

I. WISSENSCHAFTLICHE ABHANDLUNGEN

Aus dem Institut für Mineralogie-Kristallographie und Petrologie der Universität Graz

Das Problem des Auftretens von Sillimanit in den Gneisen der Koralpe, Steiermark und Kärnten

Von Haymo HERITSCH

Mit 8 Abbildungen und 1 Tabelle (im Text)

Eingelangt am 28. Februar 1985

Inhalt: Scheinbar nadelförmige, wegen ihrer Kleinheit lichtoptisch nicht bestimmbare Einschlüsse in Feldspäten der Gneise der Koralpe sind fast immer Muskowit. In einem Gneis des Bärennecktales, westlich des Jauksattels im Kammgebiet der südlichen Koralpe, tritt jedoch feinstnadelliger Disthen als Einschuß in Feldspäten auf. Außerdem findet man in räumlicher Berührung: Kalifeldspat + Disthen und auch Muskowit + Quarz + Kalifeldspat + Disthen. Die Erklärung dieser Paragenesen legt eine Metamorphose bei niedrigem Druck (um 2 Kb), gefolgt von der eigentlichen Hochdruckmetamorphose (höher als 5–6 Kb), der Koralpengneise nahe.

ANGEL 1919 (in ANGEL & HERITSCH 1919: 92–95, 110–115) vermeinte in Gesteinen der Teigitschserie der Stubalpe (z. B. Bundscheckgneisen), und zwar in Plagioklasen, Nadeln von Sillimanit beobachten zu können, schwächt jedoch später (ANGEL 1921) die unbedingte Sicherheit der Feststellung von Sillimanit als Deutungsmöglichkeit ab: wegen der Kleinheit der Nadeln sind optische Eigenschaften nicht einwandfrei festzustellen. In dem Buch „Gesteine der Steiermark“ (ANGEL 1924: 208) bleibt für den Buntscheckgneis die Beobachtung von Sillimanit weiterhin unsicher, jedoch wird Sillimanit für Schiefer der Koralpe (Plattengneise usw.) als gesichert angenommen, ebenso wie in ANGEL 1940. Wegen der Unmöglichkeit, so dünne Nadeln als Einschlüsse in Feldspat optisch zu bestimmen, blieb diese Frage weiterhin in Schwebe und wurde nur gelegentlich mündlich diskutiert bzw. ohne Nachweis in einem Analogieschluß als Möglichkeit vermutet, FRANK et al. 1983. Erst durch die hier vorgelegten Ergebnisse einer Untersuchung mit Hilfe der Elektronenstrahlmikroanalyse konnte das Problem klarer gefaßt werden.

I. Muskowit als Einschuß in Feldspäten der Gneise der Koralpe

Über die Gneise bis Glimmerschiefer der Koralpe orientieren z. B. PACHER & RIEPL 1978 und HERITSCH 1978. Schon in einer früheren Arbeit (HERITSCH 1980) konnte gezeigt werden, daß massenhaft in Alkalifeldspäten dieser Gesteine auftretende blättchenförmige Einschlüsse, die optisch wegen ihrer Kleinheit (im Bereich von hundertstel Millimetern) nicht bestimmt werden können, Muskowit sind.

Nur scheinbar feinstnadelige Einschlüsse auch in Plagioklas erwiesen sich in den bisher untersuchten Fällen ebenfalls als Muskowit, abgesehen von einer einzigen im folgenden Abschnitt beschriebenen Ausnahme. Aus einem Gneis an der Straße über die Soboth von der Ostseite des Höllgrabens (vgl. Österreichische Karte 1:50.000, Blatt St. Paul im Lavanttal, Nr. 205) bringt Abb. 1 eine rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines Schnittes durch ein Plagioklaskorn etwa senkrecht zu [100]. Neben regellos in das Plagioklaskorn eingelagerten Muskowitblättchen treten auch solche hervor, die nach {010} und {001} orientiert eingewachsen sind. Diese Orientierung ist in Dünnschliffen sehr häufig zu finden. Der Eindruck von Nadeln kommt dadurch zustande, daß die Muskowite eigentlich meist leistenförmig entwickelt sind. Die geringe Dicke senkrecht zur Spaltung im Bereich von tausendstel Millimetern macht eine optische Bestimmung unmöglich. Es ist schon seit langem üblich, diese Muskowitbildung etwa nach der Gleichung



d. h. 3 Kalifeldspat + Wasser \rightarrow Muskowit + K_2O + 6SiO_2

zu schreiben, wobei K_2O und SiO_2 in Lösung abwandern, z. B. ESKOLA 1939: 389. Für Albit und Anorthit ist natürlich noch Zufuhr von K_2O und Abwanderung von Na_2O und CaO notwendig.

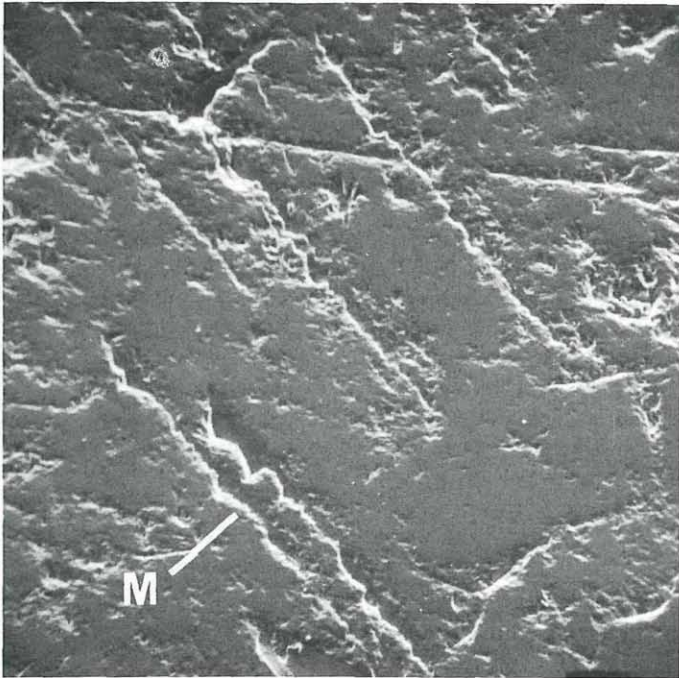
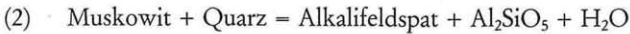


Abb. 1: Aus einem Gneis an der Straße über die Soboth. In einem großen, etwa senkrecht zu [100] geschnittenen Plagioklaskorn sind vorwiegend nach {010} und {001} eingelagerte Muskowitblättchen (M) zu erkennen. Nachweis der Phasen durch vielfache Elektronenstrahlmikroanalysen. Dicke der Blättchen 0,005 bis 0,01 mm, Länge des unteren Bildrandes 0,5 mm.

Wegen der bedeutenden Volumsabnahme von der linken zur rechten Seite der oben angeführten Gleichung (1) kann, unter der Voraussetzung, daß – der Beobachtung entsprechend – eine völlige Umkristallisation der Feldspäte nicht eintritt, der Vorgang nicht so einfach ablaufen. Es muß vielmehr für die Alkalifeldspäte eine Zufuhr von Al_2O_3 , in welcher Form auch immer, angenommen werden, um die Volumsbilanz zu halten.

II. Muskowit – Quarz – Disthen – Kalifeldspat in gegenseitiger Berührung im Gneis des Bäreneckgrabens, Koralpe

PLATEN & HÖLLER 1966: 111 haben darauf hingewiesen, daß im Plattengneis der Koralpe Disthen und Kalifeldspat nie in direkter Berührung vorkommen und daß in der Almandin-Amphibolitfazies keine Subfazies die Paragenese Kalifeldspat + Muskowit + Disthen zuläßt. Diese Beobachtung wurde auch weitverbreitet gemacht (z. B. HERITSCH 1978, JUNG 1982: 68). Mit Hilfe der somit nicht nach rechts abgelaufenen Reaktionsgleichung



nach ALTHAUS et al. 1970 konnte diese Beobachtung für die Druck- und Temperaturbedingungen der Genese weiter Teile der Koralpengneise ausgewertet werden, HERITSCH 1978, 1980.

In einem Gneis hoch oben im Bäreneckgraben schon nahe dem Kamm der Koralpe, westlich des Jauksattels (Österreichische Karte 1:50.000, Blatt Wolfsberg, Nr. 188) steht ein merkwürdiger, nicht bis fast nicht geschieferter Gneis mit größeren Alkalifeldspat-Kristallen an. Nur wenige Meter daneben stehen wieder Gneise an, die das in der Koralpe übliche und weitverbreitete Aussehen der Schieferung haben. Ich verdanke die Kenntnis von dieser Fundstelle Herrn Dr. P. BECK-MANNAGETTA, dem dieses nicht verschieferte Gestein bei der geologischen Kartierung aufgefallen war.

Tab. 1: Chemische Analysen von Koralpengneisen aus dem Bereich des Bäreneckgrabens im Vergleich mit den Mittelwerten nach PACHER & RIEPL, 1978

	Bäreneckgraben nicht geschiefert	Bäreneckgraben geschiefert	Jauk-Sattel	Koralpengneise Mittelwerte
SiO_2	65,20	70,69	69,55	62,70
TiO_2	0,72	0,68	0,64	0,90
Al_2O_3	16,42	13,62	14,69	17,10
Fe_2O_3	2,31	2,07	2,73	3,28
FeO	3,63	2,37	2,87	3,98
MnO	0,10	0,09	0,09	0,12
MgO	2,37	1,98	1,22	2,46
CaO	1,60	1,44	1,93	1,91
Na_2O	2,24	1,68	2,05	1,73
K_2O	3,57	3,20	2,48	3,23
P_2O_5	0,11	0,18	0,21	0,22
H_2O^+	2,07	2,04	1,65	2,23
H_2O^-	0,09	0,03	0,09	0,14
	100,43	100,07	100,20	100,00

Die Tab. 1 bringt chemische Analysen dieses Gesteins und zweier Nachbargesteine im Vergleich mit den Mittelwerten von 22 Gneisen, die in weiter Streuung aus dem Bereich der Koralpe entnommen sind, PACHER & RIEPL 1978. Auch das fast nicht geschie-

ferte Gestein des Bäreneckgrabens fügt sich durchaus in die Variationsbreite der Korallengneise bei Glimmerschiefer ein. Eine ungewöhnliche chemische Zusammensetzung liegt nicht vor.

Trotzdem ist, wie in einem Kurzbericht HERITSCH 1984 schon hingewiesen wurde, dieser fast ungeschieferte Gneis in folgender Hinsicht bemerkenswert: es erscheint nämlich Disthen sehr häufig in direkter Berührung mit Alkalifeldspat, vgl. Abb. 2. Dieser Alkalifeldspat ist durchaus mit dem perthitisch entmischten Alkalifeldspat mit der Hauptphase Or 90 vergleichbar, HERITSCH 1980a.

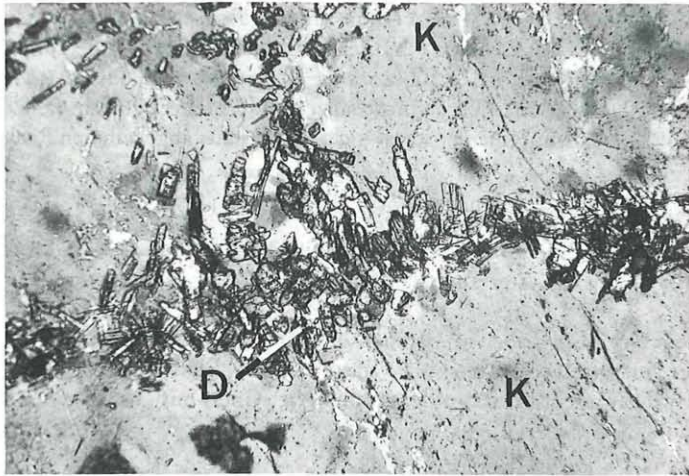


Abb. 2: Aus dem Gneis des Bäreneckgrabens, Korralpe. Disthenkristalle (D), als kurze Leisten ausgebildet, in direktem Kontakt mit Kalifeldspat mit Or 90 (K). Die Paragenese stellt unter den Bedingungen der endgültigen Metamorphose der Korallengneise kein Gleichgewicht dar. Länge des unteren Bildrandes 1 mm.

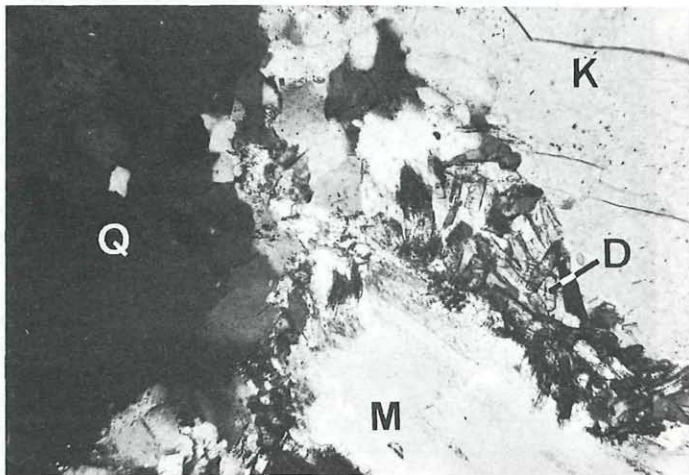


Abb. 3: Aus dem Gneis des Bäreneckgrabens, Korralpe. Kalifeldspat mit Or 90 (K), Quarz (Qu), Disthen (D) und zur Spaltung schief geschnittener Muskowit (M) in direkter Berührung. Diese Paragenese stellt unter den Bedingungen der endgültigen Metamorphose der Korallengneise kein Gleichgewicht dar. Länge des unteren Bildrandes 1 mm.

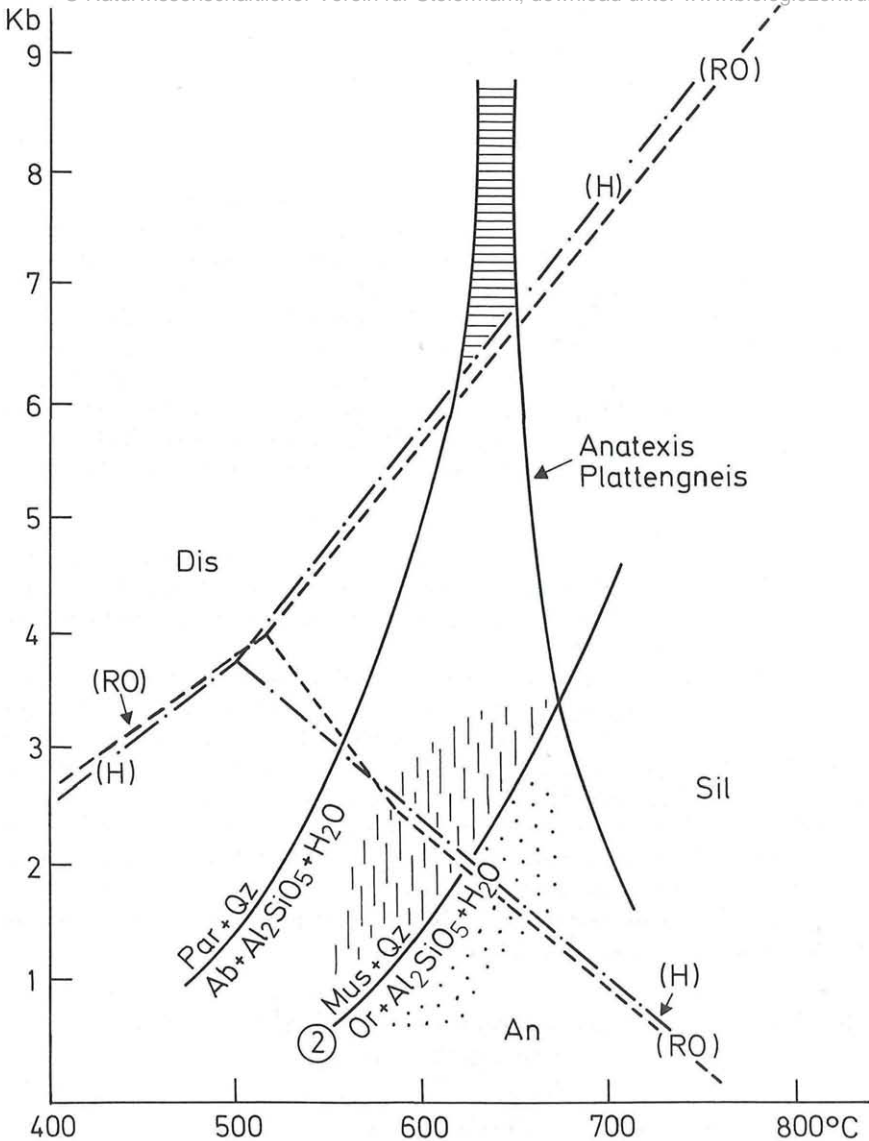


Abb. 4: Gleichgewichtskurven einiger Reaktionen, die für die Bildung von in Feldspäten eingeschlossener Disthennadeln in einem Gneis der Koralpe (Bäreneckgraben) sowie für die Genese der Koralpengneis Bedeutung haben. Felder für die Al_2SiO_5 -Modifikation nach HOLDAWAY, 1971 (H), und ROBIE & HEMINGWAY, 1984 (RO); Paragonit + Quarz = Albit + $Al_2SiO_5 + H_2O$ nach CHATTERJEE 1972; Muskowit + Quarz = Kalifeldspat + $Al_2SiO_5 + H_2O$ nach ALTHAUS et al. 1970 (2); Anaxitis der Plattengneis nach PLATEN & HÖLLER 1966; horizontal schraffierter Bereich stellt die wahrscheinlichsten Bedingungen für die Hochdruckmetamorphose der Plattengneis dar. Im punktierten Bereich ist Andalusit oder Silimanit mit Kalifeldspat in Berührung stabil. Bei Übertritt in den vertikal gestrichelten Bereich und Anwesenheit von genügend Wasser wird daraus Muskowit + Quarz. Bei mangelndem Wasser kann Al_2SiO_5 erhalten bleiben und wird bei der endgültigen Hochdruckmetamorphose im horizontal schraffierten Bereich zu Disthen.

Außerdem kann auch die Paragenese Muskowit + Quarz + Kalifeldspat + Disthen in direkter Berührung festgestellt werden, Abb. 3. Zur Deutung: diese Paragenese ist innerhalb eines für die Entstehung der Korallengneise zu erwartenden Druck- und Temperaturbereiches nicht möglich, da sie jenseits der Anatexis der Plattengneise läge, vgl. Abb. 4. Wohl ist die Paragenese Muskowit + Quarz + Kalifeldspat + Al_2SiO_5 (als Sillimanit oder Andalusit) möglich, wenn die Druck- und Temperaturbedingungen direkt auf der Kurve der Reaktionsgleichung (2) nach ALTHAUS et al. 1970 liegen und somit im Gleichgewicht sind. Als Al_2SiO_5 -Phase treten nach Abb. 4 bei niedriger Temperatur Andalusit, bei höherer jedoch Sillimanit auf. So eng begrenzte und auch zeitlich länger dauernde Druck- und Temperaturbedingungen sind unwahrscheinlich.

Wahrscheinlicher ist wohl die Deutung, daß zunächst rechts der Kurve (2) Muskowit + Quarz = Alkalifeldspat + Al_2SiO_5 + H_2O in Abb. 4 die Paragenese Kalifeldspat + Sillimanit oder Andalusit entsteht und dann bei Überschreiten nach links unter Wasserzutritt Muskowit + Quarz gebildet wird. In der Abb. 4 heißt das, daß die Bedingungen aus dem punktierten Bereich in den senkrecht strichlierten Bereich überwechseln. Bei der endgültigen Korallenmetamorphose werden schließlich die Bedingungen des horizontal schraffierten Bereiches erreicht.

Folgende Fälle sind denkbar:

a) Es steht kein Wasser zur Verfügung, eine Reaktion (2) tritt nicht ein, und bei Anhebung des Druckes in die Bedingungen der Entstehung des (Platten-)Gneises wird der Sillimanit oder Andalusit in Disthen trocken umgewandelt. Es entsteht die Paragenese Kalifeldspat + Disthen, vgl. Abb. 2.

b) Es tritt etwas Wasser hinzu, aber nicht genügend, um den gesamten Sillimanit oder Andalusit in Muskowit + Quarz umzuwandeln, so daß Muskowit + Quarz + Kalifeldspat + Sillimanit (oder Andalusit) ein Ungleichgewicht bilden. Dieses wird dann durch Anheben in die Bedingungen der endgültigen Gneisentstehung zur ebenfalls in Ungleichgewicht stehenden Paragenese Muskowit + Quarz + Disthen + Kalifeldspat.

c) Bei den Plattengneisen besteht ein Lagenbau. Die hellen Lagen enthalten von vornherein nur Alkalifeldspat bzw. Plagioklas mit sehr wenig Quarz. In den dunklen Lagen mit Granat, Biotit, Muskowit, Quarz und Disthen ist eventuell vorhanden gewesener Kalifeldspat nach Reaktion (2) mit Al_2SiO_5 bei genügendem Wassergehalt völlig in Muskowit + Quarz umgewandelt, vgl. HERITSCH 1978.

III. Einschlüsse von Nadeln aus Disthen in Feldspäten des Gneises vom Bäreneckgraben, Koralle

In dem im Abschnitt II beschriebenen Gneis kommen im vorwiegend Kalifeldspat (Hauptphase Or 90), besonders aber im Plagioklas (etwa An 30, leicht zonar) Nadeln von Al_2SiO_5 vor. Die Abb. 5 zeigt ein Plagioklaskorn im gekreuzt polarisierten Licht und die Abb. 6 einen Ausschnitt daraus in stärkerer Vergrößerung im einfach polarisierten Licht. Aus optischen Daten ist die Schnittlage mit ungefähr senkrecht zu [100] bestimmt. Neben unregelmäßig orientierten liegen die meisten Nadeln bevorzugt in [100] (Querschnitte) und in [010] bzw. [001] (Längsschnitte). Besonders in den Querschnitten erkennt man die oft leistenförmige Ausbildung der Nadeln. Da die Nadeln etwas schief in den Schriff hineingehen, scheint infolge der Tiefenschärfe der Querschnitt in Abb. 5 oft mehr quadratisch, ein Effekt, der aber bei Betrachtung im Mikroskop durch Änderung der Höheneinstellung ausgeschaltet werden kann. Die Ausmaße liegen bei etwa $0,001 \times 0,004 \times$ bis $0,1 \text{ mm}$. Völlig analog aussehende Nadeln findet man z. B. bei KENNAN 1972 und besonders bei STURT 1970: 821, Abb. 5 in Plagioklas aus Granit; diese Nadeln werden

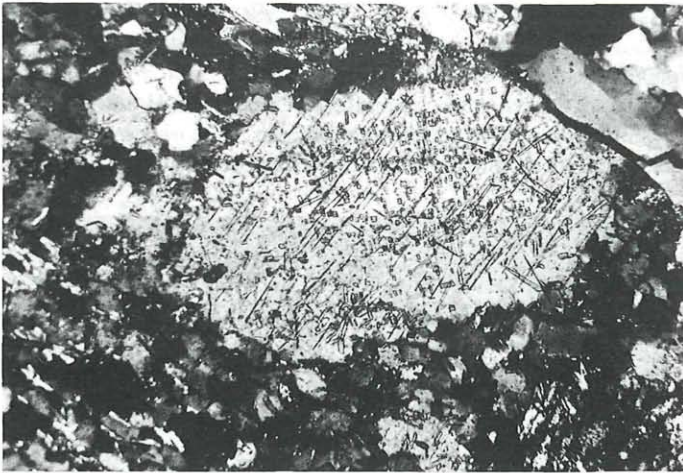


Abb. 5: Aus dem Gneis des Bäreneckgrabens, Koralpe. Ein großes, senkrecht zu [100] geschnittenes Plagioklaskorn mit zahlreichen, eingeschlossenen Nadeln von Disthen in Längs- und Querschnitten. Die Nadeln haben bevorzugte Orientierungsrichtungen. Gekreuzt polarisiertes Licht. Länge des unteren Bildrandes 1 mm.

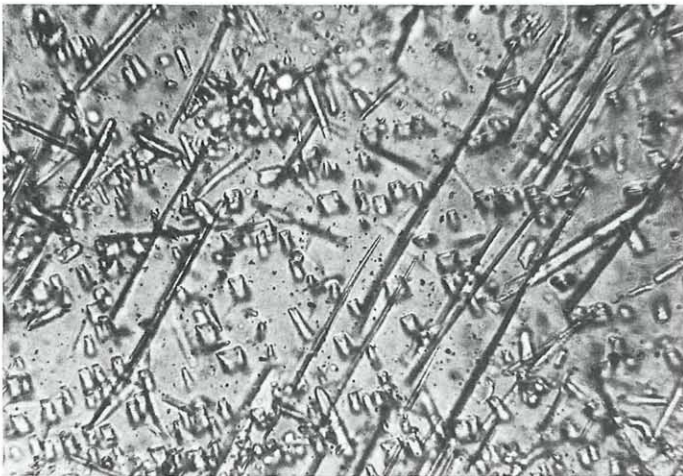


Abb. 6: Ausschnitt aus dem Plagioklaskorn der Abb. 5 bei stärkerer Vergrößerung. Hier ist, wie in Abb. 5, zu sehen, daß neben regellos angeordneten Nadeln von Disthen die meisten anderen auf Grund optischer Kontrolle, folgendermaßen angeordnet sind: Querschnitte nach [100], Längsschnitte nach [001] und [010] des Plagioklases. Einfach polarisiertes Licht. Länge des unteren Bildrandes 0,1 mm.

als Sillimanit bestimmt. Auch eine entsprechende Orientierung der Sillimanit-Nadeln im Plagioklas wird festgestellt.

Die Abb. 7a zeigt eine rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Al_2SiO_5 -Nadeln als Einschlüsse in einem Plagioklaskorn; die zugehörigen Elektronenstrahlmikroanalysen bringen Abb. 7b und Abb. 7c. In der Abb. 8 sind als Einschlüsse Al_2SiO_5 -

© Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark; download unter www.biologiezentrum.at
 Nadeln, Muskowit und Quarz in einem Kalifeldspatkorn zu beobachten. Das ist jene Paragenese, die auch in Abschnitt II bei den größeren Körnern der Komponenten des vorliegenden Gneises beschrieben ist.

Die aus Al_2SiO_5 bestehenden leistenförmigen Nadeln zeigen die für Disthen geltende schiefe Auslöschung mit entsprechender optischer Orientierung. Zu beobachten ist das an Schnitten durch Plagioklas in Auslöschungsstellung; dadurch ist der Doppel-

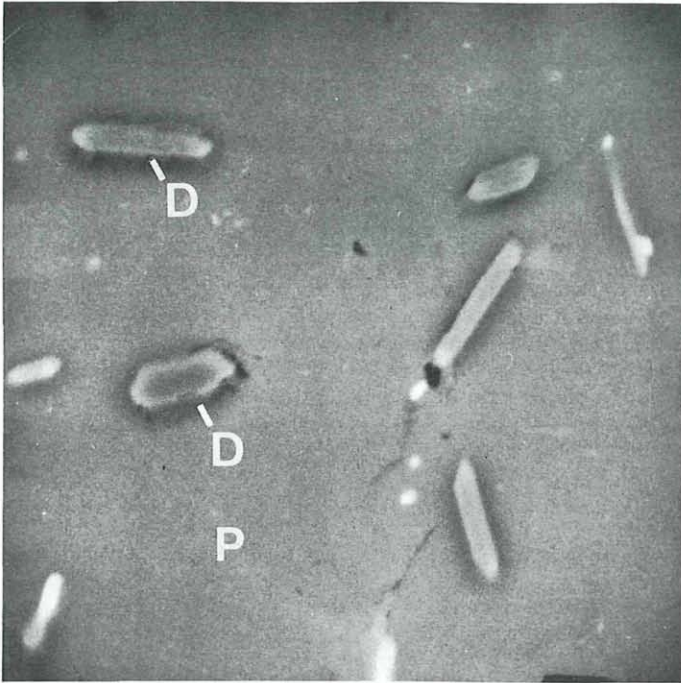


Abb. 7a: Aus dem Gneis des Bäreneckgrabens, Koralmpe. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von schief geschnittenen Disthen-Nadeln als Einschlüsse in Plagioklas. Länge des unteren Bildrandes 0,05 mm.

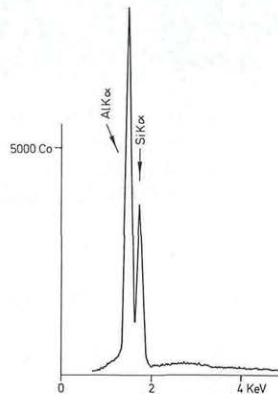


Abb. 7b: Elektronenstrahlmikroanalyse von Disthen an der in der Abb. 7a mit D bezeichneten Stelle.

brechungseinfluß von Plagioklas aufgehoben, und es können nun leistenförmige Nadeln gefunden werden, die parallel zu den Schwingungsrichtungen der Polaroid liegen, aber aufgehellt sind. Dies ist nur bei Disthen möglich und bei Sillimanit und Andalusit wegen der rhombischen Symmetrie ausgeschlossen.

Zur Deutung ist zunächst auf die Bildung der Al_2SiO_5 -Nadeln im Hinblick auf die bestehende Literatur einzugehen, vgl. SMITH 1974: 633 ff., STURT 1970, KENNAN 1972.

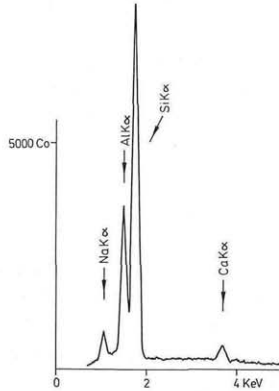


Abb. 7c: Elektronenstrahlmikroanalyse von Plagioklas als Wirtsmineral für die Disthen-Nadeln an der mit P bezeichneten Stelle.

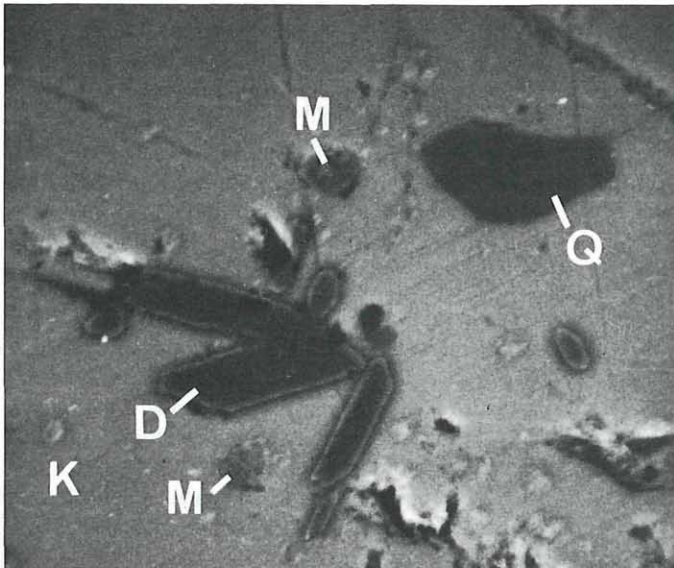
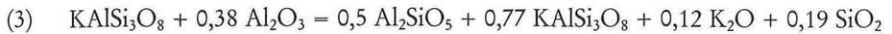


Abb. 8: Aus dem Gneis des Bäreneckgrabens, Koralle. In Kalifeldspat treten als Einschlüsse auf: Disthen-Nadeln (D), meist schief geschnitten, aber auch senkrecht zur Längserstreckung geschnitten, z. B. am rechten Bildrand; ein Quarzkorn (Qu); Muskowitblättchen (M). Das ist die im Text behandelte Paragenese Quarz + Muskowit + Kalifeldspat + Disthen. Länge des unteren Bildrandes 0,1 mm.

Danach besteht die Möglichkeit, daß es sich auch wegen der auffallenden Ähnlichkeit im vorliegenden Fall zunächst um Ausbildung von Sillimanitnadeln handelt. Die Nadeln im Kalifeldspat geben den Hinweis, daß das unter Bedingungen rechts der Kurve Muskowit + Quarz = Kalifeldspat + Al_2SiO_5 + Wasser geschehen ist. Lagten die Bedingungen im Sillimanitfeld, so ergab das Sillimanitnadeln, wie das auch häufig in der Literatur beschrieben wird, vgl. SMITH 1974: 633. Es ist aber auch Andalusit als Material der Nadeln nicht auszuschließen, vgl. Abb. 4. Bei der Menge der Nadeln wird man an eine einfache Entmischung von nicht exakt zusammengesetzten Feldspäten im Sinne von STURT 1970 nicht denken können, sondern ausgiebige Stoffwanderungen annehmen müssen, wie das ja auch für die Muskowitbildung in Feldspäten erforderlich ist, siehe oben Abschnitt I. Unter der Bedingung der Zuwanderung von Al_2O_3 in irgendeiner Form und Abwanderung von H_2O und SiO_2 läßt sich auch die erwünschte Volumskonstanz errechnen, etwa in folgender Form:



d. h., 1 Kalifeldspat wird zu 0,5 Sillimanit + 0,77 Kalifeldspat, wobei 0,38 Al_2O_3 in Lösung zugeführt und 0,12 K_2O und 0,19 SiO_2 in Lösung abgeführt werden.

Zu beiden Seiten der Gleichung (3) besteht gleiches Volumen für die festen Phasen und bei Ablauf der Gleichung nach rechts entstehen 23 Vol% Sillimanit oder Andalusit in Nadelform und 77 Vol% Kalifeldspat.

Bei der endgültigen Metamorphose unter etwa 600° C und bei Drucken höher als 5 Kb (z. B. HERITSCH 1980b) werden dann, wenn kein Wasser zutritt, die Sillimanit- oder Andalusitnadeln in den Feldspäten in Disthen umgewandelt, vgl. Abb. 7. Dies entspricht dem Fall a) im Abschnitt II oben. Dabei tritt natürlich eine verhältnismäßig geringe Volumsverkleinerung ein, die durch lokale Umkristallisation ausgeglichen werden muß. Es ist aber auch möglich, daß in den Kalifeldspat eine geringe Menge Wasser hineindiffundiert und damit die Reaktion (2) nach links in Gang bringt, wobei aber diese Reaktion nicht zu Ende läuft, so daß im Kalifeldspat das Ungleichgewicht Kalifeldspat + Al_2SiO_5 + Quarz + Muskowit entsteht, vgl. Abb. 8. Diese Paragenese entspricht völlig dem oben im Abschnitt II unter b) beschriebenen Verhältnissen.

Zusammenfassung

Nach den vorliegenden Untersuchungen sind scheinbar nadelförmige Einschlüsse in Feldspäten der Koralpe fast immer Muskowit.

Anders als in der Koralpe weit verbreitet, kann in einem kaum geschieferten Gneis des Bäreneckgrabens beobachtet werden: Kalifeldspat in direktem Kontakt mit Disthen (Abb. 2); Kalifeldspat, Disthen, Muskowit und Quarz ebenfalls in direktem Kontakt (Abb. 3) und nadel- bis leistenförmig ausgebildeter Disthen als Einschluß in Kalifeldspat, besonders aber in Plagioklas (Abb. 5 und Abb. 6).

Zur wahrscheinlichsten Deutung ist die Abb. 4 heranzuziehen. Eine frühe Metamorphose des pelitischen Ausgangsmaterials muß rechts von der Gleichgewichtskurve Muskowit + Quarz = Kalifeldspat + Al_2SiO_5 + H_2O erfolgt sein. Dabei kann aber wegen des Verlaufes dieser Gleichgewichtskurve und wegen der Anatexiskurve für die (Platten-)Gneise nur entweder Sillimanit oder Andalusit entstehen, nicht aber Disthen. Paralleliert man diese Phase mit dem später zu Disthen paramorphisierten Andalusit in den Disthenparamorphose-Schiefer bzw. -Gneisen, so wird man auch für den Gneis des Bäreneckgrabens Andalusit annehmen können, wenn auch Sillimanit nicht auszuschließen

ßen ist. Die Bedingungen für die frühe Metamorphose liegen bei etwa 600 bis 700° C und 1 bis maximal 2 Kb. In diesem Bereich ist Kalifeldspat neben Andalusit stabil, und bei entsprechender Diffusionsmöglichkeit können auch Andalusitnadeln in Feldspäten entstehen. Sillimanitnadeln würden bei etwa 650 bis 700° C und bei etwas höherem Druck bis etwa 3 Kb gebildet werden, vgl. Abb. 4.

Bei Prägung der Koralpengneise bei etwa 600° C und Druck über 5 Kb wird die Gleichgewichtskurve (2) Muskowit + Quarz = Kalifeldspat + Al_2SiO_5 + H_2O nach links überschritten. In den Koralpengneisen ist fast immer ausreichend Wasser vorhanden. Ist Kalifeldspat und Andalusit bei genügend Wasser in gegenseitiger Berührung, so entsteht Muskowit + Quarz. Können jedoch durch räumliche Trennung Kalifeldspat und Andalusit nicht reagieren, so bleibt der Kalifeldspat erhalten und der Andalusit wird zu Disthen, infolge der meist vorhandenen Durchbewegungen als Haufwerk in den dunklen Lagen der Plattengneise ausgebildet, umgewandelt. In pegmatoiden Lagen bleibt die Kristallform des Andalusites (Disthenparamorphosen) erhalten.

Ist nicht genügend Wasser vorhanden, so kann die Reaktion (2) nicht völlig nach links ablaufen, und es kann die Paragenese Muskowit + Quarz + Kalifeldspat + Disthen in den Gesteinsgemengteilen (Abb. 3) und auch in den Einschlüssen der Kalifeldspäte (Abb. 8) erhalten bleiben. Tritt überhaupt kein Wasser während der endgültigen Koralpenmetamorphose hinzu, so muß die Paragenese Kalifeldspat + Disthen entstehen. Mangelnder oder überhaupt kein Wasserzutritt ist in den Koralpengneisen sicher sehr selten, aber im Gneis des Bäreneckgrabens realisiert.

Die hier geschilderten Vorgänge bei der Metamorphose eines ungewöhnlichen Koralpengneises, auch mit nadelförmigen Al_2SiO_5 -Einschlüssen in Feldspäten, die jetzt als Disthen vorliegen, machen eine Entscheidung, ob diese Nadeln ursprünglich Sillimanit oder Andalusit waren, auch in der Zukunft unwahrscheinlich.

Dank

Die Mittel des Institutes für Mineralogie-Kristallographie und Petrologie der Universität Graz, Vorstand Frau Univ.-Prof. Dr. E. M. WALITZI, standen mir zur Ausführung dieser Arbeit zur Verfügung. Auch an dieser Stelle danke ich weiterhin Herrn Dr. P. GOLOB, seinem Mitarbeiter Herrn P. BAHR sowie dem Direktor des Institutes für Elektronenmikroskopie in Graz, Herrn Hofrat Dr. H. HORN, für die Herstellung der Aufnahmen und Analysen.

Literatur

- ALTHAUS, E., KAROTKE, E., NITSCH, K. H. & WINKLER, H. G. F. (1970): An Experimental Re-examination of the Upper Stability Limit of Muscovite plus Quartz. – N. Jb. Miner. Mh. 1970: 325–336.
- ANGEL, F. (1921): Mineralmorphologische Bemerkungen zum mittelsteirischen Kristallin. – Tschermaks Min. u. Petrogr. Mitt. 35, 111–116.
- ANGEL, F. (1924): Gesteine der Steiermark. – Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 60: I–VIII, 1–302.
- ANGEL, F. (1940): Mineralfazien und Mineralzonen in den Ostalpen. – Wissensch. Jahrb. der Univ. Graz: 251–304.
- ANGEL, F. & HERITSCH, F. (1919): Ein Beitrag zur Petrographie und Geologie des mittelsteirischen kristallinen Gebirges der Stubalpe. – Jb. Geol. Staatsanstalt, Wien, 69: 43–204.

- CHATTERJEE, N. D. (1972): The Upper Stability of the Assemblage Paragonite + Quartz and Its Natural Occurrences. – *Contr. Min. Petr.*, **34**: 288–303.
- ESKOLA, P. (1939): Die metamorphen Gesteine. – In: Die Entstehung der Gesteine, BARTH T. F. W., CORRENS C. W. & ESKOLA P., Springer-Verlag, Berlin.
- FRANK, W., ESTERLUS, M., FREY, I., JUNG, G., KROHE, A., und WEBER, I. (1983): Die Entwicklungsgeschichte von Stub- und Koralpenkristallin und die Beziehung zum Grazer Paläozoikum. – In: Die frühalpene Geschichte der Ostalpen (Hochschul-schwerpunkt S. 15), Heft 4, Jahresbericht 1982: 263–293.
- HERITSCH, H. (1978): Die Metamorphose des Schiefergneis-Glimmerschiefer-Komplexes der Koralpe, Steiermark. – *Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark*, **108**: 19–30.
- HERITSCH, H. (1980a): Ein perthitisch entmischter Alkalifeldspat aus dem Plattengneis der Koralpe, Steiermark. – *Mitt.-Blatt, Abt. für Mineralogie, Landesmuseum Joanneum, Graz*, **48**: 356–364.
- HERITSCH, H. (1980b): Einführung zu Problemen der Petrologie der Koralpe. – *Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergb. Landesmuseum Joanneum, Graz*, **41**: 9–44.
- HERITSCH, H. (1984): Über das mögliche Auftreten von Sillimanit in den Gneisen der Koralpe, Steiermark und Kärnten; ein Kurzbericht. – *Anz. Österr. Akad. Wiss. Wien, math.-naturwiss. Klasse*, 1984, **121**: 75–77.
- HOLDAWAY, M. J. (1971): Stability of Andalusite and the Aluminium Silicate Phase Diagram. – *Americ. Journ. of Science*, **271**: 97–131.
- JUNG, G. (1982): Geologische und geochronologische Untersuchungen des Metamorphoseablaufes in Glein-, Stub- und Koralpe. – Dissertation an der Form- und Naturwissenschaftlichen Fakultät, Universität Wien, 1–180.
- KENNAN, P. S. (1972): Exsolved sillimanite in granite. – *Miner. Mag.* **38**: 763–764.
- PACHER, F. & RIEPL, K. (1978): Über die chemische Zusammensetzung von Gneisen und Glimmerschiefern der Koralpe, Steiermark. – *Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark*, **108**: 45–54.
- PLATEN, H. v. & HÖLLER, H. (1966): Experimentelle Anatexis des Stainzer Plattengneises von der Koralpe, Steiermark, bei 2, 4, 7 und 10 kb H₂O-Druck. – *N. Jb. Miner. Abh.*, **106**: 106–130.
- ROBIE, R. A. & HEMINGWAY, B. S. (1984): Entropies of kyanite, andalusite, and sillimanite: additional constraints on the pressure and temperature of the Al₂SiO₅ triple point. – *Americ. Mineralogist*, **69**: 298–306.
- SMITH, J. V. (1974): Feldspar Minerals, Vol. 2, Chemical and Textural Properties. – Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- STURT, B. A. (1970): Exsolution during metamorphism with particular reference to feldspar solid solutions. – *Miner. Mag.*, **37**: 815–832.

Anschrift des Verfassers: Univ.-Prof. Dr. Haymo HERITSCH, Institut für Mineralogie-Kristallographie und Petrologie der Karl-Franzens-Universität Graz, Universitätsplatz 2, A-8010 Graz, Österreich.