu 4.) GEORGINI 1980 untersuchte hellblaue Marmore von verschiedenen Fundorten, die in den Alpen, Südafrika, Kanada und Sibirien aufgesammelt wurden. Bei Erhitzungsversuchen verschwand die blaue Farbe erst bei Temperaturen über 300° C. Werden die o. g. vier Merkmale der Marmore der Koralm berücksichtigt, ist festzuhalten, daß der MgCO₃-Gehalt von 5% auf 500° C hinweist. Die Orientierung der Calcite ist mit der Zwillingsbildung nach e verknüpft und kann als Durchläufer-Gleitung keiner bestimmten Temperaturzone zugeordnet werden. Hingegen weisen entpigmentierte, grobkörnige, rekristallisierte, weiße Calcite auf Temperaturen mindestens über 300° C.

B. Auf der Suche nach Mineralreaktionen, in denen Zoisit beteiligt ist, fanden wir experimentelle Nachweise. (32)

Im beiliegenden Diagramm sind die bisherigen Daten für die Zoisit-Reaktionen dargestellt. Sie umfassen für die verschiedenen Mineralpaare einen großen Temperaturbereich von 150° bis 1.270° C. Auch das Feld der experimentellen Drucke umfaßt einen großen Bereich von 2 bis 34 kb. Stofflich lassen sich zwei Gruppen unterscheiden: Reaktionen, an denen Kalzit beteiligt ist oder nicht. Die höheren Temperaturen entsprechen wasserfreien Reaktionen. In Gegenwart von Wasser sinken die Liquidus-Temperaturen ab.

In dieser zusammenfassenden Darstellung wird besonders deutlich, daß das Auftreten eines Minerals alleine noch nicht zur Bestimmung der Bildungsbedingungen herangezogen werden kann. Vielmehr muß die Relation eines Mineralpaares im Gestein beobachtbar sein, oder es muß festgestellt werden, daß eine bestimmte Reaktion nicht abgelaufen ist.

Im Kamm-Marmor liegt Zoisit neben Quarz und Calcit, ohne Reaktionen zu zeigen. Dazu ist zu bemerken, daß ähnliche Verhältnisse vorliegen, wie sie bereits von HERITSCH 1978 für den Marmor vom Steinbruch Gupper erarbeitet wurden. Im Hinblick auf die Einschaltung des Marmors in Amphibolite sind nach HERITSCH 1964, 1972, 1978, 1980 folgende Drucke und Temperaturen möglich:

Plattengneise	550–645° C	8–10 Kb	PLATEN & HÖLLER (1966)
Eklogitamphibolite	500–600° C	8–10 Kb	HERITSCH (1973)
	460–640° C	5–8,5 Kb	RICHTER (1973)
Disten-Stauroolith-			
Granatglimmerschiefer	560–590° C	5–7 Kb	HERITSCH & MÖRTL (1977)

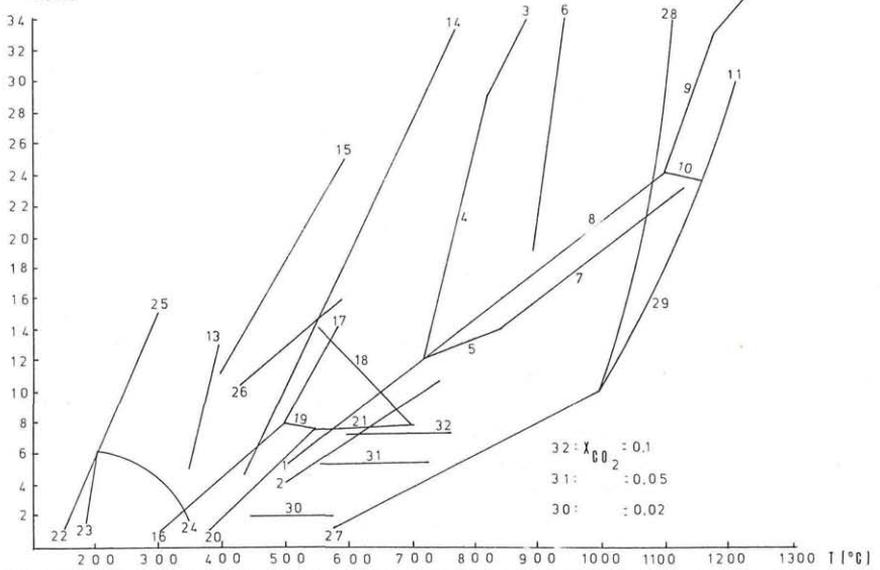


Abb. 1: Darstellung der Zoisit-Reaktion im Bereich von 150° C bis 1270° C und zwischen 1–34 kb. Die Reaktionen 1–12, 28, 29 nach BOETTCHER 1970, Nr. 16 bis 21 nach CHATERJEE 1976, Nr. 15 nach HOLLAND 1979, Nr. 14 nach NEWTON & KENNEDY 1963, Nr. 13 nach NITSCH 1968, Nr. 22–27 nach PERKINS & WESTRUM & ESSENE 1980, Nr. 30–32 nach STORRE & NITSCH 1972.

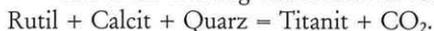
Zoisit-Reaktionen

1. Zoisit + Kyanit + Quarz – Anorthit + H₂O
2. Zoisit + Kyanit – Anorthit + Korund + H₂O
3. Zoisit + Kyanit + Coesit + H₂O – Schmelze
4. Zoisit + Kyanit + Quarz + H₂O – Schmelze
5. Zoisit + Kyanit + Schmelze – Anorthit + H₂O
6. Zoisit + Kyanit + H₂O – Korund + Schmelze
7. Zoisit + Kyanit – Anorthit + Korund + Schmelze
8. Zoisit + Kyanit + Quarz – Anorthit + Schmelze
9. Zoisit + Quarz – Grossular + Kyanit + Schmelze
10. Zoisit + Anorthit – Grossular + Kyanit + Schmelze
11. Zoisit – Grossular + Kyanit + Korund + Schmelze
12. Zoisit + Coesit – Grossular + Kyanit + Schmelze
13. Zoisit + Aktinolith – Pumpellyit + Chlorit + Quarz
14. Zoisit + Kyanit + Quarz + H₂O – Lawsonit
15. Zoisit + Paragonit – Lawsonit + Jadeit
16. Zoisit + Margarit + Quarz + H₂O – Lawsonit
17. Zoisit + Kyanit + H₂O – Lawsonit + Margarit
18. Zoisit + Kyanit + Korund + H₂O – Margarit + Quarz
19. Zoisit + Kyanit + H₂O – Margarit + Quarz
20. Zoisit + Margarit + Quarz – Anorthit + H₂O
21. Zoisit + Kyanit – Margarit + Anorthit
22. Zoisit + Prehnit + H₂O – Lawsonit + Grossular
23. Zoisit + Quarz + H₂O – Prehnit + Lawsonit
24. Zoisit + Grossular + Quarz + H₂O – Prehnit
25. Zoisit + Quarz + H₂O – Lawsonit + H₂O
26. Zoisit + Diaspor + Kyanit – Margarit
27. Zoisit – Anorthit + Quarz + Korund + H₂O
28. Zoisit + H₂O – Grossular + Korund + Schmelze
29. Zoisit – Grossular + Anorthit + Korund + Schmelze
30. Zoisit + CO₂ – Anorthit + Calcit + H₂O, X_{CO₂} = 0,02
31. Zoisit + CO₂ – Anorthit + Calcit + H₂O, X_{CO₂} = 0,05
32. Zoisit + CO₂ – Anorthit + Calcit + H₂O, X_{CO₂} = 0,10

Mit diesen Daten stimmt auch der MgCO_3 -Gehalt der Calcite (500°C) überein.

Für die Klinozoisite ist auch eine Orientierung der Stengelachse parallel B häufig (vgl. HERRMANN et. al. 1979).

C. Für die Bildung von Titanit ist folgende Reaktion bekannt:



DACHILLE und ROY 1962 haben Rutil bei hohen Drucken als stabile Phase synthetisiert. Rutil in Gegenwart von Hämatit wurde von TAYLOR 1964 bei 500°C erzeugt.

Die obengenannte Reaktion wurde von SCHUILING & VINK 1967 untersucht. Die Temperaturen hängen von der CO_2 -Konzentration ab. Der Schwerpunkt des Bildungsfeldes von Titanit liegt danach bei 500°C . Bei höheren Temperaturen kommt es zur Wollastonitbildung. HUNT & KERRICK 1977 ergänzen diese Reaktion für höhere CO_2 -Konzentration, die in gleicher Weise zu einer Temperaturzunahme führen.

TAYLOR & BROWN 1976 untersuchten den Phasenübergang in synthetischen Titaniten und fanden eine reversible Umwandlung mit Raumgruppenänderung bei 220°C .

Die obere Grenze der Anatexis für die Plattengneise wurde bei $645^\circ\text{--}670^\circ\text{C}$ von PLATEN & HÖLLER 1966 bestimmt. Ein weiteres Argument sind die Jadeitgehalte in den Eklogiten sowie die Granatreaktionen. Ergänzend soll noch bemerkt werden, daß die Amphibolite eine starke Anisotropie der Druckfestigkeit zeigen. Sie schwankt von $2300\text{--}1100\text{ Kp/cm}^2$ parallel B. (HERRMANN et al. 1979).

Zusammenfassung

Zusammenfassend werden für die Bildungsbedingungen des Koralm-Marmors folgende Merkmale aussagekräftig:

1. Die MgCO_3 -Gehalte der Calcite von 5% weisen auf 500°C hin.
2. Die weiße Farbe der Calcite tritt erst über 300°C auf.
3. Nach der Orientierung der Calcite handelt es sich bei diesem Marmor um einen mehrscharigen Tektonit mit fast rhombischer Amplatz-Plättung.

Die Mineralparagenese Zoisit, Quarz und Glimmer ist nach den Experimenten bis 540°C und 7,5 kb stabil.

Der chemisch bestimmte Fe-Gehalt von Zoisit von 0,8 Gew. % hat nur geringen Einfluß.

Aus der Reaktion $\text{Rutil} + \text{Calcit} + \text{Quarz} = \text{Titanit} + \text{CO}_2$ ergibt sich ebenfalls als mögliche Bildungstemperatur 500°C .

Diese Daten fügen sich in die von HERITSCH 1978, 1973 bestimmten Bildungsbedingungen der umgebenden Plattengneise und Eklogit-Amphibolite sowie für Zoisit ein.

Dank

Wir danken Herrn J. ÖFFLER für die Präparation und Herrn Dipl.-Min. APFELBACH für die Mitwirkung bei den Röntgenaufnahmen.

S. D. Fürst Liechtenstein danken wir für die Möglichkeit der Begehung in seinen Revieren.

Literatur

- BOETTCHER, A. L. (1970): The System $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ at High Pressures and Temperatures. – (Reaktionen 1–12, 28, 29) Journ. of. Petrol., 11: 337–379
- CHATTERJEE, N. D. (1976): Margarite Stability and compatibility relations in the system $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ as a pressure-temperature indicator. Amer. Min., Vol 61: 699–709.

- CLOSS, A. (1927): Das Kammingebiet der Koralpe. – Mitt. naturwiss. Ver. Stmk., Bd. 63: 119–135.
- DACHILLE, F., and ROY, R. (1962): A new high pressure form of titanium dioxide. – Bull. Ceram. Soc. Amer., 41: 225.
- DEER, W. A. & HOWIE, M. A. & ZUSSMAN, M. A. (1962): Rock-Forming Minerals, Sheet Silicates 3, Ortho and Ring Silicates I. – London (Longmans).
- FELKEL, E. (1929): Gefügestudien an Kalktektoniten. – Jb. Geol. Bundesanst. Wien, 79: 33–86.
- GEORGINI, S. (1980): Orientierung und Chemie von Calcit und Glimmer. – Diplomarbeit – Darmstadt.
- GOLDSMITH, J. R. & GRAF, D. L. (1958): Relations between lattice constants and composition of Ca-Mg carbonates. – Amer. Mineralogist, 43: 84–101.
- GOLDSMITH, I. R., and HEARD, H. (1961): Subsolidus phase relations in the system $\text{CaCO}_3\text{-MgCO}_3$. – J. Geol., 69: 45–74.
- HERITSCH, H. (1964): Vorbericht über Untersuchungen am Stainzer Plattengneis, Weststeiermark. – Anz. Österr. Akad. Wiss. Wien, math.-naturwiss. Klasse, 317–318.
- HERITSCH, H. (1972): Die Bildungsbedingungen von alpinotypem Eklogit amphibolit und Metagabbro, erläutert an Gesteinen der Koralpe, Steiermark. – Tschermarks Min. Petr. Mitt., 19: 213 bis 271.
- HERITSCH, H. (1978): Die Metamorphose des Schiefergneis-Glimmerschiefer-Komplexes der Koralpe, Steiermark. – Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 108: 19–30.
- HERITSCH, H. (1978): Regionalmetamorphose eines Marmor-Kalksilikatschiefer-Komplexes unter geringem Partialdruck von CO_2 in der Koralpe, Steiermark– N. Jb. Miner. Abh., 133: 41–52.
- HERITSCH, H. (1980): Einführung zu Problemen der Petrologie der Koralpe. – Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergb. Landesmus. Joanneum, H. 41: 213–248.
- HERRMANN, A., ROCH, C., und PAULITSCH, P. (1979): Steirische Gefüge (Österreich). – Mitt. Bl. Abt. Min. Landesmuseum Joanneum, 47.
- HOLLAND, T. J. B. (1979): Experimental Determination of Reaction Paragonite = Jadeite + Kyanite + H_2O and Internally Consistent Thermodynamic Data for Part of the System $\text{Na}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$, with Applications to Eclogites and Blueschists. – (Reaktion 15). Contr. Mineral. Petrol., 68: 293–301.
- HUNT, J. A. & KERRICK, D. M. (1977): The Stability of Sphene, experimental redetermination and geologic implications. – Geoch. cosmoch. Acta, 41: 279–288.
- LIPPMANN, F. (1973): Sedimentary Carbonate Minerals. – Springer-Verlag Berlin – Heidelberg – New York.
- NEWTON, R. C., and KENNEDY, G. C. (1963): Some equilibrium reactions in the join $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8\text{-H}_2\text{O}$. – (Reaktion 14). J. Geophys. Res., 68: 2967–2983.
- NITSCH, W. H. (1968): Die Stabilität von Lawsonit – Naturw., 55: 388.
- PLATEN, H. v. & HÖLLER, H. (1966): Experimentelle Anatexis des Stainzer Plattengneises von der Koralpe, Steiermark, bei 2, 4, 7 und 10 kb H_2O -Druck. – N. Jb. Miner. Abh., 106: 106–130.
- PATTERSON, M. S. & TURNER, F. J. (1970): Experimental deformation of constrained crystals of calcite in extension – In: Experimental and natural rock deformation. (P. PAULITSCH, ed.). Berlin – Heidelberg: Springer.
- PAULITSCH, P. & AMBS, H. (1966): Carbonatites, their fabric, chemistry and their genesis. – Intern. Min. Assoc., Papers Proceed 4. General Meeting, 140–147.

- PERKINS, E. F., WESTRUM, Jr. and ESSENE, E. J. (1980): The thermodynamic properties and phase relations of some minerals on the system $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$. – (Reaktionen 22–27).
Geochim. Cosmochim. Acta, **44**: 61–84.
- SCHUILING, R. D. & VINK, B. W. (1967): Stability relations of some titanium-minerals (Sphene, perovskite, rutile, anatase). – *Geochim. cosmoch. Acta*, **31**: 2399–2411.
- STORRE, B. & NITSCH, K. H. (1972): Die Reaktion.
 $2 \text{Zoisit} + 1 \text{CO}_2 - 3 \text{Anorthit} + 1 \text{Calcit} + 1 \text{H}_2\text{O}$. – *Contr. Mineral. Petrol.*, **35**: 1–10.
- TAYLOR, M. & BROWN, G. E. (1976): High-temperature structural study of the $\text{P}_{21}/a \rightleftharpoons A_2/a$ phase transition in synthetic titanite, CaTiSiO_5 . – *Amer. Min.*, **61**: 435–447.
- TAYLOR, R. W. (1964): Phase equilibria in the System $\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$. – *Ceram. Soc.* **46**: 276–279.

Anschrift der Verfasser: Dipl.-Min. Z. ANDREADAKI
Dipl.-Min. M. MÖCK
Prof. Dr. P. PAULITSCH
Institut für Mineralogie, Technische Hochschule, Schnittspahn-
straße 9
D-6100 Darmstadt