

UDK 549.6(497.12)=30

Alpine Kluftmineralisationen im Pohorje in Slowenien

Mineralizirane alpske razpoke na Pohorju

Gerhard Niedermayr

Mineralogisch-Petrographische Abteilung,
Naturhistorisches Museum,
Burgring 7, A-1014 Wien, Österreich

Ana Hinterlechner-Ravnik

Poljanski nasip 30, 61000 Ljubljana, Slovenija

Ernest Faninger

Jamova 54, 61000 Ljubljana, Slovenija

Auszug

Der Aufsatz beweist mit einigen Beispielen die Anwesenheit und Mineralisation der alpinen Klüfte im Bereich des Pohorje (Bachern Gebirges). Er sollte eine Anregung für weiteres Suchen der Kluftminerale im diesen Gebiete geben. Alpine Kluftminerale sind nämlich nördlich in Österreich, weit verbreitet und untersucht.

Kratka vsebina

V prispevku je podanih nekaj primerov prisotnosti alpskih razpok in njihove mineralizacije na Pohorju. Prispevek naj bi dal pobudo za nadaljnje iskanje kristalov v takih razpokah, ki so severneje, že na avstrijski strani, močno razširjene in raziskane.

Einleitung

Nach den Arbeiten von Hinterlechner-Ravnik (1971 und 1973) und Faninger (1970 und 1973) sind die Gesteinsserien des Pohorje in allen wesentlichen Zügen – abgesehen von den zusätzlich auftretenden periadriatischen Eruptiva – mit den entsprechenden ostalpinen Einheiten Österreichs vergleichbar.

Bereits Kieslinger (1935) hat die gute Parallelisierung des Altkristallins des Pohorje mit dem Kristallin der Saualpe und Koralpe betont. Wie die neueren Arbeiten slowenischer Forscher ergeben haben, sind die beobachtbaren Gesteinsfolgen und deren Metamorphosegeschehen durchaus identisch. Aus diesem Grunde wäre es eigentlich zu erwarten, daß sich im Altkristallin des Pohorje auch, dem Kristallin Ostkärntens und der Steiermark vergleichbare, alpine Kluftmineralisationen nachweisen lassen. Entsprechende Angaben scheinen bisher im einschlägigen Schrifttum aber nicht auf.

Im Zuge einer Exkursion der Freunde des Naturhistorischen Museum in Wien, in deren Rahmen u.a. auch Aufschlüsse im Ostabschnitt des Pohorje unter der Führung von Dr. Ana Hinterlechner-Ravnik und Dr. Ernest Faninger besichtigt werden konnten, war es dem Erstautor möglich, trotz der kurzen zur Verfügung stehenden Zeit, einige Belege derartiger Klufftmineralisationen aufzusammeln. Später legte Frau Dr. Ana Hinterlechner-Ravnik auch zwei Proben aus dem nördlichen Pohorje zur Untersuchung vor, die – in einem Amphibolit bzw. einem amphibolitisierten Eklogit angelegte – ebenfalls typische alpine Klufftmineralisationen zeigten.

Entstehung alpiner Klüfte

Alpine Klüfte sind mineralbesetzte Hohlräume im Gebirgskörper »die im allgemeinen ungefähr senkrecht zur Textur des Gesteins verlaufen« (Stalder et al., 1973), doch ist dies nicht unbedingt Voraussetzung und hängt in erster Linie vom Vorhandensein von Inhomogenitäten und vom lokal wirksamen Streßfeld ab. Alpine Klüfte finden sich in verschiedensten Gesteinen, ihre Eingrenzung auf silikatische Ausgangsgesteine, wie dies verschiedentlich gefordert worden ist (Weninger, 1976; K a n d u t s c h, 1989), ist unglücklich und entspricht auch nicht den Tatsachen. Natürlich finden sich auch in mergeligen und sogar in rein kalkigen Nebengesteinen, dem entsprechenden Stoffangebot angepaßte Mineralvergesellschaftungen, die in Bezug auf ihren Bildungsmechanismus als alpine oder, wenn nicht mit den alpidischen Gebirgsbildungsphasen in Zusammenhang stehend, als alpinotype Klufftmineralisationen angesprochen werden müssen.

Die Gesamtmenge der in einer Klufft enthaltenen Mineralien ist sehr unterschiedlich, ebenso der relative Anteil des freien Hohlraumes darin. Diese Feststellung ist sehr wesentlich, da es nicht einzusehen ist, daß eine Klufft, die zwar vollständig von einem oder mehreren Klufftmineralien ausgefüllt ist, ansonsten aber alle Voraussetzungen einer alpinen Klufftmineralisation erfüllt, etwa nicht zu den alpinen Klüften gezählt werden sollte. Dies betrifft vor allem Gänge, die mit Quarz, Feldspäten, Karbonaten oder auch nur mit Chlorit erfüllt sind. Hier ist vor allem auch die räumliche Verteilung solcher Bildungen in Betracht zu ziehen, da es sich oft erweist, daß derartige gangförmige Mineralisationen an bestimmten Stellen – die u.U. zunächst der direkten Beobachtung nicht zugänglich sind – auch Hohlräume aufweisen und einen Mineralbestand, der dem Bildungsmechanismus nach zu den alpinen Klufftmineralisationen gerechnet werden muß, führen. Den Sammlern im alpinen Bereich ist dies schon lange bekannt, wenn sie etwa einen im Gelände hinstreichenden, anscheinend kompakten Quarzgang aufmerksam verfolgen und bei Vorliegen bestimmter Anzeichen (Einschnürungen, »Satz« im Gestein, schmalste Klufftrisse) mit ihrer Arbeit beginnen. Nicht selten ist dann die Öffnung einer mehr oder weniger großen Klufft der Lohn für die zunächst recht mühsame Aufschließungstätigkeit.

Ein typisches Beispiel dafür sind auch Beryll führende Quarzgänge (nicht zu verwechseln mit Beryllpegmatiten, die es im Ostalpin ebenfalls gibt), wie wir sie etwa aus dem Tauernfenster von vielen Lokalitäten kennen. Der Beryll, meist in Form des mehr oder weniger intensiv blau gefärbten Aquamarins, ist in der Regel auf dem die Quarzgänge begrenzenden Nebengestein aufgewachsen, reicht ansonsten vollflächig entwickelt in den ehemaligen Kluffthohlraum hinein und wird vom offensichtlich später ausgeschiedenen Quarz vollkommen umschlossen. Der Beryll ist somit hier als frühe Bildung vor dem Quarz auskristallisiert. Beryll ist aber ein typisches Mineral

der pegmatitisch-pneumatolytischen Phase und damit bei relativ hohen Temperaturen gebildet worden. Bedenkt man, daß die maximalen Temperaturen der alpidischen Metamorphose im Tauernfenster bereichsweise 600 °C und auch mehr erreicht haben, so ist der Beryll in den alpinen Quarzgängen wohl als ein Produkt solch hochtemperierter, in das Feld der pegmatitisch-pneumatolytischen Phase reichender, Bildungsvorgänge zu betrachten, ohne daß es sich bei den dafür verantwortlichen Lösungen tatsächlich um pegmatitische Fluids handelt. Wir wissen auch, daß solche Berylle bei Drücken um 2 kb bis herab zu einer Temperatur von 325 °C in wässriger Lösung stabil bleiben (Franz & Morteani, 1981). Kühlt die Klufftlösung weiter ab, so wird der Beryll instabil, Beryllium wird freigesetzt und die solcherart mit Be angereicherte Lösung kann zur Bildung neuer Be-Mineralien, wie etwa von Bertrandit, Milarit, Phenakit oder Bavenit, beitragen. Im Tauernfenster gibt es dafür viele Beispiele.

Die Bildung der alpinen Klüfte selbst erfolgte im Zuge der Aufwölbung des Alpenkörpers und den damit verbundenen, im jeweiligen Gesteinspaket wirksamen Zerrungsbewegungen, die zu einem Aufreißen der Klüfte führten. Schon während ihrer Öffnung füllten sich die Klüfte mit heißen, wässrigen Salzlösungen, die entsprechend dem Druckgefälle vom Gestein zur Klufft aus den umgebenden Gesteinen in die Hohlräume einströmten. Diese zum Teil stark mineralisierten Lösungen weisen teilweise einen beträchtlichen Anteil an CO₂ und NaCl auf. So gibt etwa Weninger (1981) für die Fluideinschlüsse von Quarzen aus dem Altkristallin der Koralpe zwischen 20–50 Vol.% CO₂ und 7–23 Äquiv.% NaCl an.

Die Lösungen traten mit den Nebengesteinen in Wechselwirkung und verursachten häufig eine Zersetzung und Auslaugung derselben im Bereich einer Klufft. Auch diese Auslaugungszonen sind für erfahrene Sammler gute Anzeichen für eine nahe der Oberfläche befindliche Klufft. Mit der Zeit, d.h. bei langsam sinkender Temperatur und sinkendem Druck, begann sich dieser Vorgang umzukehren und aus den gesättigten Lösungen kristallisierten neue Mineralien.

Es ist – zumindest in den Ostalpen – früher immer wieder behauptet worden, daß für die alpinen Klufftmineralisationen unbedingt eine weitreichende Substanzzufuhr, z. B. aus großer Tiefe, angenommen werden müsse (Weinschenk, 1896; Leitmeier, 1942; Haberlandt & Schiener, 1951, z.T. auch Weninger, 1974). Erst Frasl und Frank (1966) haben auf die Rolle der aus den Nebengesteinen stammenden, zu alpidischer Zeit aktivierten Lösungen (Lateralsekretion) hingewiesen. Die Beobachtungen der letzten Jahre zeigten darüber hinaus immer deutlicher, daß für die Mineralisierung der alpinen Klüfte nicht nur diese alpidische (im Pennin jungalpidische) Metamorphose verantwortlich ist, sondern daß der klufftbildende und mineralisierende Prozeß auch auf engstem Raum abgelaufen ist (Niedermayr, 1980 und 1991). Dies gilt auch für die alpinen Klüfte des Altkristallins in Kärnten und der Steiermark, obwohl deren Mineralisierung, wie hier noch auszuführen sein wird, im Gegensatz zum Pennin mit dem altalpidischen Metamorphoseereignis in Zusammenhang steht.

Eine gute Vorstellung von den Stoffumsetzungen, die sich im Zuge der alpinen Klufftmineralbildung vollzogen haben, gibt die Arbeit von Stalder et al. (1973) aus den Schweizer Alpen. Schon allein aus den Dichteunterschieden des frischen, unzersetzten Gesteins zum kavernösen Gestein im unmittelbaren Umfeld der Klüfte wird ersichtlich, daß die Stoffverschiebungen bis zu 20 Gew. % und mehr des frischen Nebengesteins einer Klufft betragen können. Das heißt beinahe bis zu einem Drittel des gesamten Gesteins kann in gelöster Form in eine Klufft abgeführt werden und hier zur Bildung neuer Mineralphasen beitragen. Umgelegt auf eine angenommene mitt-

lere Gesteinsdichte von 2700 kg/m^3 bedeutet dies, daß etwa bis 900 Kilogramm Substanz pro m^3 Ausgangsgestein in eine Kluft abgeführt werden kann.

In diesem Zusammenhang ist hier noch zu bedenken, daß eine Kluft und ihr Nebengestein als räumliches Gebilde betrachtet werden muß, in der Regel im Gelände aber nur ein mehr oder weniger flächenhafter Einblick möglich ist. Damit ist aber ein bestimmtes Aufschlußbild allein nicht unbedingt als repräsentativ für eine Mineralisation anzusehen. Erst die Summe aller Beobachtungen gestattet es uns, Überlegungen hinsichtlich der Bildung einer bestimmten Kluft anzustellen.

Bei all diesen Betrachtungen entscheidend ist die Frage nach der Herkunft der leichtflüchtigen Bestandteile der Kluftlösungen, vor allem von H_2O und CO_2 . CO_2 wird – und das steine entsprechende Untersuchungen im alpinen Bereich zu untermauern – einerseits aus der Dekarbonisierung der Gesteine im Zuge der progressiven alpidischen Metamorphose hergeleitet werden können, andererseits aber auch auf die Oxidation von graphitischer Substanz zurückzuführen sein (L a u s c h et al., 1974; Hoefs & Morteani, 1979). Auch H_2O wird im Zuge der progressiven Metamorphose aus dem die Klüfte später enthaltenden Gesteinsverband freigesetzt werden. Es spricht einiges dafür, daß auch diese wichtigen gasförmigen Phasen zum größten Teil während der progressiven Metamorphose im Gesteinsstapel intergranular weitgehend verfügbar bleiben und dann im Gefolge der retrograden Metamorphoseereignisse die Mineralisierung der zunächst überkritischen Fluids steuern.

Der immer wieder feststellbare enge Zusammenhang zwischen dem Chemismus des Nebengesteins und der Mineralvergesellschaftung der in diesen Gesteinen auftretenden Klüfte d. h. daß bestimmten Gesteinen auch bestimmte Kluftmineralassoziationen zugeordnet werden können, soll hier ebenfalls besonders betont werden (Stalder et al., 1973; Niedermayr, 1980).

Aus dem Vorstehenden ist abzuleiten, daß eine Kluft bzw. jedes Kluftsystem für sich mit dem umgebenden Gesteinsbereich ein weitgehend geschlossenes System darstellt und damit ähnlich auf die Druck- und Temperaturänderungen während der alpidischen Metamorphose reagiert, wie die umliegenden Gesteine. Damit ist es aber auch möglich, die für die Bildung der Gesteine maßgeblichen petrologischen Parameter auch auf die alpine Kluftmineralisation anzuwenden (vgl. Niedermayr, 1980).

Die Fragestellungen, die sich heute bei der Diskussion alpiner Kluftmineralisationen ergeben, umfassen daher:

1. die gebirgsmechanische Bildung der Klüfte in Zeit und Raum,
2. die Herkunft der Kluftlösungen,
3. die Mineralisierung der Klüfte und die Mineralsequenzen in diesen Klüften.

Während einer progressiven metamorphen Prägung eines Gesteinsstapels ist eine Kluftbildung kaum vorstellbar und scheint auch die Konservierung eines eventuell prämetamorph angelegten Kluftmineralbestandes – dies allerdings abhängig vom Grad der Metamorphose – nicht möglich. Kluftbildung und Mineralisierung der Klüfte erfolgt erst im Anschluß an den thermischen Höhepunkt der letzten wirksamen Metamorphose. Da die großtektonischen Einheiten der Ostalpen ausnahmslos alpidisch (alt- und/oder jungalpidisch) geprägt worden sind, sind präalpidisch angelegte Kluftmineralisationen somit hier nicht zu erwarten.

Wie dem heute schon recht reichlich vorhandenen Beobachtungsmaterial zu entnehmen ist sind die Kluftmineralisationen im Pennin und im Ostalpin sowohl hinsichtlich ihres Mineralbestandes als auch hinsichtlich ihrer Mineralabfolgen identisch. Da nach dem vorhandenen radiometrischen Datenmaterial das ostalpine

Deckensystem einerseits und das Pennin andererseits zu unterschiedlichen Zeiten ihre wesentliche metamorphe Prägung erfahren haben, müssen die Kluftbildung und die Mineralisierung in diesen großtektonischen Einheiten auch zu verschiedenen Zeiten erfolgt sein. Die in beiden Einheiten identischen Mineralsequenzen in den Klüften belegen aber auch eine sehr ähnliche Hebungsgeschichte des Pennins und des Ostalpins (vgl. Niedermayr, 1990a).

Kluftmineralisationen im Altkristallin

Die im Altkristallin der Ostalpen und damit auch im, dem Pohorje eng benachbarten, Kristallin der Saualpe und Koralpe auftretenden Kluftmineralisationen sind zum Teil schon sehr lange bekannt. Sie wurden aber lange Zeit nicht den Bildungen der typischen alpinen Zerrklüfte des Pennins gleichgesetzt, sondern als Produkte der seinerzeit für ausschließlich variszisch angesehenen »arteritischen, teils venitischen Metamorphose« betrachtet (vgl. Meixner & Clar, 1953). Die phantastischen Funde von bis 100 Kilogramm schweren Bergkristallen und von bis 18 cm großen Titaniten aus dem Steinbruch Schwemmoisl bei Deutschlandsberg in der Steiermark sowie beachtliche Bergkristallfunde vom Maxbauer, vom Kamperkogel, vom Bärofen, von der Soboth, aus dem Fraßgraben, alle Koralpe, sowie von Lading und aus dem Steinbruch von Terpetzen, beide Saualpe, aber auch andere Kluftmineralisationen (u. a. Saualpe: Gertrusk, Ramihalt, Hohenwart, Irregger Schwaig, Weinsberger Graben; Koralpe: Pressinggraben, Schoberkogel, Gradischkogel, Lichtengraben, Steinbruch Reinisch/Stampf, Graben der Weißen Sulm westlich Wernersdorf bei Wies) haben die Kluftmineralvorkommen dieser kristallinen Serien nachhaltig Sammlern und Mineralogen bewußt gemacht (vgl. auch Niedermayr, 1990b).

Das genaue Studium dieser Mineralparagenesen zeigt, daß auch hier im Altkristallin die Mineralvergesellschaftungen vom Chemismus des Nebengesteins gesteuert werden. Ein besonders schönes Beispiel dafür ist der Bereich des Spodumenvorkommens auf der Weinebene. Niedermayr und Göd (1992) zeigen, daß die Paragenesen in den Klüften der hier auftretenden Spodumenpegmatite sich deutlich von jenen der die Pegmatite umgebenden Nebengesteine (Amphibolite und Glimmerschiefer bis Gneise) unterscheiden. Trotzdem bestehen hinsichtlich der Mineralabfolge in den Klüften der verschiedenen Gesteinstypen große Parallelen. Das kann nur so interpretiert werden, daß die chemisch unterschiedlich zusammengesetzten Gesteine zwar sehr stark differierende Mineralarten in ihren Klüften führen, die Kristallisationsabfolge dieser Mineralien in jeder Kluft aber klar einen übergeordnet wirksamen Mechanismus – eben den retrograden Verlauf der altalpidischen Metamorphose, die diese Serien zuletzt so nachhaltig geprägt hat – erkennen läßt.

Etwas schematisiert sind diese Abfolgen anzugeben mit:

für Amphibolite

Albit → Axinit, Klinozoisit → Prehnit

Albit → Axinit → Prehnit → Laumontit → Heulandit → Stilbit

Aktinolith → Albit

für Glimmerschiefer und Gneise

Quartz → Adular

Adular → Heulandit → Stilbit

für Spodumenpegmatite

Adular → Fairfieldit → Uralolith → Apatit

Adular → Quarz → Laumontit → Uralolith → Pyrit

Quarz → Muskovit → Apatit

Adular → Heulandit → Stilbit → Pyrit → Roscherit → Fairfieldit/Messelit.

Nachstehend seien auch noch einige weitere Mineralsukzessionen des Altkristallins der Saualpe und Korralpe mitgeteilt:

für Amphibolite und Eklogite

Aktinolith, Epidot → Prehnit → Heulandit, Ferrierit

Aktinolith, Epidot → Axinit → Prehnit → Klinoptilolith

Quarz → Muskovit → Chlorit, Periklin → Titanit → Stilbit

für Glimmerschiefer und Gneise

Chlorit, Quarz → Chlorit, Periklin → Titanit → Stilbit

Albit → Rutil → Chlorit → Anatas → Apatit

Muskovit → Quarz → Laumontit → Kaolinit.

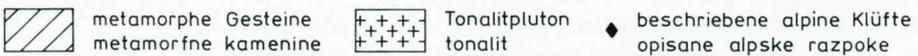
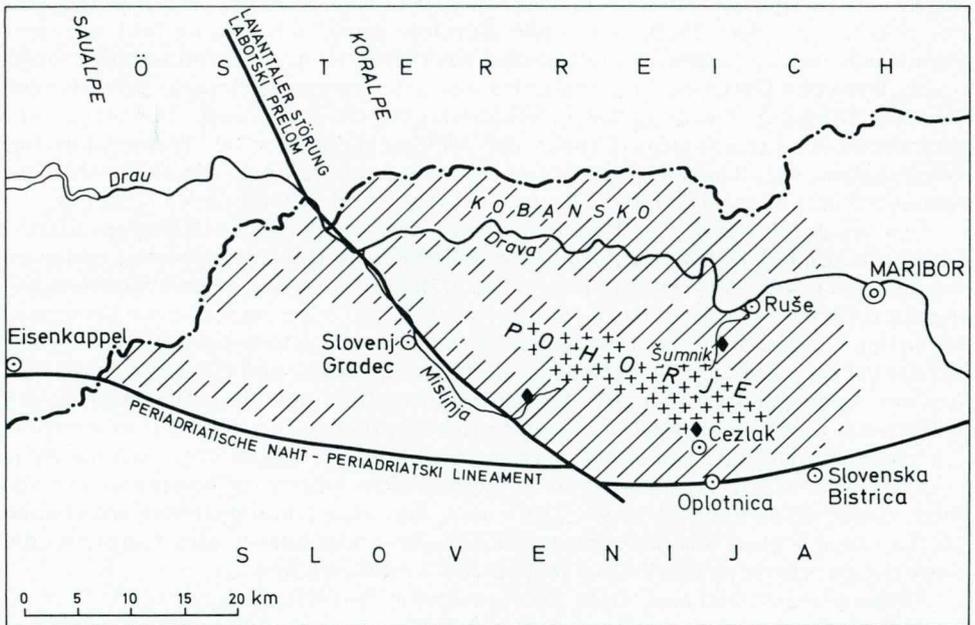


Abb. 1. Schematische Übersichtskarte der Verbreitung der metamorphen und magmatischen Gesteine der Ostalpen in Slowenien.

Sl. 1. Shematsko nakazana razširjenost metamorfnih in magmatskih kamenin Vzhodnih Alp v Sloveniji

Die Klufftmineralisationen des Altkristallins, deren stofflicher Bestand und deren Mineralabfolgen belegen jeweils einen PT-Verlauf, der den Gesetzmäßigkeiten eines retrograden »medium-pressure-type metamorphism« (im Sinne von Miyashiro, 1978) entspricht. Ähnliches gilt auch für die, allerdings jungalpidisch angelegten Klufftparagenesen des Pennins; dies ist als Hinweis auf eine entsprechend identische Hebungsgeschichte des altalpidisch geprägten Ostalpins einerseits und des jungalpidisch geprägten Pennins andererseits zu werten (Niedermaier, 1990a). Die geologischen Schlußfolgerungen dieser Beobachtung sind aber bis heute weitgehend noch nicht diskutiert worden.

Klufftmineralisationen im Pohorje

Die hier zu beschreibenden Klufftmineralisationen stammen aus dem Mislinjski jarek südöstlich von Slovenj Gradec, aus dem Steinbruch nördlich von Cezlak und aus dem Gebiet nordöstlich von Šumnik, längs der Fortstraße nach Ruše (Nord-Pohorje) (Abb. 1).

Im Mislinjski jarek sind in Amphiboliten nur sehr kleine Klufftrisse mit grobstrahligem Aktinolith und etwas Chlorit gefüllt. Andere Mineralphasen wurden hier bisher nicht beobachtet. Die Abfolge lautet Aktinolith → Chlorit. Diese Assoziation

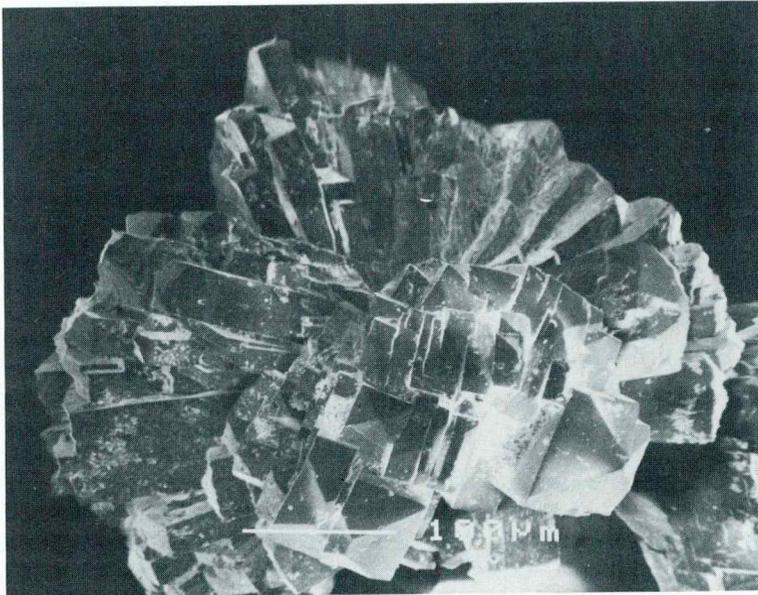


Abb. 2. Etwa 400 µm großes Heulanditaggregat auf Quarz aus der Klufftmineralparagenese aus dem Čizlakit von Cezlak. REM-Aufnahme. Sammlung: NHM Wien; Foto: dr. Franz Brandstätter

Sl. 2. Približno 400 µm velik agregat heulandita na kremenu iz mineralne združbe v razpoki v čizlakitu nad Cezlakom. REM-posnetek. Zbirka: NHM Dunaj, fotografiral dr. Franz Brandstätter

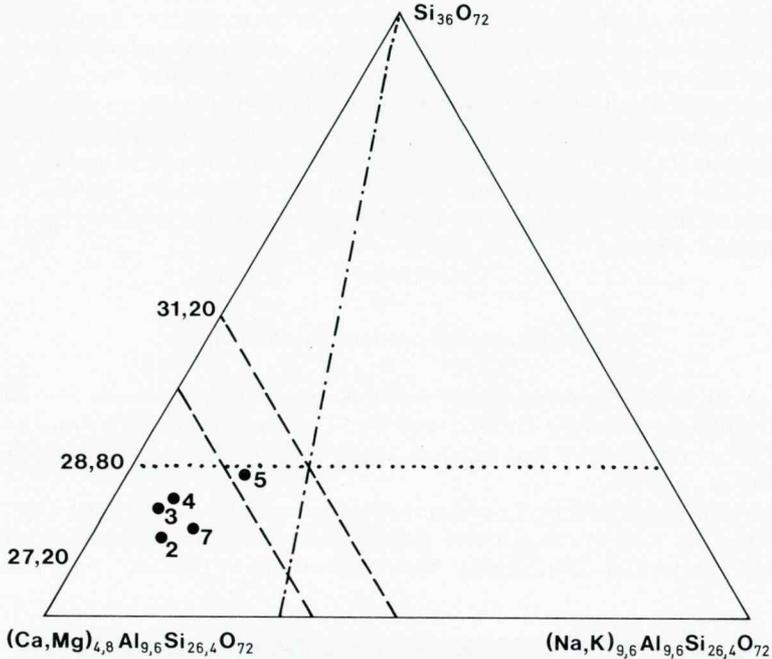


Abb. 3. Darstellung der Zeolithe aus dem Čizlakit-Steinbruch bei Cezlak, nach Gottardi und Galli (1985). Demnach liegen alle Analysen im Heulanditfeld

Sl. 3. Zeoliti iz kamnoloma čizlakita pri Cezlaku razčlenjeni po diagramu Gottardija in Gallija (1985). Vse analize našega zeolita ustrezajo polju heulandita

ist nicht weiter aussagekräftig, doch soll dieser Bericht Anregung geben, das Gebiet genauer in Hinblick auf Kluftmineralisationen zu untersuchen.

In einem neuen, etwas nördlich vom bekannten Steinbruch bei dem Ort Cezlak, angelegten Steinbruch tritt im Tonalit eine mächtige Linse eines aus Augit, Amphibol und Plagioklas bestehenden Gesteins, das nach dem Nachbarort in der Literatur als Čizlakit bezeichnet wird, auf. Dieses Gestein ist von typischen alpinen Zerrklüften durchsetzt, die neben aktinolithischer Hornblende, Quarz und Adular auch Epidot, Chlorit, Calcit und Heulandit führen (Abb. 2 und 3). Die Mineralabfolge ist anzugeben mit:

Aktinolith, Hornblende → Epidot, → Quarz → Titanit, Adular → Chlorit → Calcit und aktinolithische Hornblende → Epidot, Titanit → Quarz → Adular → Calcit → Heulandit, Seltene Erden-Mineral (?).

Die jüngsten Mineralphasen in dieser Paragenese stellen Heulandit und ein bisher nicht identifizierbares Seltene Erden-Mineral (reich an Cer) dar (Abb. 4).

Die von Frau Dr. Hinterlechner-Ravnik zur Untersuchung vorgelegte Probe stammt aus Amphiboliten des nördlichen Pohorje, welche durch retrograde Metamorphose einer mächtigen Eklogitfolge entstanden sind. In schmalen Kluftrissen hat

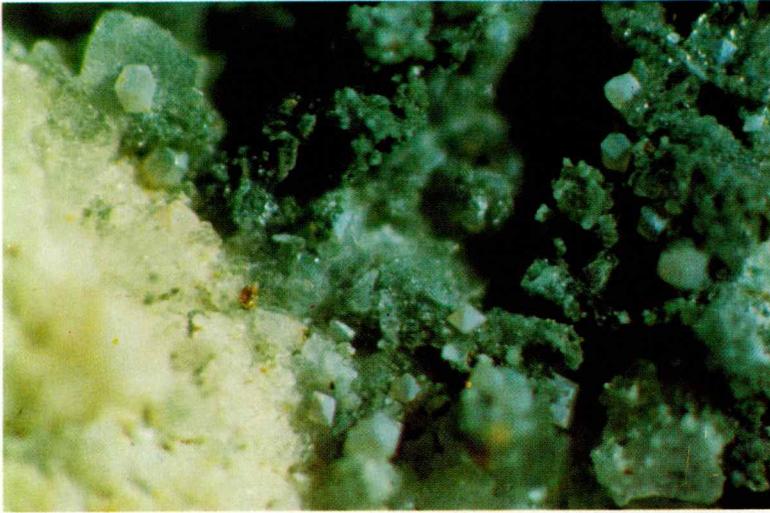


Abb. 4. Winzige, maximal 0,5 mm große Kristalle eines bisher nicht identifizierten Seltene[n] Erden-Mineral[s], reich an Cer aus der Klufftmineralparagenese aus dem Čizlakit von Cezlak. Sammlung: NHM Wien; Foto: Dr. Gerhard Niedermayr

Sl. 4. Drobni, največ 0,5 mm veliki kristali nekega, do sedaj nedoločenega minerala redkih zemelj, bogatega na ceru iz mineralne združbe v čizlakitu nad Cezlakom. Zbirka: NHM Dunaj, fotografiral dr. Gerhard Niedermayr

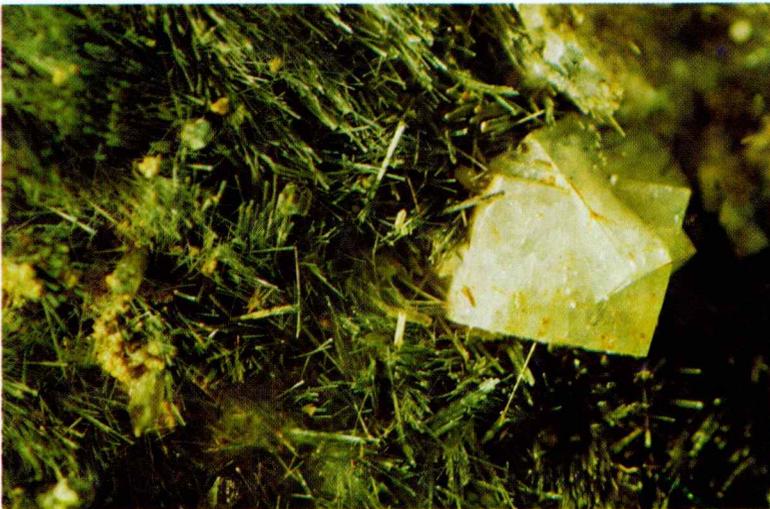


Abb. 5. Chabasit neben Epidot auf kurz-nadeligem Amphibol-Asbest aus Klüften im Amphibolit des nördlichen Pohorje. Bildlänge etwa 1,5 cm. Sammlung: Geološki zavod Ljubljana; Foto: Dr. Gerhard Niedermayr

Sl. 5. Habazit poleg epidota na kratkih iglicah amfibol-azbesta. Združba najdena v razpokah amfibolita na severnem Pohorju. Dolžina slike približno 1,5 cm. Zbirka: Geološki zavod, Ljubljana, fotografiral dr. Gerhard Niedermayr

sich hier ein dichter Filz von aktinolithischer Hornblende gebildet in den Albit, Epidot und Chabasit eingewachsen sind (Abb. 5). Die Mineralabfolge konnte an Hand der beiden vorliegenden Stücke präzisiert werden mit:

aktinolithische Hornblende → Albit → Epidot → Chabasit.

Diskussion

Obwohl bisher nur sehr wenige Beobachtungen an Klufftmineralisationen aus dem Altkristallin des Pohorje und aus seinem Pluton vorliegen, zeigen bereits diese wenigen Beispiele, daß die Mineralabfolgen in den Klüften des Pohorje einen ähnlichen Trend wie jene des ostalpinen Altkristallins von Koralpe und Saualpe erkennen lassen.

In den Klüften der meist relativ kieselsäurearmen Ausgangsgesteine kommen in einem frühen Bildungsstadium zunächst aktinolithische Hornblende, Albit und Epidot zur Auskristallisation. Diese werden gefolgt von Quarz, Titanit und Adular sowie Chlorit. Als späte Bildungen sind dann auch hier Zeolithe (Chabasit, Heulandit) zu beobachten.

Weitreichende Schlußfolgerungen lassen diese wenigen Daten derzeit nicht zu, doch ist zu erwarten, daß nach Vorliegen eines umfangreicheren Beobachtungsmaterials auch hier der PT-Verlauf der retrograden Metamorphose abgeschätzt werden könnte, wie dies aufgrund der Klufftmineralisationen im Pennin und Altkristallin der Ostalpen möglich ist (Abb. 6).

Mineralizirane alpske razpoke na Pohorju

Uvod

Raziskave pohorskih metamorfnih kamenin (Hinterlechner-Ravnik, 1971 in 1973; Faninger, 1970 in 1973) kažejo, da jih lahko primerjamo z ustreznimi vzhodnoalpskimi enotami v Avstriji; na Pohorju je bil kot posebnost vtisnjen v metamorfno skladovnico tudi periadriatski tonalitni pluton. Skladnost v zaporedju starih metamorfnih kamenin na Pohorju, na Svinški planini (Saualpe) in na Golici (Koralpe) je spoznal že Kieslinger (1935). Enako kažejo novejša dela slovenskih raziskovalcev, da so tako deli metamorfne zaporedja kakor tudi metamorfni dogodki v teh masivih identični. Glede na dokazano podobnost bi pričakovali v metamorfnih kameninah na Pohorju številne mineralizirane alpske razpoke, ki so v bližnjih avstrijskih metamorfnih kameninah zelo razširjene. Vendar jih raziskovalci metamorfnih kamenin Pohorja v svojih delih ne omenjajo.

Med ekskurzijo Društva prijateljev Naravoslovnega muzeja na Dunaju pod vodstvom Ane Hinterlechner-Ravnik in Ernesta Faningerja smo obiskali tudi Pohorje, kjer je prvi od navedenih avtorjev prispevka našel nekaj primerov alpskih mineraliziranih razpok. Kasneje mu je A. Hinterlechner-Ravnik izročila v določitev še značilen vzorec mineralizirane alpske razpoke, ki jo je našla na severnem Pohorju v amfibolitiziranem eklogitu.

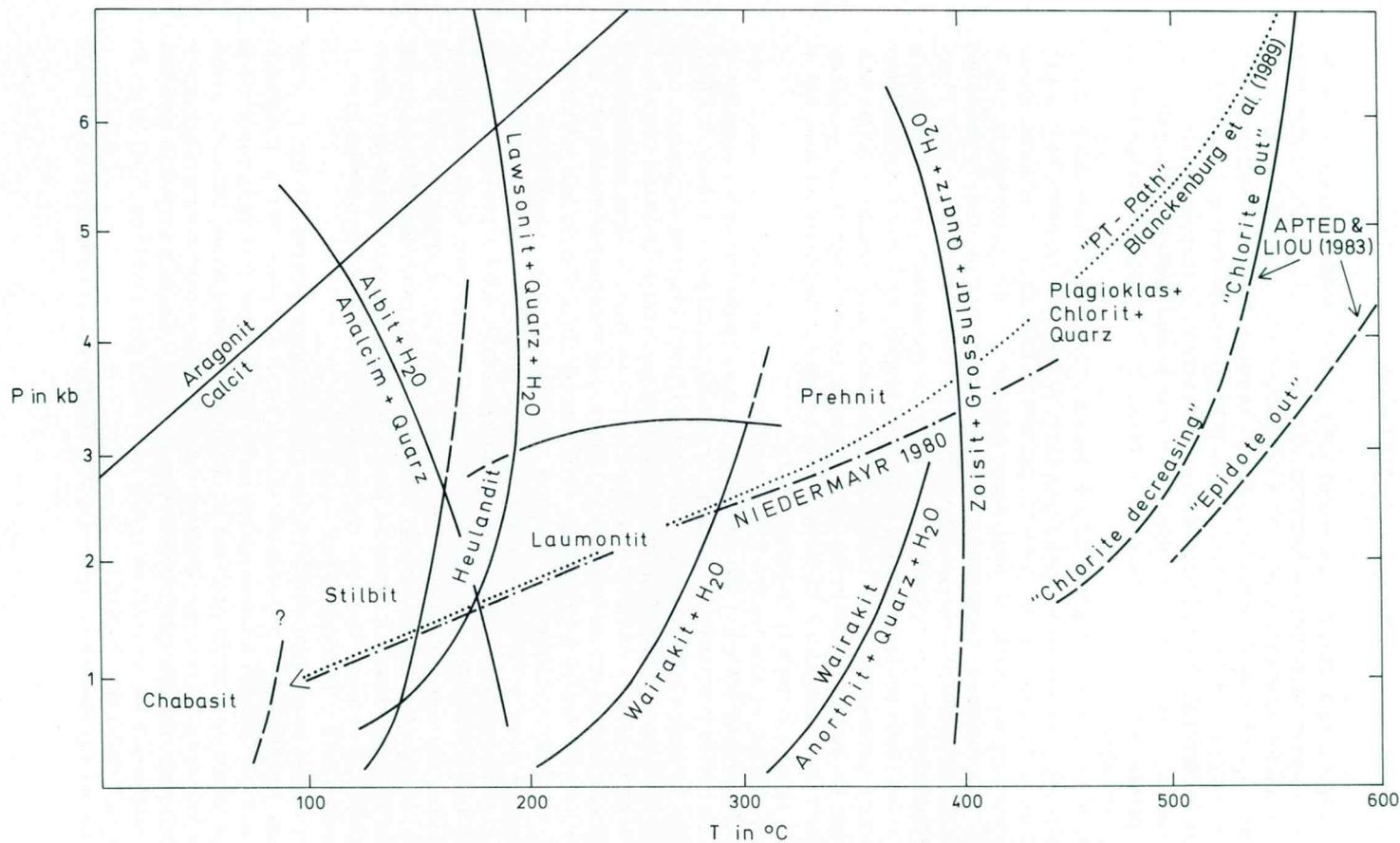


Abb. 6. PT-Diagramm nach Liou (1971) ergänzt durch Daten von Apted und Liou (1983) und Cho et al. (1987). Die strichpunktierter Linie gibt den Trend der Mineralausscheidung in den alpinen Klüften der Ostalpen (Pennin und Ostalpin) an (aus Niedermayr, 1991)

Sl. 6. PT-diagram po Liouju (1971), ki je dopolnjen s podatki Apteda in Liouja (1983) in Choja in dr. (1987). Pikčasto-črtkana krivulja nakazuje zaporedje izločanja mineralov v alpskih razpokah kot je ugotovljeno v Vzhodnih Alpah, v Penniniku in vzhodnoalpskih pokrovi (iz Niedermayr, 1991)

Nastanek alpskih razpok

Alpske razpoke so z minerali obraščeni votli prostori v kameninah. Večinoma potekajo pravokotno na strukturo kamenin (Stadler et al., 1973), vendar to ni vedno nujno. Njihov nastanek je pogojen z nehomogenostjo in z lokalno napetostjo v kameninah. Alpskih razpok ne najdemo samo v kameninah silikatne sestave, kot to menita Weninger (1976) in Kandutsch (1989), temveč tudi v laporastih in karbonatnih kameninah. Vrsta izkristaliziranih mineralov v razpoki je odvisna od sestave kamenine, v kateri poteka razpoka. Pri tem je sam nastanek mineralizacije alpski. Če proces mineralizacije razpoke ni vezan na faze alpidске orogeneze, ga označujemo kot alpinotipni.

Količina mineralov v posamezni razpoki kakor tudi relativna količina praznega prostora, sta zelo različni. Ni namreč razumljivo, zakaj ne bi razpoko, ki je popolnoma zapolnjena z enim ali z več minerali, pri tem pa kaže druge značilnosti alpske mineralizirane razpoke, prištevali med alpske razpoke. To velja predvsem za žile, ki so povsem zapolnjene s kremenom, glinenci, karbonati, pa tudi s kloritom. Pomembna je tudi prostorska razporeditev zapolnitve s posameznimi minerali. Pogosto imajo žilne zapolnitve še ohranjene votline, ki niso vedno dostopne neposrednemu opazovanju. Istočasno imajo mineralno sestavo, ki jo glede na način nastanka lahko uvrščamo samo kot mineralizacijo alpskih razpok. Iskalcem mineralov v Alpah je že dolgo znano, da pogosto pridejo do bolj ali manj odprte razpoke po pazljivem sledenju navidezno kompaktno kremenove žile s pomočjo nekaterih znakov, kot so npr. zamiki, zožitve in najbolj drobne razpoke.

Značilen primer so kremenove žile z berilom, ki so znane s številnih mest v Turskem oknu (Tauernfenster). Ne smemo pa jih zamenjati z berilovim pegmatitom oziroma z berilovim pegmatitnim gnajsom, ki se tudi pojavljata v Vzhodnih Alpah. Mineral beril, večinoma kot bolj ali manj intenzivno modro obarvan akvamarin, raste praviloma v kremenovi žili na prikamenini. V prvotnem votlem prostoru razpoke je pravilno razvit in povsem obdan z mlajšim kremenom. Beril je torej izkristaliziral pred kremenom. Beril je predvsem značilen mineral pegmatitno-pnevmatolitske faze in je v tem primeru nastal pri relativno visoki temperaturi. Ker so bile v Turskem oknu med alpidsko metamorfozo ponekod dosežene najvišje temperature okrog 600 °C in več, je beril v alpskih razpokah – ob kremenju – visokotemperaturnega nastanka, ki sega v polje pegmatitno-pnevmatolitske faze, vendar pri tem ne gre za pegmatitne fluide. Berili alpskih razpok so pri hlajenju hidrotermalnih raztopin pri tlaku ok. 2 kbar obstojni do temperature 325 °C (Franz & Morteani, 1981). Pri nadaljnjem hlajenju raztopine v razpoki pa postane beril neobstoje. Zato se sprosti element berilij. Iz raztopine, obogatene z berilijem, lahko izkristalizirajo novi minerali, ki vsebujejo ta element. To so npr. bertrandit, milarit, fenakit in bavenit, ki so jih vse že pogostno našli v Turskem oknu.

Alpske razpoke so nastajale med dvigovanjem alpskega gorstva. Ob tem je prišlo do strižnega premikanja v posameznih skladovnicah kamenin, kar je povzročilo odpiranje razpok. Že med odpiranjem so vroče vodne solne raztopine zapolnile te razpoke: pritekale so v votle prostore iz obdajajoče prikamenine, ustrezno padcu tlaka od prikamenine do razpoke. Raztopine so bile deloma močno mineralizirane in so lahko vsebovale tudi precejšnje primes CO_2 in NaCl. V fluidnih vključkih kremenja v starih metamorfni kameninah na Golici je Weninger (1981) ugotovil 20 do 30 vol. % CO_2 in 7 do 23 ekv. % NaCl.

Raztopine so s prikamenino reagirale. V območju posamezne razpoke so lahko

povzročile močan razkroj in izluževanje kamenin. Ob počasi padajoči temperaturi in tlaku se je proces obrnil; v razpokah so iz nasičene raztopine postopoma začeli kristalizirati novi minerali. Spremenjene oziroma izlužene cone so za izkušene iskalce mineralov dober znak, da so v bližini razpoke.

Prvi raziskovalci so sodili, da je za alpsko mineralizacijo razpok, vsaj na območju Vzhodnih Alp, potreben močan dotok snovi. Domnevali so, da prihaja le-ta iz večjih globin (Weinschenk, 1896; Leitmeir, 1942; Haberlandt & Schiener, 1951; deloma tudi Weninger, 1974). Šele Fraslin & Frank (1966) sta opozorila na vpliv prikamenine med alpidskim nastajanjem raztopin v procesu lateralnega izločanja. Tudi novejša opazovanja kažejo, da mineralizacija alpskih razpok ni odvisna samo od alpidске metamorfoze (v Penniniku od mladoalpidске metamorfoze), temveč tudi, da se proces nastanka razpok ter njihova mineralizacija dogajata na majhnem prostoru (Niedermayr, 1980 in 1991). To velja tudi za alpske razpoke v starih metamorfnih kameninah na avstrijskem Koroškem in Štajerskem, čeprav je njihova mineralizacija, v nasprotju s Penninikom, vezana na staroalpidске metamorfne dogodke.

V svojem delu, kjer obravnavajo Švicarske Alpe, so Stalder in sodelavci (1973) prikazali, kolikšna je izmenjava snovi v procesu nastanka alpskih mineraliziranih razpok. Razlika v gostoti med nespremenjeno svežo in porozno spremenjeno kamenino v neposredni bližini razpoke lepo pokaže, da gre glede na svežo kamenino za približno 20 ut. % in več odnesenega materiala. Torej je lahko skoraj tretjina prvotne kamenine v raztopljeni obliki odvedena v razpoke, kjer prispeva k nastanku novih mineralnih faz. To pa pomeni, da je bilo pri gostoti kamenine 2700 kg/m^3 kar 900 kg snovi odnesene v razpoke.

Razpoko z njeno prikamenino moramo vrednotiti kot prostorsko geološko telo, vendar je na terenu večinoma viden le njen presek. Zato neki izdanek za mineralizacijo te razpoke ni nujno reprezentativen. Šele več opazovanj nam dovoljuje, da sklepamo o nastanku razpoke.

Pri vseh teh opazovanjih je pomembno poreklo lahko hlapnih sestavin raztopin v razpokah, predvsem H_2O in CO_2 . Ustrezne raziskave v alpskem območju kažejo, da CO_2 komponenta lahko izhaja iz procesa dekarbonizacije kamenin, vezane na progresivno alpidsko metamorfozo, ali pa tudi iz oksidacije grafitne snovi (Lausch et al., 1974; Hoefs & Morteani, 1979). Tudi H_2O se med progresivno metamorfozo sprošča iz kamenin, v katerih najdemo kasneje mineralizirane razpoke. Domnevajo, da ostanejo našteje pomembne plinske faze med progresivno metamorfozo v glavnem intergranularno v kameninah. Kasneje se med retrogradno metamorfozo uravnava mineralizacija s temi fluidi, ki so sprva v nadkritičnem stanju.

Ozko povezavo med kemizmom prikamenine in mineralno združbo v njenih razpokah ugotavljajo raziskovalci vedno znova. Zato v kameninah določene sestave lahko najdemo le določene mineralne združbe (Stalder et al., 1973; Niedermayr, 1980).

Iz dosedanjega izvajanja sledi, da je razpoka oziroma sistem razpok z obdajajočimi kameninami obsežen zaprt sistem. Ker se med alpidsko metamorfozo razpoka in prikamenina odzivata podobno tako glede na spremembo tlaka kot temperature, lahko uporabimo za kamenine veljavne petrološke parametre, tudi za nanje vezano mineralizacijo alpskih razpok (Niedermayr, 1980).

Problemi, ki jih skušamo rešiti ob razpravi o alpski mineralizaciji razpok, obsegajo:

1. mehaniko hribin in nastanek razpok v času in prostoru,

2. izvor raztopin v razpokah in
3. mineralizacijo razpok in zaporedje rasti mineralov v teh razpokah.

Med progresivnim metamorfnim oblikovanjem skladovnice kamenin je nastanek razpok komajda mogoč. Tudi ohranitev morebitno prisotnih predmetamorfnih žilnih mineralov ni možna, kar je vsekakor odvisno od stopnje metamorfoze. Razpoke nastajajo in se mineralizirajo šele neposredno po temperaturnem maksimumu med dogajanjem zadnje metamorfoze. Ker so velike tektonske enote v Vzhodnih Alpah oblikovane izključno alpidsko (mlado- in/ali staroalpidsko), ne moremo v njih pričakovati predalpidsko nastalih žilnih mineralizacij.

Iz dosedanjih obsežnih podatkov je mineralizacija razpok v Penniniku in v vzhodnoalpskih pokrovi primerljiva tako glede vsebnosti mineralov kakor tudi glede zaporedja rasti mineralov. Po obstoječih radiometričnih podatkih je bila glavna metamorfna stopnja vtisnjena v vzhodnoalpske pokrove po eni strani in v Penninik po drugi strani ob različnem času. Zato so nastajale razpoke in v njih mineralizacija v velikih tektonskih enotah in v različnem času. Ker pa so v obeh tektonskih enotah mineralna zaporedja v razpokah primerljiva, nam to dokazuje podobne PT razmere tako ob dviganju Penninika kakor tudi vzhodnoalpskih pokrovov (Niedermayr, 1990a).

Mineralizacija razpok v starih metamorfnih kameninah

Mineralizacija razpok v starih metamorfnih kameninah (= Altkristallin) je v Vzhodnih Alpah, torej tudi na Svinški planini in na Golici, že dolgo znana. Vendar je niso vzporejali s tipičnimi alpskimi strižnimi razpokami Penninika, temveč so imeli te žilne pojave za posledico arterijske, deloma venijske variscijske metamorfoze (Meixner & Clar, 1953). Izredna nahajališča do sto kg težkih kristalov kamene strele, do 18 cm velikih kristalov titanita iz kamnoloma Schwemmhoisl pri Deutschlandsbergu na Štajerskem in druga znamenita nahajališča kamene strele ter drugih mineralov z raznih lokacij Golice in Svinške planine so za vedno seznanile zbiralce in mineraloge z minerali alpskih razpok teh metamorfnih skladov (Niedermayr, 1990b).

Raziskava mineralnih paragenez je pokazala, da vpliva tudi v starih metamorfnih kameninah na mineralne združbe predvsem prikamenina. Lep primer za to je Weinebene na Golici, kjer se pojavlja spodumen. Niedermayr in Göd (1992) sta dokazala, da se parageneze v razpokah tamkajšnjih spodumenovih pegmatitnih gnajsov dobro razlikujejo od paragenez v prikamenini. Prikamenina so amfiboliti in blestniki oziroma gnajsi, vendar je zaporedje izločanja mineralov v razpokah primerljivo kljub temu, da ga najdemo v različnih vrstah omenjenih kamenin. Pojav si razlagamo tako, da sicer različni kemizem kamenin močno vpliva na velike razlike v vrsti mineralov. Vrstni red kristalizacije teh mineralov v razpoki pa zavisi od nadrejenega mehanizma retrogradnega poteka starejše alpidске metamorfoze, ki je zadnja in dokončno vplivala na te metamorfne kamenine.

Shematsko so mineralne združbe in zaporedje kristalizacije mineralov v razpokah v amfibolitu, blestniku, gnajsu, spodumenovemu pegmatitnemu gnajsu in eklogitu podane v nemškem besedilu.

Glede na mineralno sestavo in zaporedje kristalizacije ustreza mineralizacija razpok v starih metamorfnih kameninah PT poteku v razmerah retrogradne metamorfoze pri srednjem tlaku (Miyashiro, 1978). Podobno velja za mladoalpidsko

nastale mineralne parageneze razpok Penninika. To dokazuje, da sta razvoj in razmere dviganja zgodnjealpidsko delno rekristaliziranih starih metamorfni kamenin in onih, ki jim je bila vtisnjena samo mladoalpidaska metamorfoza v Penniniku, identična (Niedermaier, 1990 a). Geološki sklepi teh zapažanj do sedaj še niso bili dovolj vrednoteni.

Mineralizirane razpoke na Pohorju

V nadaljevanju so opisane mineralizacije alpskih razpok na Pohorju, ki smo jih našli v Mislinjskem jarku, v kamnolomu čizlakita nad Cezlakom in severovzhodno od Šumnika ob gozdni cesti v Ruše (sl. 1).

V amfibolitu Mislinjskega jarka je bil v tankih razpokah najden debelo žarkovit aktinolit z malo klorita ob njem. Drugih mineralov nismo našli. Prvi je kristaliziral aktinolit, za njim klorit. Ta mineralna združba ni značilna, dala pa naj bi pobudo za natančnejšo raziskavo mineraliziranih razpok vsega območja.

Nad krajem Cezlak leži v nanovo širjenem kamnolomu v tonalitu večja leča posebne kamenine, ki je v literaturi obeležena kot čizlakit. Grade jo minerali avgit, amfibol in plagioklaz. V čizlakitu so razvite tipične alpske strižne razpoke. V njih najdemo aktinolitno rogovačo, kremen in adular ter poleg teh še epidot, klorit, kalcit in heulandit (sl. 2 in 3). Vrstni red kristalizacije mineralov je naslednji:

aktinolit, rogovača → epidot, kremen → titanit, adular → klorit → kalcit in

aktinolitna rogovača → epidot, titanit → kremen → adular → klorit → heulandit → mineral redkih zemelj (?).

Najmlajši mineralni fazi te parageneze sta heulandit in neki do sedaj še nedoločeni mineral redkih zemelj, ki je bogat s cerom (sl. 4).

Raziskana žilna mineralizacija s severnega Pohorja, ki jo je našla A. Hinterlechner-Ravnik, izhaja iz amfibolita, nastalega z retrogradno metamorfozo debele skladovnice eklogita. V ozkih režah amfibolita se je izkristaliziral gost igličast agregat aktinolitne rogovače. Vanj so vraščeni drobni kristali albita, epidota in habazita (sl. 5).

Zaporedje rasti mineralov na dveh vzorcih je določeno kot:

aktinolitna rogovača → albit → epidot → habazit.

Razprava

V starih metamorfni kameninah na Pohorju in v njegovem plutonu so do sedaj najdene le redke mineralizirane razpoke. Navedeni primeri kažejo, da je vrstni red rasti mineralov v razpokah podoben kot v starih metamorfni kameninah Golice in Svinške planine.

V razpokah kamenin, katerih vsebnost kremenice je relativno nizka, so se izkristalizirali najprej aktinolitna rogovača, albit in epidot. Sledili so kremen, titanit, adular in klorit. Pozne faze so tudi tukaj zeoliti: habazit in heulandit.

Ti maloštevilni podatki ne dopuščajo dalekosežnih sklepov. Ko bo raziskanih več primerov, bo možno tudi tukaj oceniti PT potek retrogradne metamorfoze, kot je to že možno na podlagi mineralizacije razpok v Penniniku in starih metamorfni kameninah drugod v Vzhodnih Alpah (sl. 6).

Literatur

- Apted, M. N. & Liou, J. G. 1983, Phase relations among greenschist, epidote-amphibolite, and amphibolite in a basaltic system. *Am. Jour. Sci.* 283-A, 328-354, New Haven, ZDA.
- Cho, M., Maruyama, S & Liou, J. G. 1987, An experimental investigation of heulandite-laumontite equilibrium at 1000 to 2000 bar P_{H_2O} . *Contrib. Mineral. Petrol.*, 97, 43-50, Heidelberg.
- Blanckenburg, F. V., Villa, I. M., Bauer, H., Morteani, G. & Steiger, R. H. 1989, Time calibration of a PT-path from the western Tauern Window, Eastern Alps. The problem of closure temperatures. *Contrib. Min. Petr.* 101, 1-11, Heidelberg.
- Faninger, E. 1970, Pohorski tonalit. *Geologija*, 13, 35-104, Ljubljana.
- Faninger, E. 1973, Pohorske magmatske kamnine. *Geologija*, 16, 271-315. Ljubljana.
- Franz, G. & Morteani, G. 1981, The system $BeO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$: hydrothermal investigation of the stability of beryl and euclase in the range from 1 to 6kb and 400 to 800 °C. *N. Jb. Miner., Abh.* 140, 3, 273-299, Stuttgart.
- Frasl, G. & Frank, W. 1966, Einführung in die Geologie und Petrographie des Penninikums im Tauernfenster, mit besonderer Berücksichtigung des Mittelabschnittes im Oberpinzgau, Land Salzburg. *Der Aufschluß*, Sh. 15, 30-57, Heidelberg.
- Gottardi, G. & Galli, E. 1985, *Natural zeolites*. Berlin, Heidelberg, Springer, 409 p.
- Haberlandt, A. & Schiener, A. 1951, Die Mineral- und Elementvergesellschaftung des Zentralgneisgebietes von Badgastein (Hohe Tauern). *Tschermaks Min. Petr. Mitt.*, 3. F., 2, 292-354, Wien.
- Hinterlechner-Ravnik, A. 1971, Pohorske metamorfne kamenine. *Geologija*, 14, 186-226, Ljubljana.
- Hinterlechner-Ravnik, A. 1973, Pohorske metamorfne kamenine II. *Geologija*, 16, 245-270, Ljubljana.
- Hoefs, J. & Morteani, G. 1979, The carbon isotopic composition of fluid inclusions in Alpine fissure quartzes from the western Tauern Window (Tyrol, Austria). *N. Jb. Miner., Mh.*, 1979, 123-134, Stuttgart.
- Kandutsch, G. 1989, Die morphologische Einteilung alpiner Zerrklufftquarze und deren Anwendung als Geothermometer im Tauernfenster. Salzburg: unveröffentlichte Diss. naturwiss. Fak. Univ. Salzburg, 138. p.
- Kieslinger, A. 1935, Geologie und Petrographie des Bachern. *Verh. Geol. B.-A.* 101-110, Wien.
- Lausch, J., Möller, P. & Morteani, G. 1974, Die Verteilung der Seltenen Erden in den Karbonaten und penninischen Gneisen der Zillertaler Alpen (Tirol, Österreich). *N. Jb. Miner., Mh.*, 1974, 490-507, Stuttgart.
- Leitmeier, H. 1942, Einige neuere Mineralvorkommen im Gebiete des Habachtales, ein Beitrag zur Kenntnis der Entstehung der Zentralgranitgneise der Hohen Tauern. *Tschermaks Min. petr. Mitt.*, N. F. 53, 271-329, Wien.
- Liou, J. G. 1971, Stilbite-laumontite equilibrium. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 31, 171-177, Heidelberg.
- Meixner, H. & Clar, E. 1953, Klassische und neuere Mineralvorkommen im Eklogitbereich der Saualpe. *Carinthia II*, 143./63., 132-139, Klagenfurt.
- Miyashiro, A. 1978, *Metamorphism and metamorphic belts*. 3. Ed. London, Allen & Unwin, 492, p.
- Niedermayr, G. 1980, Ostalpine Klufftmineralisationen und ihre Beziehung zur alpidischen Metamorphose. *Ann. Naturhist. Mus. Wien* 83, 399-416, Wien.
- Niedermayr, G. 1990a, Mineralabfolgen in alpinen Klüften der Ostalpen und ihre Bedeutung für den Bau der Alpen. *Mitt. Österr. Min. Ges.* 135, 59-60, Wien.
- Niedermayr, G. 1990b, Die Mineralien der Kor- und Saualpe in Kärnten/Österreich. *Mineralien-Welt* 1, 3, 58-67, Haltern, ZRN.
- Niedermayr, G. 1991, Alpine Klufftmineralisationen im Nationalpark Hohe Tauern und ihre Beziehung zur Entstehung der Alpen. *Wissenschaftl. Jb. Nationalpark Hohe Tauern*, in Druck.
- Niedermayr, G. & Göd, R. 1992, Das Spodumenvorkommen auf der Weinebene und seine Mineralien. *Carinthia II*, 182./102, 21-35, Klagenfurt.
- Stalder, H. A., de Quervain, F., Niggli, E. & Graeser, S. 1973, *Die Mineralfunde der Schweiz*. Wept & Co., 433 p., Basel.
- Weinschenk, E. 1896, Die Minerallagerstätten des Großvenedigerstockes in den Hohen

Tauern. Ein Beitrag zur Kenntnis der alpinen Minerallagerstätten. Z. Krist. 26, 337-508, Leipzig.

Weninger, H. 1974, Die alpinen Kluftmineralisationen der österreichischen Ostalpen. Der Aufschluß, Sh. 25, 168 p., Heidelberg.

Weninger, H. 1976, Alpine Klüfte. Ihre Entstehung und Bedeutung für den Sammler. Lapis 1, 1, 10-13, München.

Weninger, H. 1981, Mikrothermometrische Untersuchungen an ostalpinen Lagerstätten. Tschermaks Min. Petr. Mitt. 29, 127-149, Wien.