

Ein genetisches Begriffssystem für Minerallagerstätten in Klüften

Von REINHARD EXEL*)

Mit 2 Tabellen

*Lagerstättenkunde
Alpine Klufftmineralien
Genese
Neudefinition
Klassifizierung*

Inhalt

Zusammenfassung	5
Abstract	5
1. Einleitung und Problemstellung	6
2. Klufftypen	6
3. Zur Genese von Minerallagerstätten in Klüften	7
3.1. Hydrothermale Vorgänge	8
3.2. Druck- und Temperaturbedingungen	8
4. Die Begriffe „alpin“ und „alpine Klufftmineralien“	10
4.1. Probleme der Anwendung dieser Begriffe	10
4.2. Den „alpinen Klufftmineralien“ analoge Vorkommen	11
5. Neudefinition	11
6. Schlußbemerkungen	14
Dank	14
Literatur	14

Zusammenfassung

Bei den zur Diskussion stehenden Lagerstätten handelt es sich im allgemeinen um erzfreie Mineralisationen, die in Klüften des Alpenraumes als typisch gelten und die deshalb als „alpine“ oder als „alpinotype Klufftmineralien“ (engl.: „minerals of alpine fissures“ oder „alpine type fissures“ bzw. „clefts, veins, dikes“) bezeichnet werden. Nach der bis heute beibehaltenen Auffassung von NIGGLI et al. (1940) sollte die Entstehung dieser Klüfte an die alpidische Tektonik, und ihre Mineralisierung durch „leere Thermen“ an Endphasen der alpidischen Metamorphose gebunden sein. Diese These kann aber nicht weiterhin aufrecht erhalten werden, da zahlreiche Vorkommen derartiger Minerallagerstätten auch in Metamorphiten variszischer und kaledonischer Gebirge bekannt sind. Die Bezeichnungen „alpin“ bzw. „alpinotyp“ für diese Lagerstätten und ihre Mineralien erweisen sich also als irreführend – und wie hier gezeigt wird – als grundsätzlich derart ungenau, daß sie in Zukunft nicht mehr verwendet werden sollten. Stattdessen wird im Zuge einer Neudefinition dieser Lagerstätten ein Begriffssystem vorgestellt, mit dem exakt operiert werden kann. Es beruht auf charakteristischen genetischen Merkmalen der Trägergesteine und der Paragenesen von Minerallagerstätten in Klüften, aufgrund derer diese Minerallagerstätten in zwei Typen (N und M) untergliedert werden. Für Typ M erfolgt weiters eine Einteilung in sechs Klassen.

A Genetic Definition System for Fissure Mineral Deposits

Abstract

The described mineral deposits occur within fissures (clefts, veins, dikes) and do generally not bear ore minerals. Mineral deposits of this kind are a characteristic phenomenon in the Alps and were reported, so far, as mineralizations of "alpine" or "alpine-type fissures". According to NIGGLI et al. (1940) formation of these fissures and its mineral parageneses is caused by events of Alpidic tectonics and metamorphism. However, since many mineralizations of this kind have also been described, so far, from non-Alpine metamorphic rocks such as in Variscan and Caledonian belts, this hypothesis has to be revised. Because of this, terms such as "alpine fissures" (clefts, veins, dikes) or "minerals of alpine-type fissures" are misleading and should be avoided in the future. Instead of these terms, a new classification is proposed which allows an exact definition of these mineral deposits. This classification is based on characteristic genetic features of host rocks and of fissure mineral parageneses by which these deposits are divided in two types, called N and M. A further subdivision of the M-type deposits is also given.

*) Anschrift des Verfassers: Dr. REINHARD EXEL, Malborghetgasse 31/7, A-1100 Wien.

1. Einleitung und Problemstellung

Minerallagerstätten in Klüften mit weitgehend erzfreiem Mineralinhalt treten in verschiedensten Gesteinen auf. Nach ihrem klassischen Verbreitungsgebiet in den Alpen – hier wurden solche Lagerstätten wegen schön kristallisierter Mineralien (Quarz, Feldspat, Rutil, Hämatit, Apatit, usw.) schon im 19. Jht. von „Strahlern“ gewerbsmäßig ausgebeutet, aber auch von wissenschaftlicher Seite untersucht – wurden diese Vorkommen als „alpine Klüfte“ und ihre Mineralien als „alpine Klufftmineralien“ bezeichnet.

Diese bis heute verwendeten Begriffe sind aber für wissenschaftliche Aussagen ungeeignet, weil damit gewöhnlich geographische und genetische Aspekte verknüpft werden, ein Umstand, der oft zu Mißverständnissen führt. Dies vor allem deshalb, weil der geographische Bezug auf die Alpen für diese Lagerstätten kein stichhaltiges Kriterium ist und in Bezug auf die Genese dieser Lagerstätten und ihrer Mineralführung nicht differenziert wird. Wie den überaus zahlreichen Studien über Minerallagerstätten in Klüften entnommen werden kann, sind es aber gerade die genetischen Merkmale, mit denen sich diese Mineralisationen am besten charakterisieren lassen, und es wird daher in der vorliegenden Arbeit ein entsprechendes Begriffssystem vorgestellt. Dieses geht davon aus, daß die Klufftbildung an sich für genetische Aussagen von keinerlei Bedeutung ist, daß aber die in ihnen enthaltenen Mineralisationen sehr wohl charakteristische Merkmale aufweisen, die es erlauben, eine Klassifizierung nach genetischen Aspekten vorzunehmen. Als wichtiges Faktum fungiert dabei zunächst, daß der Chemismus von Mineralparagenesen in Klüften generell dem Chemismus der Neben- bzw. Trägergesteine, in denen diese Klüfte vorkommen, entspricht, und weiter, daß für die Entstehung von Klufftmineralisationen hydrothermale Vorgänge verantwortlich sind. Je nach dem, ob letztere im Zusammenhang mit einer Metamorphose auftreten oder nicht, bilden sich ganz spezifische Mineralparagenesen, so daß man grundsätzlich zwei Mineralisationstypen unterscheiden kann: Solche, die in Klüften von nicht metamorphen Gesteinen auftreten und solche, die in metamorphen Gesteinen vorkommen (siehe Tab. 1).

Im folgenden werden nur die Klufftmineralisationen in metamorphen Gesteinen ausführlich behandelt, weil vor allem sie Gegenstand zahlreicher wissenschaftlicher Untersuchungen waren und sind, an Hand derer aufschlußreiche Rückschlüsse auf mineralbildende Vorgänge und über das Metamorphosegeschehen erfolgten, und sie zudem den größten Artenreichtum an schön kristallisierten Mineralien aufweisen. Wie schon erwähnt, werden diese Mineralisationen in der geowissenschaftlichen Literatur stets „alpine Klufftmineralien“ genannt, ein Begriff, der nach der Definition von NIGGLI et al. (1940) nur für solche Klufftmineralisationen Geltung hat, die in den von der alpidischen Tektonik und Metamorphose betroffenen Gesteinen der Alpen vorkommen. Da mittlerweile erwiesen ist, daß solche Klufftmineralisationen auch außerhalb des Alpenraumes, und zwar in kristallinen Gesteinen junger, alpinotyper Gebirge ebenso wie in altkristallinen Formationen des Variszikums und der Kaledoniden vorkommen, all diese Mineralisationen aber auch als „alpine Klufftmineralien“

bezeichnet werden, erscheint die Anwendung dieses Begriffs wenig sinnvoll. Auch stellte sich aufgrund des Studiums einschlägiger Literatur zum Thema sowie durch zahlreiche eigene Felduntersuchungen (EXEL, 1980, 1982, 1984) und nicht zuletzt im persönlichen Gespräch mit Fachkollegen immer wieder heraus, daß die Ausdrücke „alpine Klufft“ (für die Lagerstätten) und „alpine Klufftmineralien“ (für den Mineralinhalt dieser Lagerstätten), selbst bei derartigen Vorkommen in den Alpen, allzuoft Mißverständnisse und Irrtümer hervorrufen.

Die eben skizzierte Problematik wird im folgenden von verschiedenen Seiten beleuchtet. Dabei werden u. a. die herkömmlichen Begriffe erläutert und diskutiert mit dem Ergebnis, daß sie für wissenschaftliche Aussagen unbrauchbar sind.

Zur Lösung des Problems boten sich die genetischen Merkmale von Klufftmineralisationen in Metamorphiten an, wie z. B. die Art der Trägergesteine und die Paragenesen bzw. charakteristischen Mineralien. Entsprechende Daten sind in einer Übersicht zusammengestellt und erlauben es, die zur Diskussion stehenden Mineralisationen einwandfrei in Klassen zu gliedern (siehe Tab. 2). Dabei wurde auf eine von NIGGLI et al. (1940) präsentierte und später von PARKER (1954) modifizierte Darstellung zurückgegriffen, die Mineralparagenesen in Klüften von Metamorphiten der Schweizer Alpen zu deren Nebengestein in Beziehung setzt. Ausgehend davon stellten später WEIBEL (1973) und NIEDERMAYR (1980) in stark reduzierter Form ähnliche Übersichten für Mineralparagenesen in Klüften von Metamorphiten der West- bzw. Ostalpen zusammen.

Für das hier vorgestellte Begriffssystem wurde das Konzept der genannten Autoren, die nur alpidische Metamorphite und ihre Klufftmineralparagenesen berücksichtigen, generell auf alle Metamorphite und ihre bekannten, grundsätzlich gleichartigen Paragenesen erweitert, wobei als wesentliche Neuerung die Klassifizierung der entsprechenden Nebengesteine bzw. Gesteinskategorien erfolgt. Damit ist es möglich, alle derartigen Mineralisationen genetisch zu charakterisieren und zu bezeichnen.

2. Klufftypen

Nach BRINKMANN (1972) versteht man unter Klüften (engl. fissures, franz. diaclases, ital. diaclasi oder litoclasii genannt) riß- oder spaltenartige Brucherscheinungen im Gestein, die durch tektonische Vorgänge, z. B. bei der Gebirgsbildung, entstanden sind. Klüfte weisen kaum weiträumige Dimensionen auf: Ihre Längserstreckung liegt gewöhnlich im Meter- bis Zehnermeterbereich, kann aber auch Hunderte von Metern betragen; die Breite, also der Abstand von Klufftfläche zu Klufftfläche, liegt im Millimeter- bis Meterbereich. Ohne schärfer definierbare Grenze gehen Klüfte in Spalten, Gänge und Gangspalten über. Nach der Entstehungsart unterscheidet man durch Druck-, Zug- oder Schubkräfte verursachte Klüfte, wobei für deren Maße in Länge und Breite sowie für die Form das Festigkeitsverhalten bestimmter Gesteine oder ganzer Gesteinsserien von Bedeutung ist. Die Lage der Klüfte in Bezug zur Gesteinstextur (z. B. der Schieferung) hängt weitgehend von der Wirkung und der Richtung des erfolgten tektonischen Streß ab und ist demnach sehr unterschiedlich.

Sie kann etwa senkrecht zur Textur sein, wie z. B. die von STALDER et al. (1973) beschriebenen Zerrklüfte der Schweizer Zentralmasse, oder sie kann bis hin zu einem annähernd parallelen Verlauf dazu erscheinen.

In Bezug auf Gestalt, Lage und Entstehung mineralführender Klüfte in Metamorphiten der Ostalpen hatte WENINGER (1974) acht Klufftypen unterschieden und sie wie folgt charakterisiert:

- **Zerrklüfte**
Es sind dies Hohlräume, die sich oft annähernd senkrecht zur Paralleltextur (Schieferung) des Nebengesteins gebildet haben. Sie sind spaltenähnlich, häufig von linsiger Gestalt und gegen die Ränder zu ausgedünnt. Sie stellen i. a. einen abgeschlossenen Raum oder ein geschlossenes System benachbarter Klüfte dar, von denen zuweilen feinere Rißsysteme mehr oder weniger radial abzweigen. Für Gestalt und Form spielt das Festigkeitsverhalten der Gesteine eine wichtige Rolle. Zerrklüfte, die über mehrere Zehnermeter hin verfolgt werden können, sind selten.
- **Kluffrisse**
Es handelt sich oft nur um wenige mm-breite Klüfte, die größeren tektonischen Bewegungselementen parallel verlaufen. Sie werden auch als Rißklüfte bezeichnet.
- **Kluffspalten**
Sie sind wesentlich seltener als die Zerrklüfte und meist steilstehende, erzgangähnliche Spaltenbildungen von mehreren Zehnermetern bis über hundert Meter Längsentwicklung.
- **Gangspalten**
Hierher gehören die Erzgänge, wie z. B. die Tauerngoldgänge, die in ihrem primären Mineralbestand natürlich nicht zu den „alpinen“ Klüften zählen aber zuweilen typische Kluffmineralien wie Adular, Albit, Chlorit, usw. enthalten.
- **Ruschelzonen**
In Ruschelzonen und in tektonischen Trümmergesteinen sind mitunter Mineralisationen zu finden, die anhangsweise zum „alpinen“ Paragenesentyp gehören.
- **Thermometamorph entstandene Klüfte**
An Kontakten, beispielsweise von Olivingesteinen (Peridotiten etwa) mit kontaktmetamorph veränderten Sedimenten, kann es zu offensichtlich durch thermometamorphe Vorgänge hervorgerufenen Riß- und Kluffbildungen kommen, in denen sich typische Mineralgesellschaften (Granat, Vesuvian, Magnetit, usw.) finden.
- **Drusen Hohlräume in Graniten**
Relativ kleine, bis wenige dm große, rundliche Hohlräume. WENINGER (1974) schreibt dazu (l. c., S. 10):
„ ... Es bestehen dabei im Erscheinungsbild Ähnlichkeiten etwa mit den miarolitischen Hohlräumen im Harzgranit und es soll in diesem Zusammenhang erwähnt werden, daß im tschechischen Schrifttum die Kluffmineralien aus den Graniten der Böhmisches Masse als ‚alpine Kluffmineralien‘ bezeichnet werden ... “
- **Hohlräume in Pegmatiten**
Ohne die Gestalt und Form dieser Hohlräume zu beschreiben (es handelt sich oft um kavernöse Partien, seltener um cm- bis dm-große Hohlräume), bemerkt WENINGER (1974, S. 10), daß es sich dabei um ursprünglich erhaltene oder durch Zersetzungsvorgänge hervorgerufene Hohlräume in Pegmatiten und pegmatoiden Gesteinen handelt, die stark zersetzt,

überprägt und verändert sind und „alpine“ Kluffmineralparagenesen führen können.

Es sei bemerkt, daß WENINGER diese Ausführungen deshalb machte, um die Lagerstätten der „alpinen“ Kluffmineralisationen in den Ostalpen zu beschreiben, die vorher strenggenommen nur auf den Typus der Zerrkluff (STALDER et al., 1973) beschränkt waren. Dazu WENINGER (1974, S. 8):

„ ... Der Begriff der ‚alpinen Kluff‘ wird heute im wesentlichen auf den Sonderfall der Zerrkluff angewendet, eine Einengung des Begriffs, die sicher nicht gerechtfertigt ist. Wie später dargelegt wird, gibt es eine Reihe von anderen Möglichkeiten zur Entstehung von Hohlräumen im alpinen Bereich, deren Mineralinhalt sie unbedingt auch als zu den alpinen Kluffmineralien gehörend betrachten läßt ... “

WENINGER erweiterte den Begriff also auf die von ihm erwähnten und oben bereits dargestellten Möglichkeiten, gegen die von wissenschaftlicher Seite bislang keine Einwände vorgetragen wurden. Dazu, und zu den sogen. „alpinen Kluffmineralien“ soll hier schon die Feststellung getroffen und hervorgehoben werden, daß derartige Hohlräume und Mineralisationen natürlich nicht nur in kristallinen Gesteinen der Alpen vorkommen, sondern selbstverständlich in allen Metamorphiten der Erde auftreten können, und aus solchen auch bekannt sind.

3. Zur Genese von Minerallagerstätten in Klüften

Wie schon in der Einleitung bemerkt, handelt es sich bei den hier besprochenen Lagerstätten um solche, deren Mineralbestand im allgemeinen keine, und wenn, dann nur sehr wenige Erzminerale aufweist. Derartige Lagerstätten sind aus Klüften verschiedenster Gesteine bekannt, doch werden bei der wissenschaftlichen Bearbeitung dieser Vorkommen üblicherweise nur jene berücksichtigt, welche in Metamorphiten auftreten, weil diese vom mineralogischen Aspekt her gesehen am interessantesten erscheinen. Dementsprechend liegen hierfür die meisten Studien vor, und aus den grundlegenden Arbeiten über diese Vorkommen u. a. von NIGGLI et al. (1940), PARKER (1954), WENINGER (1974) und NIEDERMAYR (1980) lassen sich folgende genetische Merkmale ableiten, die generell für alle mineralisierten Klüfte von Bedeutung sind:

- Mineralisationen in Klüften sind jünger als der die Klüfte umgebende Gesteinsverband (Neben- oder Trägersteine) bzw. jünger als die gesteinsbildenden Mineralien.
- Die chemische Zusammensetzung der Mineralparagenesen entspricht im allgemeinen dem Chemismus des Nebengesteins.
- Der Stoffbestand der Mineralparagenesen stammt aus dem umgebenden Gesteinsverband; es ist keine weitreichende Stoffzufuhr anzunehmen.
- Die Mineralparagenesen und ihre Ausscheidungsfolgen (Sukzessionen) können verschieden sein und sind von der jeweiligen Entstehungsweise abhängig.

Daraus geht hervor, daß Mineralparagenesen in Klüften, abgesehen vom Chemismus der Trägergesteine, hauptsächlich von ihrer Entstehungsweise abhängig sind. Letztere wird heute prinzipiell durch hydrothermale Einflüsse auf die Trägergesteine im Zusammenwirken mit bestimmten Druck- und Temperaturbedingungen erklärt (vgl. 3.1. und 3.2.). Diese Vorgänge stellen

sich mitunter während oder kurz nach einer Gesteinsmetamorphose ein, wobei es zur Bildung typischer Mineralparagenesen kommt, die sich in ihrem Mineralbestand und im Erscheinungsbild deutlich von Klüftmineralisationen in nicht metamorphen Gesteinen unterscheiden. Dieses Faktum wurde bisher von den Lagerstättenforschern kaum wahrgenommen, ist aber derart prägnant, daß es als Grundlage für eine Gliederung dieser Minerallagerstätten herangezogen werden kann. Sie erfolgt hier, indem zwei Typen von Minerallagerstätten in Klüften unterschieden werden (Tab. 1).

Tabelle 1.
Typengliederung von Mineralisationen in Klüften nach dem Zustand ihrer Trägergesteine.

Typ	Trägergesteine
N	nicht metamorph
M	metamorph

Typ N tritt hauptsächlich in Klüften von Sedimenten, vorwiegend in Kalken und Dolomiten, aber auch in magmatischen Gesteinen auf und ist generell durch relativ artenarme Mineralparagenesen charakterisiert, die häufig Calciumcarbonate (im wesentlichen Calcit, Aragonit, Dolomit), Quarz und/oder Zeolithe aufweisen.

Typ M hingegen erscheint nur in Klüften metamorpher Gesteine, weist einen ausgesprochen großen Artenreichtum an Mineralien auf (mehr als 150 Mineralarten wurden bisher nachgewiesen) und ist deshalb von besonderem mineralogischem Interesse. Da sich zudem mit der von NIGGLI et al. (1940) gegebenen Definition für derartige Mineralisationen (vgl. 4.), die unter dem Namen „alpine Klüftmineralien“ bekannt sind, Unklarheiten ergeben, wird in der vorliegenden Arbeit nur über Typ M ausgeführt.

3.1. Hydrothermale Vorgänge

Für die Bildung von Mineralisationen in Klüften sind u. a. hydrothermale Vorgänge ausschlaggebend, die im folgenden vereinfacht dargestellt sind. Heiße, wässrige Lösungen (Hydrothermen) ohne eigentlichen Stoffbestand, sogen. „leere Thermen“, dringen in Klüfte oder Klüftsysteme ein und treten mit dem Nebengestein in Wechselwirkung. Sie zersetzen es bzw. laugen es aus und beziehen auf diese Weise den eigentlichen Stoffbestand. Dieser Vorgang wird Lateralsekretion genannt und von SCHNEIDERHÖHN (1940) als pseudohydrothermaler Vorgang angesehen (im Gegensatz zu den „echten“, primären, mit Metallen angereicherten, also erzbringenden Hydrothermen, für die ein weiterreichender Stofftransport angenommen werden muß). Nach erfolgter Sättigung der „leeren Thermen“ mit Stoffbestand aus dem Nebengestein, kristallisieren diese Lösungen unter gewissen P/T-Bedingungen, die sich infolge von tektonischen und metamorphen Vorgängen einstellen, aus. Die Mineralisation von Klüften durch „leere Thermen“ muß kein einmaliger Vorgang sein, sondern kann sich wiederholt einstellen, wobei jeweils verschiedene Generationen von Mineralien entstehen können.

Diese gegenwärtig allgemein anerkannte Interpretation geht auf Beobachtungen und Annahmen zurück, die NIGGLI (1940), KOENIGSBERGER (1940) und SCHNEIDERHÖHN (1940) publizierten. Es soll aber bemerkt wer-

den, daß bis heute die Frage nach der Herkunft des Stoffbestandes in manchen Fällen nicht restlos geklärt ist und dazu auch andere Auffassungen geäußert wurden. Diese bestehen vor allem darin, für die Bildung von Klüftmineralien entweder pegmatitische Restmagmen (z. B. WEINSCHENK, 1896) oder Granitrestlösungen (z. B. LEITMEIER, 1950) anzunehmen, doch sprechen tatsächlich wenige Beobachtungen für diesen Sachverhalt. Es soll auch auf die Meinung von EXNER (1957) hingewiesen werden, der für die Herkunft des Stoffbestandes „tiefvadose“ Wasser (Niederschlags- und Porenwasser) annimmt, die in wenigen Kilometern Erdtiefe erwärmt und mineralstoffreich wurden.

3.2. Druck- und Temperaturbedingungen

Sie stellen sich vor allem infolge metamorpher Vorgänge, wie etwa im Laufe einer Regionalmetamorphose, seltener durch Kontaktmetamorphose, ein und sind von deren Wirkungsgrad abhängig.

Über die Bildungsvorgänge und Bedingungen zur Entstehung von Mineralien in Klüften bemerkt NIEDER-MAYR (1980, S. 412–413) u. a., daß

„... Bildungstemperaturen und Bildungsdrucke der Erstausscheidungen in den Klüften mit dem maximalen Metamorphosegrad der jeweils umgebenden Gesteine übereinstimmen können, dies aber nicht unbedingt der Fall sein muß. Hier spielten in erster Linie der Zeitpunkt der Klüftöffnung und in zweiter Linie das Stoffangebot aus dem Nebengestein eine Rolle. In einem gegebenen Gesteinsverband werden daher später gebildete Klüfte je nach dem, dem Bildungszeitpunkt entsprechenden, Stadium der retrograden Metamorphose niedriger temperierte Mineralphasen als frühe Ausscheidungen aufweisen, als die im gleichen Gesteinsverband auftretenden, früher gebildeten Klüftparagenesen ...“

Derselbe Autor schildert für den Bereich der Ostalpen folgenden Sachverhalt:

In den Hohen Tauern und in den Zillertaler Alpen, die von der alpidischen Regionalmetamorphose am stärksten betroffen sind, treten Gesteinsformationen des penninischen Deckensystems in Form eines tektonischen Fensters („Tauernfenster“) in Erscheinung, und zwar hauptsächlich Granitgneise und Amphibolite. Nach FRIEDRICHSEN & MORTEANI (1979) erreichte die alpidische Metamorphose in diesen Gesteinsserien stellenweise Temperaturen bis zu 640 Grad. Die Bildungstemperaturen der wesentlichen, in diesem Gebietsbereich verbreiteten Klüftmineralien (Quarz, Feldspäte und Carbonate) müssen etwa zwischen 600 bis 400 Grad betragen haben, bei Drucken von 6 bis 3 kb, wobei allerdings regionale Unterschiede feststellbar sind. Im allgemeinen begann die Mineralausscheidung in den Klüften bald nach Überschreiten des Temperaturmaximums und weist deutlich retrograde Merkmale auf; die Mineralsukzessionen entsprechen einem „medium-pressure-type metamorphism.“

In Bezug auf Klüftmineralisationen und Metamorphose in den Ostalpen kam NIEDER-MAYR (1980) u. a. zu folgenden Ergebnissen:

- Der Mineralinhalt in den Klüften wird vom Chemismus des Nebengesteins beeinflusst. Die Mineralabfolgen (Sukzessionen) in den Klüften zeigen hingegen keine unmittelbare Beziehung zum Nebengestein, sondern sind in erster Linie vom jeweiligen Druck-Temperatur-Abfall während der Metamorphose abhängig.
- Die Mineralsukzessionen in den Klüften entsprechen einer retrograden Metamorphose.

- Die Anlage der Klüfte und deren Mineralisation ist erst nach Abschluß des alpidischen Deckenbaues erfolgt.
- Die Tatsache, daß sich im oberostalpinen Altkristallin die gleichen Zeolithparagenesen finden wie im Penninikum, läßt nur den Schluß zu, daß beide Einheiten den gleichen Temperatur-Druck-Bereich durchlaufen haben, die altkristallinen Serien diesen aber früher erreicht haben müssen als jene des Penninikums.

Im wesentlichen treffen diese Aussagen auch für die von der alpidischen Metamorphose betroffenen Gesteine der Westalpen zu (vgl. STALDER et al., 1973), so daß über die Bildungsbedingungen von Klufftmineralisationen in Metamorphiten der Alpen in der Fachwelt grundsätzliche Übereinstimmung herrscht.

Unterschiedliche Auffassungen bedingte aber die Frage über das zeitliche Geschehen dieser Bildungsprozesse. So wurde von den führenden Alpenmineralogen, vor allem von NIGGLI et al. (1940), PARKER (1954), FRIEDRICH (1960), STALDER et al. (1973) generell die Meinung vertreten, daß diese Klufftmineralisationen ausschließlich im Zusammenhang mit der alpidischen Tektonik und Metamorphose, genauer gesagt, in deren Endstadien erfolgten und als Endphänomene der alpidischen Orogenese und der durch sie ausgelösten Metamorphosephasen anzusehen seien. Dieser Ansicht traten erstmals FRASL & FRANK (1966) entgegen, indem sie am Beispiel rezent erfolgter Mineralabsätze in den sogen. „Hitze Klüften“ der Gasteiner Thermalquellen (Land Salzburg/Österreich) zur Anschauung gelangten, daß Lateralsekretion von den Spätphasen der alpidischen Regionalmetamorphose bis in die Gegenwart hin möglich ist. Dazu bemerkt WENINGER (1974, S. 11):

„ ... Diese Gedankengänge geben uns die Möglichkeit die Entstehung der alpinen Klufftmineralien in einem zeitlich viel größeren Bereich zu sehen ... “
und weiters:

„ ... Damit sind auch die Klufftmineralbildungen des Variszikums von Kor- und Saualm beispielsweise zwangslos den alpinen Klufftmineralparagenesen zuzuordnen ... “

WENINGERS Überlegungen und Beobachtungen wurden dann durch die Arbeiten von FRANK et al. (1988) bestätigt, die eine Verbreitungskarte über den Wirkungsbereich der alpidischen Metamorphose in den Ostalpen präsentierten, aus der hervorgeht, daß die erwähnten Formationen von der alpidischen Metamorphose überprägt sind, und also kein Grund vorliegt, diese Mineralisationen von den sogen. „alpinen Klufftmineralisationen“ auszugliedern.

Die Frage nach dem zeitlichen Geschehen der Bildung von Klufftmineralisationen war somit, zumindest was jene betrifft, die in Gesteinen auftreten, die von der alpidischen Metamorphose betroffen sind, gelöst. Sie wurde aber wieder aktuell, als KOLLER et al. (1978) über die mittlerweile von zahlreichen Stellen im Kristallin der Böhmisches Masse nachgewiesenen Klufftmineralisationen berichteten und diesbezüglich meinten (l. c. S. 374):

„ ... Der notwendige Stoffbestand für die Bildung der Klufftparagenesen muß aus einer Veränderung und Auslaugung des Nebengesteins und der vorhandenen Mineralphasen hergeleitet werden. Auch das Auftreten an tektonisch angelegten Klufftflächen, zumindest teilweise als Zerrklüfte senkrecht zur Schieferung, zeigt eine weitgehende Übereinstimmung mit der Vorstellung und Bildung aus heißen, wäßrigen Lösungen. Damit sind diese Mineralbildungen vergleichbar mit den „alpinen Klüften“ im Sinne der Definition von NIGGLI (1940), PARKER (1954, 1973) sowie WENINGER (1974) ... “

Und an anderer Stelle der zitierten Arbeit heißt es (l. c. S. 374):

„ ... Man kann daher diese Klufftbildungen im übertragenen Sinne als „alpinotype Klüfte“ bezeichnen, da ähnliche Bildungen wie bei den „alpinen Klüften“ vorliegen. Diese alpinotypen Klufftparagenesen stehen allerdings in keinem Zusammenhang mit der alpidischen Orogenese ... “

Stellt man weitere Überlegungen zu den eben zitierten Ausführungen an, so resultiert, daß die Voraussetzungen zur Bildung derartiger Klufftmineralisationen nicht ausschließlich an Phasen der alpidischen Tektonik und Metamorphose gebunden sind, und folgerichtig der bis dato unumstrittenen Definition für „alpine Klufftmineralien“ im Sinne von NIGGLI, usw. widersprochen wird. Dieser Widerspruch kommt in der erwähnten Arbeit von KOLLER et al. (1978) übrigens ganz deutlich bei der Bezeichnung dieser Klufftmineralisationen als „alpinotyp“ zum Ausdruck. Dies, weil man unter „alpinotyp“ auf starke Einengung zurückgehende tektonische Erscheinungen (MURAWSKI, 1963) bzw. den Alpen entsprechende Faltengebirge versteht, hier aber tektonische Elemente (Klüfte) sowie die darin enthaltenen Mineralisationen gemeint sind, wobei offensichtlich beide Phänomene mit der alpidischen Orogenese und Metamorphose in keinem ursächlichen Zusammenhang stehen. Klufftmineralisationen sind mittlerweile aus ganz unterschiedlich alten Metamorphiten, z.B. aus variszischen und kaledonischen Gebirgen bekannt (vgl. 4.2.), also durchaus nicht allein für die Alpen charakteristisch. Aufgrund dieser Fakten sei jetzt schon darauf hingewiesen, daß hier die Meinung vertreten wird, daß Klufftmineralisationen prinzipiell in allen Metamorphiten der Erde auftreten können, und kein zwingender Anlaß besteht, sie als „alpin“ oder als „alpinotyp“ zu bezeichnen.

Zum Metamorphosegeschehen und über Metamorphite im allgemeinen seien hier noch einige Bemerkungen angeführt.

Ausgehend von Beobachtungen und Untersuchungen von Klufftmineralisationen in den Alpen mit ihren, vom kristallmorphologischen Aspekt aus gesehen schönsten Paragenesen in den von der alpidischen Metamorphose am stärksten betroffenen Gesteinsserien der Zentralalpen, entstand die recht verbreitete Anschauung, daß Klufftmineralien generell nur in höher metamorphen Gesteinen vorkommen würden. Dies ist aber nicht allgemein der Fall, weil Mineralisationen in Klüften grundsätzlich niedrig- bis mittelthermale Bildungen sind, und dementsprechend hauptsächlich in schwach bis mittel metamorphen Gesteinen (Anchi-, Epi- und Mesozone) auftreten. Bei der Bezeichnung der Trägergesteine von Klufftmineralisationen wurden deren Metamorphosegrad bisher übrigens kaum Rechnung getragen. Diese Feststellung ist insofern von Bedeutung, als z. B. aus der oft verwendeten Bezeichnung „Granit“ als Trägergestein für Klufftmineralisationen (vgl. NIGGLI et al., 1940; PARKER, 1954; WEIBL, 1973; KOLLER et al., 1978, u. a.) nicht hervorgeht, wie stark metamorph dieser Granit mit seinem meist vorhandenen aplitischen und pegmatitischen Ganggefüge überprägt ist. Es wäre angebracht und richtig, diesbezüglich den Ausdruck Meta-Granit zu gebrauchen, der zwar über den Metamorphosegrad auch keine Auskunft gibt, aber immerhin soviel aussagt, daß es sich um einen metamorph überprägten Granit bis hin zum geschieferten Gneis (Orthogneis) handeln muß. Im wesentlichen gilt das hier Gesagte für alle anderen Gesteine, die von Regionalmetamorpho-

sen betroffen sind. Eine Sonderstellung nehmen gelegentlich jene Gesteine eine, die von lokalen Metamorphosevorgängen (Kontaktmetamorphose, Thermometamorphose) betroffen sind. Es handelt sich dabei vor allem um Skarne, Hornfelse und Marmore, in denen mitunter typische Mineralparagenesen auftreten, die durch metasomatische Vorgänge entstanden sind. Da in solchen Gesteinen zuweilen auch Klüfte mit Mineralisationen auftreten, die der Paragenese nach kaum von den primären, metasomatischen Bildungen zu unterscheiden sind, müßte, um sie in das vorliegende Begriffssystem von Klüftmineralisationen in Metamorphiten einzubeziehen, geklärt sein, daß die Bildung dieser Klüfte und ihr Mineralinhalt erst nach der Metasomatose erfolgte. Dies ist in manchen Fällen vielleicht schwer zu entscheiden, meistens aber, und zwar vor allem dann, wenn solche Gesteine nachträglich regionalmetamorph überprägt wurden, überhaupt keine Frage.

Zur Genese von Mineralisationen in Klüften von Metamorphiten soll schließlich ganz allgemein festgehalten werden, daß das Aufreißen der Klüfte im Gestein durch tektonische Bewegungen, und die Mineralisation derselben durch „leere Thermen“ in Verbindung mit P-/T-Bedingungen als meist voneinander unabhängige aber sehr dynamische Prozesse aufgefaßt werden müssen, die sich wiederholt einstellen können. So etwa können einmal durch solche Vorgänge gebildete Mineralisationen auch durch Wiederholung eben dieser Vorgänge überprägt werden, und verschiedene Generationen (Ausscheidungsfolgen) von Mineralien entstehen. Es können aber auch primär pneumatolytische Bildungen, etwa in Graniten und Pegmatiten, von Mineralphasen aus mittel- bis tiefthermalen Lösungen, die entlang jüngerer Klüftsysteme zirkulieren, überprägt werden (KOLLER & NIEDERMAYR, 1978). Der Mineralinhalt in Klüften kann dieselben vollständig oder nur teilweise ausfüllen; in letzterem Fall sind noch Hohlräume vorhanden und die Mineralien kleiden oft nur die Wandungen der Klüft aus.

4. Die Begriffe „alpine Klüft“ und „alpine Klüftmineralien“

Das den Alpen entsprechende Eigenschaftswort heißt alpin. Es wird im allgemeinen nur in geographischer Hinsicht, und zwar den gesamten Alpenraum betreffend, angewandt. Schon im erdwissenschaftlichen Sprachgebrauch des 19. Jhdts. war daher sinngemäß von den „alpinen Mineralagerstätten“ die Rede, worunter man alle im Alpenraum bekannte Mineralvorkommen verstand und glaubte, sie seien durch die alpidische Gebirgsbildung entstanden. Konsequenterweise nannte man auch Mineralisationen bzw. einzelne Mineralspezies, die in Klüften gefunden wurden, „alpine Klüftmineralien“, und die mineralisierten Klüfte selbst „alpine Klüfte“. Diese Begriffe bezogen sich jedoch im Laufe der Zeit nur noch auf einen ganz bestimmten Typ von Lagerstätten und Mineralparagenesen, die vor allem von NIGGLI, KOENIGSBERGER & PARKER (1940) genauer umschrieben wurden.

Es handelt sich demnach nur um solche Mineralisationen, die in Klüften von Gesteinen auftreten, welche von der alpidischen Metamorphose betroffen sind. Die Anlage der Klüfte (sogen. „alpine Klüfte“; gemeint sind damit hauptsächlich Zerrklüfte, wie sie im Aar- und

Gotthardmassiv der Schweiz verbreitet sind) ist durch tektonische Bewegungen der alpidischen Gebirgsbildung verursacht worden. Die Mineralisation in diesen Klüften erfolgte während oder kurz nach der alpidischen Metamorphose, und zwar nach den unter den Punkten 3.1. und 3.2. erläuterten Vorgängen.

Der Begriffsbestimmung von NIGGLI et al. (1940) schlossen sich im wesentlichen die namhaften Erdwissenschaftler an, die sich mit der Mineralogie der Alpen befaßten, u. a. MEIXNER, GRAMACCIOLI, WENINGER, STALDER, NIEDERMAYR und RYKART. Unter „alpinen Klüftmineralien“ sind somit eigentlich nur jene Mineralagerstätten zu verstehen, die in Klüften von Metamorphiten der zentralen West- und Ostalpen auftreten und deren Paragenesen schon lange durch ihren Artenreichtum an schön kristallisierten Mineralien, hauptsächlich Quarz, Feldspat, Rutil, Hämatit, Anatas, Titanit, usw. besonders auffielen. Nicht in diese Betrachtung eingeschlossen sind damit aber viele andere Klüftmineralisationen, deren Paragenesen sich kaum oder gar nicht von den oben definierten unterscheiden, die aber meistens auch „alpine Klüftmineralien“ genannt werden. So etwa jene, welche zwar in metamorphen Gesteinen der Alpen auftreten, jedoch in solchen, die nicht von der alpidischen Metamorphose überprägt sind (z.B. im Kristallin der Südalpen) und zwangsläufig natürlich alle weiteren, analogen Mineralisationen in Metamorphiten außerhalb des Alpenraumes (vgl. 4.2.).

4.1. Probleme der Anwendung des Begriffs „alpin“

Wie schon im obigen Punkt 4. erwähnt, wird der Ausdruck „alpin“ allgemein im geographischen Sinn verwendet, so daß nun derselbe Begriff, im geologischen und mineralogisch-lagerstättenkundlichen Zusammenhang angewendet, zwangsläufig zu Verwechslungen und Mißverständnissen führen mußte. Dies zeigt sich allein schon in der Formulierung von Titeln vieler publizierter Arbeiten zum Thema, aus dessen Wortlaut nicht hervorgeht, was gemeint ist. Hierzu einige signifikante Beispiele:

- „Betrachtungen über die Merkmale alpiner Quarze“ (PARKER, 1963).
- „Alpine Amethyste mit s-Flächen (1121)“ (RYKART, 1976).
- „Die alpinen Klüftmineralien der österreichischen Ostalpen“ (WENINGER, 1974).
- „Ostalpine Klüftmineralisationen und ihre Beziehung zur alpidischen Metamorphose“ (NIEDERMAYR, 1980).
- „Zum Quarzwachstum in einer zentralalpinen Klüft“ (RYKART, 1984).
- „Minerali alpini e prealpini“ (GRAMACCIOLI, 1975).

Es zeigt sich, daß der Ausdruck „alpin“ zu „ostalpin“, „zentralalpin“, fallweise auch zu „westalpin“ abgewandelt wird und daher in erster Linie nur geographisch verstanden werden kann. Daß damit ein bestimmter Mineralisationstyp, wie er von NIGGLI et al. (1940) definiert wurde, gemeint ist, geht aus diesen Formulierungen am allerwenigsten hervor.

Als problematisch erweist sich auch die Bezeichnung einzelner Mineralien dieser Klüftmineralisationen, z. B. beim Quarz, der einmal „alpiner“ Quarz, ein andermal „alpinotyper“ Quarz (vgl. RYKART, 1989) genannt wird.

In Strahler- und Mineraliensammlerkreisen, speziell des Alpenraumes, wird der Begriff „alpin“ auch immer mehr von der eigentlichen Definition sich entfernend, als Merkmal der Ästhetik und/oder der Seltenheit von in den Alpen vorkommenden Mineralien angewandt und verstanden. Dies m. E. zu Unrecht, denn es ist äußerst schwer zu beurteilen, ob etwa eine Hämatit-Rosette, Stufen von Scheelit oder Epidot aus Klüften der Zentralalpen schöner oder rarer seien als entsprechende Stücke aus analogen Vorkommen in kristallinen Gesteinen von Brasilien, Korea, Alaska oder Pakistan.

Die grundsätzlichen Schwierigkeiten bei der Anwendung dieses Begriffs zeigen sich aber vor allem erst dort in vollem Ausmaß, wo es darum geht, die dem Erscheinungsbild nach den von NIGGLI et al. (1940) definierten „alpinen Kluffmineralien“ entsprechenden Vorkommen außerhalb des Alpenraumes zu bezeichnen.

Derartige Vorkommen (vgl. 4.2.) werden in der Literatur generell auch „alpin“ bzw. „alpinotyp“ genannt. Diese Bezeichnungen könnten bestenfalls noch für jene Minerallagerstätten eine gewisse Gültigkeit haben, die in Klüften metamorpher Gesteine von jungen Faltengebirgen auftreten. Absolut irreführend, ja der Definition nach falsch, ist diese Begriffsanwendung allerdings bei der Bezeichnung von solchen Vorkommen, die in metamorphen Formationen auftreten, welche mit der Gebirgsbildung der Alpen in keinem Zusammenhang stehen, wie dies etwa im kaledonischen Gebirge Norwegens oder im variszischen Gebirge der Böhmisches Masse der Fall ist.

4.2. Den „alpinen Kluffmineralien“ analoge Vorkommen

Beobachtungen beweisen, daß die sogen. „alpinen Kluffmineralien“ nicht nur in bestimmten, von der alpidischen Metamorphose erfaßten Gesteinsformationen des Alpenraumes, sondern auch in Klüften von anderen Metamorphiten auftreten. Es handelt sich dabei um analoge Mineralisationen, deren Verbreitungsbereich, abgesehen von wenigen Vorkommen in den Südalpen, vorwiegend in alpinotypen Gebirgen der Erde, z.B. im Nordural, im Kaukasus, im Himalaya (Hindukusch, Karakorum), in den Rocky Mountains, aber auch in nicht alpinotypen Gebirgskörpern, wie z.B. im kaledonischen Gebirge Norwegens oder im Variszikum der Böhmisches Masse Österreichs und der Tschechoslowakei liegt.

Von den zahlreichen Nachweisen für derartige Vorkommen wird im folgenden nur eine repräsentative Auswahl angeführt:

- KASCHKAI (1960) beschreibt Kluffmineralisationen in kristallinen Gesteinen des Kaukasus.
- KOLLER et al. (1978) beschreiben Kluffmineralisationen im variszischen Kristallin der Böhmisches Masse Österreichs (sie bezeichnen sie als „alpinotyp“).
- EXEL (1980) nennt Kluffmineralisationen im Cima D'Asta-Massiv (Kristallin der Südalpen).
- ZEBEC & SOUFEK (1986) beschreiben eingehend die wegen schöner Hylophankristalle berühmt gewordenen Kluffmineralisationen in paläozoischen Kristallin-gesteinsserein von Busovaca im dinarischen Gebirge Jugoslawiens und nennen sie alpinotyp.
- WEERTH (1988) weist im Zusammenhang mit der Beschreibung von Mineralvorkommen im Hindukusch

und Karakorum (Pakistan) auch auf Vorkommen von alpinen Klüften mit Epidot, Apatit, Calcit, Amianth und Sphen in der Gegend von Skardu hin.

- GARMO (1989) beschreibt Kluffmineralisationen mit Anatas usw. im Kristallin des kaledonischen Gebirges von Norwegen.

Aufgrund bisheriger Kenntnisse über diese Minerallagerstätten (sie treten in Klüften auf; ihre Paragenesen sind stets vom Stoffbestand des Nebengesteins abhängig; vom Erscheinungsbild her ist die kristallmorphologische Ausbildung ihrer Mineralien den in den Alpen bekannten Kluffmineralisationen verblüffend ähnlich, oft identisch) muß angenommen werden, daß in allen Fällen dieselben Bildungsbedingungen wirksam waren. Bezugnehmend auf Kluffmineralisationen in der Böhmisches Masse, haben auf diesen Sachverhalt schon WENINGER (1974) und KOLLER et al. (1978) (vgl. 3.1.) hingewiesen, doch ergibt sich daraus noch ein weiteres, bisher nicht beachtetes Faktum. Es zeigt sich nämlich, daß die den „alpinen Kluffmineralien“ zugrunde liegenden Bildungsbedingungen nicht nur, wie NIGGLI et al. (1940) postulierten, an die alpidische Tektonik und Metamorphose gebunden sind, sondern offensichtlich auch schon in voralpidischer Zeit wirksam werden konnten, wie Beispiele im Variszikum der Böhmisches Masse und in den Kaledoniden Norwegens zeigen. Diese Möglichkeit entspricht übrigens dem Aktualitätsprinzip und, da sich wohl die meisten Erdwissenschaftler darüber einig sind, daß die eben genannten Formationen von keiner alpidischen Metamorphose überprägt wurden, können diese Bildungsbedingungen konsequenterweise nur der variszischen bzw. der kaledonischen Tektonik und Metamorphose zugeschrieben werden; es sei denn, man fände bislang unbekannte Zusammenhänge zwischen tektonischen und mineralbildenden Vorgängen in alten, kristallinen Gebirgen und der alpidischen Gebirgsbildung mit ihrer Metamorphose.

Es ist übrigens nicht verständlich, weshalb eine Reihe schon lange bekannter, der Lagerungsart und dem Erscheinungsbild nach den Paragenesen der sogen. „alpinen Kluffmineralien“ entsprechender Vorkommen nicht auch als solche angesehen wurden. So z. B. das von LEAVINS & THOMSEN (1977) beschriebene und wegen seiner hervorragenden Kristalle von Epidot weltberühmte Green Monster Deposit, Prince of Wales Island/Alaska, oder die in Klüften von Serpentinegesteinen auftretenden Paragenesen mit Andradit, Vesuvian, Diopside, usw. von Asbestos/Canada (GRICE & WILLIAMS, 1979).

5. Neudefinition

Wie aus den vorangegangenen Ausführungen, insbesondere aus den Punkten 4., 4.1. und 4.2. hervorgeht, sind die herkömmlichen Begriffe „alpine Kluff“ und „alpine Kluffmineralien“ nicht geeignet, um Minerallagerstätten in Klüften metamorpher Gesteine zweifelsfrei zu bezeichnen. Da zudem die von NIGGLI et al. (1940) für diese Minerallagerstätten gegebene Definition im Widerspruch zu vielen derartigen Vorkommen steht, wird hier die Neudefinition dieser Minerallagerstätten vorgenommen und dazu ein entsprechendes Begriffssystem vorgestellt. Dieses wurde aufgrund von charakteristischen genetischen Merkmalen von Minerallagerstätten

in Klüften von Metamorphiten erstellt. Es bezeichnet die metamorphen Trägergesteine der Klüfte und nennt die in den Klüften auftretenden charakteristischen Mineralien (siehe Tab. 2). Es wurde aufgrund folgender Fakten und Überlegungen erarbeitet:

- 1) Die zur Diskussion stehenden Minerallagerstätten treten ausschließlich in Klüften von metamorphen Gesteinen auf.
- 2) Diese Minerallagerstätten entstanden generell nach den unter Punkt 3.1. und 3.2. erläuterten Bildungsbedingungen.
- 3) Die Mineralführung dieser Lagerstätten weist stets enge Beziehungen zum Nebengestein auf, d. h. der Chemismus des Gesamtmineralbestandes einer Kluft entspricht generell dem Gesamtchemismus des jeweiligen Neben- oder Muttergesteins.
- 4) Für diese Minerallagerstätten besteht kein Grund, sie nach dem Alter der Kluftbildung und/oder nach dem Alter der Metamorphose von der ihre Trägergesteine betroffen sind, zu definieren und ihre Entstehung im Sinne von NIGGLI et al. (1940) ausschließlich von alpidischer Tektonik und Metamorphose abhängig zu machen.
- 5) Minerallagerstätten in Klüften von Metamorphiten treten nicht nur im Alpenraum auf, sondern sind aus vielen anderen Vorkommen weit außerhalb des Alpenraumes bekannt (vgl. 4.2.), womit kein zwingender Anlaß vorliegt, sie als „alpine“ oder als „alpino-type Kluftmineralien“ zu bezeichnen.
- 6) Für die Definition von Minerallagerstätten in Klüften sind genetische Merkmale weitaus signifikanter als geographische Verbreitungsgebiete.

Das vorliegende Begriffssystem baut vor allem auf der Arbeit von KOENIGSBERGER (1940) auf, der erkannte, daß die Paragenesen von Mineralien in Klüften vom jeweiligen Nebengestein abhängig sind und dazu bemerkt (l. c. S. 312):

„ ... Deshalb liegt es nahe, die speziell lagerstättenkundliche Beschreibung nach dem Muttergestein zu ordnen ... ”

Anhand umfangreicher Daten über Mineralparagenesen in Klüften von Metamorphiten der Schweiz nahm KOENIGSBERGER eine statistische Auswertung über die Häufigkeit einzelner Spezies von Kluftmineralien vor und stellte auf diese Weise über hundert paragenetische Typen auf, die er in Beziehung zu ihren Nebengesteinen setzte, von denen er 28 Typen unterschied. Diese Darstellung von Kluftmineralisationen ist mit vielen Details überladen und daher unübersichtlich. Weil zudem der Begriff „alpine Kluftmineralien“ schon im allgemeinen Sprachgebrauch eingebürgert war, wurden KOENIGSBERGERS paragenetische Typen in der Folge nicht für die Bezeichnung von Kluftmineralisationen in Betracht gezogen. Sie wurden nur gelegentlich als Konzept für vereinfachte Darstellungen verwendet und z. B. in modifizierter und reduzierter Form von PARKER (1954) präsentiert. In nochmals reduzierter, aber immer noch aussagekräftiger Form gab dann WEIBEL (1973) erneut eine Übersicht über (l. c.) „Die Paragenesen der wichtigsten alpinen Zerrklüftmineralien“ der Schweiz und teilte sie in sechs Kategorien von Träger- oder Nebengesteinen ein. Eine ganz ähnliche Übersicht brachte schließlich NIEDERMAYR (1980) für die Kluftmineralisationen in Metamorphiten der Ostalpen (Österreich), wobei dieser Autor nur fünf Kategorien von Nebengesteinen unterschied.

Für die Konzeption des vorliegenden Systems lag es nahe, zunächst einmal die erwähnten, repräsentativen Übersichtstabellen von WEIBEL (1973) und NIEDERMAYR (1980) miteinander zu vergleichen und sie aufeinander abzustimmen (auf sechs Kategorien von Nebengesteinen). Dabei ergab sich, was schon vermutet werden konnte, nämlich eine grundsätzliche Übereinstimmung der wesentlichsten, in Metamorphiten der West- und Ostalpen auftretenden Spezies von Kluftmineralien. Es lag darüberhinaus nun aber auch ein repräsentatives Bild über den Mineralbestand in Klüften von Metamorphiten des Alpenraumes vor, so daß nun weiters der Vergleich mit analogen Mineralisationen außerhalb des Alpenraumes vollzogen werden konnte. Auch dabei zeigte sich ganz deutlich, daß der Mineralbestand prinzipiell dem aus Metamorphiten der Alpen bekannten entspricht. Somit können weltweit alle bisher bekannten Mineralisationen aus Klüften von Metamorphiten auf spezifische Trägergesteinskategorien bezogen und zur Darstellung gebracht werden.

Dies geschieht hier durch die Aufstellung von sechs Klassen von Metamorphiten, welche jeweils wichtige Lithotypen umfassen, die als Trägergesteine für Kluftmineralisationen in Frage kommen (siehe Tab. 2, Spalten 1 und 2). In der dritten Spalte von Tab. 2 sind für alle sechs Klassen von Trägergesteinen die charakteristischen Kluftmineralien angegeben, die aus den bisher bekannten Sammelparagenesen abgeleitet wurden. Es sind dies die wesentlichsten Mineralarten, aus denen sich die verschiedenen Mineralparagenesen in Klüften metamorpher Gesteine zusammensetzen. Dazu sei bemerkt, daß damit also nicht die gesteinsbildenden Mineralien im Nebengestein gemeint sind, sondern nur jene Mineralarten, welche sich in den Klüften aus hydrothermalen Lösungen absetzen, und die zuweilen in Form schön ausgebildeter Kristalle erscheinen (auch die nach Abschluß der Kluftmineralisierung durch den Verwitterungskreislauf bedingten Mineralbildungen, wie etwa Limonit, gehören nicht dazu). Um auf weitere Eigenschaften der charakteristischen Mineralien hinweisen zu können, wurden sie untergliedert, und zwar nicht wie von WEIBEL (1973) und von NIEDERMAYR (1980) in zwei Gruppen (der erste Autor unterschied „Durchläufer“ und „Leitmineralien“, letzterer „Durchläufermineralien“ und „charakteristische Mineralien“), sondern in drei Gruppen, weil damit eine repräsentativere Übersicht erreicht werden kann. Bei der Bezeichnung dieser drei Gruppen als „persistente“, „typomorphe“ und „akzessorische“ Mineralien wurden die von SCHNEIDERHÖHN (1940) angegebenen Begriffe verwendet, da sie international geläufiger sind als die entsprechenden deutschen Ausdrücke. Hierzu einige Erläuterungen:

○ **Persistente Mineralien**

Es handelt sich dabei um solche, die in Kluftmineralisationen am häufigsten auftreten. Nicht selten stellen lediglich einzelne dieser Mineralien, manchmal aber auch nur sie alle zusammen, die gesamte Paragenese einer Kluft dar. Aufgrund ihres – man könnte sagen – steten Vorhandenseins in Klüften sehr unterschiedlicher Gesteinstypen, werden diese Mineralien in der deutschen Literatur oft auch als Durchläufer bezeichnet.

○ **Typomorphe Mineralien**

Man versteht darunter jene Mineralien, welche in Klüften allgemein weit weniger häufig als die persistenten Mineralien vorkommen, die aber für das Er-

Tabelle 2.

Klassifizierungsschema für Klüftmineralisationen vom Typ M.

Be-Min. = Beryllium-Mineralien; REE-Min. = Mineralien mit Seltenerd-Elementen (Rare Earth Elements); TiO₂-Mod. = Titandioxid-Modifikationen.

Klasse	Trägergesteine	Charakteristische Mineralien		
		Persistente Min.	Typomorphe Min.	Akzessorische Mineralien
1	Meta-Granite Meta-Pegmatite Meta-Aplite Gneise	Quarz Feldspat: Adular Albit Chlorit Calcit	Apatit (Fluorapatit) Fluorit Hämatit Muskovit Zeolithe, z.B. Desmin Chabasit	REE-Min., z. B.: Monazit Synchisit Aeschynit-Y Be-Min., z. B.: Milarit Phenakit TiO ₂ -Mod.: Rutil Anatas Brookit Titanit
2	Metamorphite mit Hornblendegehalt: Amphibolite Meta-Granodiorite Meta-Tonalite Meta-Syenite Eklogite	Quarz Feldspat: Adular Albit Chlorit Calcit	Amianth Epidot Apatit (Fluorapatit) Titanit Scheelit Prehnit Be-Min., z.B. Bavenit Gadolinit Bertrandit Milarit Phenakit Zeolithe, z.B. Desmin Chabasit Heulandit	Axinit Turmalin Datolith Apophyllit REE-Min., z. B.: Monazit Xenotim Aeschynit-Y Erzmin., z. B.: Bornit Galenit ged. Gold Pyrit
3	Glimmerschiefer Sericit-Gneis "Schiefer-Gneis"	Quarz Feldspat: Adular Albit Chlorit Calcit	Anatas Rutil Brookit Hämatit Be-Mineralien Monazit Scheelit	Apatit Pyrit Siderit
4	Kalksilikatgest. Ultramafite	Chlorit Calcit	Diopsid Amianth Epidot Andradit Vesuvian Magnetit Ilmenit Perowskit	Apatit Titanit Skapolith
5	Serpentine	Chlorit Antigorit Magnetit	Talk Brucit Magnesit Dolomit Apatit	ged. Kupfer Chromit Nickel-Sulfide Pyroaurit Artinit
6	Kalk- und Dolomit-Marmore	Calcit Dolomit Quarz	Fluorit Phlogopit	Rutil Turmalin

scheinungsbild einer Paragenese, und damit ihrer Zuordnung zu einem bestimmten Trägergestein mitunter ausschlaggebend sind. Dies vor allem in Hinsicht auf ihren Chemismus, der sich ja aus dem umgebenden Nebengestein herleiten läßt, bzw. umgekehrt Rückschlüsse auf die Qualität des Trägergesteins zuläßt. Man bezeichnet diese Gruppe von Mineralien gewöhnlich auch als Leitminerale oder als Hauptminerale (NIGGLI et al., 1940), da sie bevorzugt in gewissen Lithotypen erscheinen.

○ Akzessorische Mineralien

Diese Gruppe umfaßt Mineralien, welche selten, ja mitunter extrem selten in Klufftmineralparagenesen vertreten sind, die aber dennoch den Charakter ihres Trägergesteins kennzeichnen. So sind beispielsweise Mineralien mit Gehalten an Seltenen Erden, wie Monazit, Synchisit oder Aeschynit hauptsächlich an pegmatoide Lithotypen gebunden.

Die „charakteristischen Mineralien“ werden kaum jemals alle zusammen in einer Paragenese auftreten. Vielmehr sind darin nur einzelne, manchmal auch mehrere persistente Mineralien, fallweise eines oder mehrere der typomorphen Mineralien und wenn überhaupt, dann nur sehr selten, einzelne der genannten akzessorischen Mineralien enthalten.

Endlich sei bemerkt, daß mit dem Klassifizierungsschema der Tab. 2 natürlich nicht alle kleinsten Details zum Ausdruck gebracht werden können und es in manchen Fällen vielleicht schwierig ist, die Zuordnung einer Paragenese zu einer bestimmten Klasse vorzunehmen. Dieses Manko könnte durch eine Verfeinerung der Klassifizierung aufgehoben werden, die dann allerdings an Übersichtlichkeit verlieren würde.

6. Schlußbemerkungen

- ① Für eine weltweit sehr verbreitete Art von Minerallagerstätten, nämlich von solchen, die in Klüften auftreten und weitgehend frei von Erzminerale sind, fehlte bislang ein einheitliches Begriffssystem.
- ② Die Bildung der gegenständlichen Minerallagerstätten ist offensichtlich in allen geologischen Zeiträumen möglich und nicht an einen bestimmten Orogenzyklus gebunden. Das Aufreißen von Klüften infolge tektonischer Bewegungen und die Ausscheidung der Mineralphasen aus niedrig- bis mittelthermalen Lösungen in den Klüften kann – muß aber nicht – in ursächlichem Zusammenhang stehen.
- ③ Hier wird gezeigt, daß sich diese Minerallagerstätten am besten nach genetischen Merkmalen charakterisieren lassen und aufgrund dieser in zwei Typen und diverse Klassen eingeteilt werden können.
- ④ Klufftmineralisationen vom Typ M sind an metamorphe Gesteine gebunden und wurden in sechs Klassen untergliedert. Das Mineralieninventar dieses Lagerstättentyps ist vorwiegend silikatischer Natur. Diese Lagerstätten entsprechen den bisher in der Literatur sogenannten „alpinen“ bzw. „alpinotypen“ Klufftminerale bzw. Klüften. Es wurde dokumentiert, daß die erwähnten Begriffe doppelsinnig sind, daher oft falsch interpretiert wurden und grundsätzlich nicht für wissenschaftliche Aussagen geeignet sind.

- ⑤ Klufftmineralisationen vom Typ N sind an nicht metamorphe Gesteine gebunden. Sie wurden hier nicht weiter im Detail behandelt. Dies soll in einer späteren Arbeit erfolgen.

Dank

Für Diskussionen und Anregungen zum Manuskript danke ich folgenden Herren: Dr. J. HELLERSCHMIDT-ALBER (Geologische Bundesanstalt Wien); Dr. G. NIEDERMAYR (Naturhistorisches Museum Wien); E.-D. ROTT, Wien; Herrn Univ.-Doz. Dr. R. DALLINGER, Innsbruck.

Literatur

- BRINKMANN, R. (1972): Lehrbuch der Allgemeinen Geologie. – Zweiter Band, Stuttgart (Enke-Verlag).
- EXEL, R. (1980): Die Mineralien Tirols, Bd. 1: Südtirol und Trentino. – Bozen (Athesia).
- EXEL, R. (1982): Die Mineralien Tirols, Bd. 2: Nordtirol, Vorarlberg, Osttirol. – Bozen (Athesia), Innsbruck (Tyrolia).
- EXEL, R. (1984): Ein gangförmiges Fluoritvorkommen in der Zentralgneiszone des westlichen Tauernfensters (Zillertaler Alpen/Tirol). – Archiv f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., 5, 29–33, Wien.
- EXNER, Ch. (1957): Erläuterungen zur Geologischen Karte der Umgebung von Gastein. – Wien (Geol. B.-A.).
- FRANK et al. (1978): Eastern Alps – Metamorphic map of the Alps 1 : 1,000,000; Explanatory text. – Subcomm. Cartogr. Metam. Belts of the World, 228–242, Leiden – Paris (UNESCO).
- 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, 15. Sdh., 30–50, Heidelberg.
- FREY et al. (1974): Alpine Metamorphism of the Alps – A Review. – Schweiz. Min. Petr. Mitt., 54/2–3, 247–290, Zürich.
- FRIEDRICHSEN, H. & MORTEANI, G. (1979): Oxygen and Hydrogen Isotope Studies on Minerals from Alpine fissures and their Gneissic Host Rocks, Western Tauern Window (Austria). – Contrib. Mineral. Petrol., 70, 149–152.
- GARMO, T. (1989): Anatas aus Norwegen. – Lapis, 14/9, 17–19, München.
- GRAMACCIOLI, C. M. (1975): Minerali alpini e prealpini. – Vol. 1 und 2, 1st. It., Edizioni Atlas, Bergamo; Deutsche Ausgabe (1976): Die Mineralien der Alpen.
- GRICE, J. D. & WILLIAMS, R. (1979): The Jeffrey mine. – Mineralogical Record, 10, 69–80, Tucson/U. S. A.
- KASCHKAI, M. A. (1960): On the Alpine-type veins of the Caucasus. – Curs. Conf. Inst. „Lucas Mallada“, C. S. I. C. (Espana), Fasc. VII, 77–81.
- KOENIGSBERGER, J. (1940): Die Mineralien der Schweizeralpen, Teil II. – Basel (Wepf & Co.).
- KOLLER, F., NEUMAYR, R. & NIEDERMAYR, G. (1978): „Alpine Klüfte“ im Kristallin der Böhmisches Masse. – Der Aufschluß, 29, 373–378, Heidelberg.
- KOLLER, F. & NIEDERMAYR, G. (1978): Die Mineralvorkommen der Diorite des nördlichen Waldviertels. – Annalen Naturhist. Mus. Wien, 82, 193–207.
- LEAVINS, P. B. & THOMSEN, R. W. (1977): Prince of Wales Island, Alaska. – Mineralogical Record, 8, 4–12, Tucson/U. S. A.
- LEITMEIER, H. (1950): Über die Entstehung der Klufftminerale in den Hohen Tauern. – Tschemm. Min. Petr. Mitt., 3, F. 1, 390–413, Wien.

- MEIXNER, H. (1981): Alpine Kluffminerale. – Ergänztter Wiederabdruck aus: Fortschr. Min., Beih. 2, 17–19, (Stuttgart). In: der Karinthin, F. 85, 296–299, Klagenfurt.
- MURAWSKI, H. (1963): Geologisches Wörterbuch. – 5. Aufl., Stuttgart (Enke).
- NIEDERMAYR, G. (1980): Ostalpine Kluffmineralisationen und ihre Beziehungen zur alpidischen Metamorphose. – Ann. Naturhist. Mus. Wien, 83, 399–416, Wien.
- NIGGLI, P., KOENIGSBERGER, J. & PARKER, R. L. (1940): Die Mineralien der Schweizeralpen. – 2 Bände, Basel (Wepf & Co.).
- PARKER, R. L. (1954): Die Mineralfunde der Schweizer Alpen. – Basel.
- PARKER, R. L. (1963): Betrachtungen über die Morphologie alpiner Quarze. – Der Aufschluß, 141–156, Heidelberg.
- RYKART, R. (1976): Alpine Amethyste mit s-Flächen (1121). – Schweizer Strahler, 10/4, Nr. 3.
- RYKART, R. (1984): Zum Quarzwachstum in einer zentralalpiner Kluff. – Schweizer Strahler, vol. 6, 417–421.
- RYKART, R. (1989): Quarz-Monographie. – Thun (Ott Verlag).
- SCHNEIDERHÖHN, H. (1940): Lehrbuch der Erzlagerstättenkunde, 1. Band. – Jena (Gustav Fischer).
- STALDER, H. A., DE QUERVAIN, F., NIGGLI, E. & GRAESER, S. (1973): Die Mineralfunde der Schweiz. – Neubearbeitung des gleichnamigen Werkes von PARKER (1954), Basel (Wepf & Co.).
- WEERTH, A. (1988): Edelsteinvorkommen im Schatten der Achttausender – Beschreibung der Mineralvorkommen im Norden Pakistans. – Lapis, 13/10, 11–28, München.
- WEIBEL, M. (1973): Die Mineralien der Schweiz. – 4. Aufl., Basel – Stuttgart (Birkhäuser Verlag).
- WEINSCHENK, E. (1896): Die Mineralvorkommen des Groß-Venedigerstockes in den Hohen Tauern. – Zs. Krist., 26, 337–508.
- WENINGER, H. (1974): Die alpinen Kluffminerale der österreichischen Ostalpen. – Der Aufschluß, 25. Sonderschrift, 169 S., VFMG Heidelberg.
- ZEBEC, V. & SOEFEK, M. (1986): Hyalophan von Busovaca, Jugoslawien. – Lapis, 11/1, 28–31, München.
- Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 10. Oktober 1990.