

# **Einschlüsse in Mineralen-eine Mikrowelt, die Aussagen zur Mineralentstehung ermöglicht**

von Michael A. Götzinger, Wien

Vortrag gehalten am 17. April 1991

## **Was sind Einschlüsse?**

Einschlüsse sind abgeschlossene und stofflich selbständige Gase, Flüssigkeiten, Festkörper in Kristallen, die während deren Entstehung und/oder nachfolgender Prozesse eingeschlossen wurden und Phasengrenzen gegen den Wirtkristall besitzen (nach Leeder et al., 1987). Da man aus der Einschlußuntersuchung auf die Bildungsbedingungen des Wirtkristalls rückschließen will, müssen untersuchbare Einschlüsse einerseits chemisch nicht verändert worden sein und andererseits dicht und volumenkonstant geblieben sein. Vor etwa 30 Jahren (und auch schon früher) tobte ein Streit um die Dichtheit der Einschlüsse, inzwischen weiß man, daß viele Einschlüsse tatsächlich dicht geblieben sind. In einigen

Fällen (besonders in Gesteinen hoher Bildungsbedingungen) hat man jedoch untrügliche Hinweise (verheilte Dekrepitationsspuren), daß dies nicht der Fall war. Wesentlich ist bei dieser Untersuchungsmethode die genaue Beobachtung unter dem Mikroskop. Einschlüsse (häufig auch mit dem Sammelbegriff "fluid inclusions" bezeichnet) sind mitunter mit freiem Auge erkennbar, häufiger sind nur "Einschlußfahnen", viele an gekrümmten Flächen im Kristall angeordnete Einschlüsse, erkennbar. Meist sind Einschlüsse nur zwischen  $1/10$  mm und  $1/1000$  mm klein, häufig auch noch kleiner.

### **Seit wann sind Einschlüsse bekannt?**

Im 4. Jhd. n. Chr. beschrieb Claudian, ein Zeitgenosse des Hl. Augustinus, "de crystallo, cui aqua inerat" (über den Kristall, in dem Wasser drinnen war). Daraus läßt sich zweifelsfrei ableiten, daß Claudian einen Kristall geöffnet (zerbrochen) und damit eine Flüssigkeit (Wasser, wäßrige Lösung) freigesetzt hat, die er vorher im Kristall (Bergkristall, Steinsalz?) gesehen hat.

1672 beschreibt Robert Boyle sichtbare Libellen (Gasblasen) in Quarz, nachdem er zehn Jahre vorher die Beobachtung gemacht hatte, daß das Produkt aus Druck  $\times$  Volumen konstant bei bestimmter Temperatur ist ( $p \cdot v = \text{const.}$ ). E. Mariotte hat 1679 die Versuche wiederholt und bestätigt (daher ist dieses Gesetz nach Boyle und Mariotte benannt). 1802 beschreibt J. L. Gay-Lussac das Verhalten der permanenten (idealen) Gase, die sich im Bereich von  $0-100^{\circ}\text{C}$  unter konstan-

tem Druck um den Wert  $\alpha$  ( $=1/273,2$ ) pro Grad ausdehnen;  $v=v_0(1+\alpha \cdot t)$ , wobei  $v_0$  das spezifische Volumen bei  $0^\circ\text{C}$  ist. 1811 stellt Amedeo Avogadro fest, daß alle Gase bei gleichem Druck und gleicher Temperatur in gleichem Volumen die gleiche Anzahl von Molekülen enthalten. Die Anzahl der Atome in einem Grammatom oder die Anzahl der Moleküle in einem Mol beträgt:  $N = 6,0227 \cdot 10^{23}$  (Avogadro- oder Loschmidtsche Zahl). Diese Angaben sind von besonderer Wichtigkeit, weil darauf u. a. die Berechnungen der Bildungsbedingungen von Einschlüssen (und ihrer Wirtminerale) beruhen. 1822 gibt Sir Humphrey Davy chemische Zusammensetzungen von Einschlüssen an und 1826 gelingt Sir David Brewster die Unterscheidung verschiedener unmischbarer Flüssigkeiten in Einschlüssen ( $\text{H}_2\text{O}$  und  $\text{CO}_2$ ).

1858 publiziert H. C. Sorby die grundlegende Arbeit über Einschlüsse als Thermometer: "On the microscopic structure of crystals, indicating the origin of minerals and rocks" (Geol. Soc. London, 14, 453-500), und beschreibt darin eine Fülle von Einschlüssen und ihre Inhaltsstoffe. Sorby gilt als "Vater" der Einschlußforschung. 1876 stellt J. W. Gibbs die Phasenregel auf; die Anzahl der Phasen und Freiheitsgrade ist gleich der Anzahl der Komponenten + 2 (Kurzform:  $P + F = K + 2$ ). Diese Regel ist vergleichbar der Euler'schen Regel, die besagt, die Anzahl der Flächen und Ecken ist gleich der Anzahl der Kanten + 2 (an Polyedern; z.B. am Würfel:  $6+8=12+2$ ). R. Scharitzer (1920 in Graz) und R. Nacken (1921 in Greifswald) veröffentlichten theore-

tische Arbeiten an  $H_2O$  -  $CO_2$  - Einschlüssen. In den Jahren zwischen den beiden Weltkriegen begannen einige russische Autoren (unter ihnen besonders G. Lemmlejn) mit intensiven Untersuchungen an Einschlüssen; diese Arbeiten waren im Westen lange Zeit kaum bekannt. Diese Schulen blieben erhalten und der Wissensaustausch ist heute nahezu problemlos geworden. Erst 1948 wurde im Westen die Dekrepitationsmethode beschrieben (Scott, 1948), die sich mit dem künstlichen Aufplatzen (Dekrepitation) von Einschlüssen bei Temperaturerhöhung befaßt. 1950 wurden die p-v-T-Beziehungen des Wassers (Kennedy, 1950) und 1954 die von  $CO_2$  (Kennedy, 1954) veröffentlicht, sowie 1963 das System  $CO_2$  -  $H_2O$  bis zu Drucken von 3500 bar (Tödheide, 1963; Tödheide & Franck, 1963). Seither wurden viele weitere Systeme, auch Salz-Wasser Gemische bzw. Lösungen, Systeme mit Methan u.a.m. erforscht, viele davon und eine Unzahl an Beobachtungen gibt Roedder (1984) in seiner Monographie "fluid inclusions".

**Welche physikalischen Größen sind von Interesse?**  
Das Hauptinteresse gilt den Bildungsbedingungen (Temperatur und Druck; T,p) der Einschlüsse und damit diesem Bereich des Wirtminerals. Die Bildungsdichte des Einschlusses ( $\rho$ ) ist berechenbar aus Masse/Volumen der Cavität (=Einschlußhohlraum):  $\rho = m/v_c$ . Das Produkt aus der Dichte (bei 22°C und 1atm) und dem Volumen der Flüssigkeit (+ etwaiger Tochterkristalle) ergibt die Masse des Einschlusses ( $m = \rho_{\sigma} \cdot v_L$ ). Weiters

von Interesse und teilweise meßbar (oder auch abschätzbar) sind die Füllungsgrade im Einschluß, d.h. die Volumensverhältnisse zwischen Flüssig- und Gasphasen. Ganz wesentlich sind Untersuchungen über die (Salz) Konzentration der Einschlußlösungen, die mittels der Kryometrie (Abkühlen und langsames Auftauen der Einschlüsse) erfolgen. Aus all diesen Parametern und umfangreicher Benutzung von System-Diagrammen lassen sich Aussagen über die Bildungsbedingungen ableiten, wobei spezielle Heiz- und Kühltische (auf Mikroskopen montiert) verwendet werden (siehe Shepherd et al., 1985).

### **Form und Füllung von Einschlüssen (Einschlußtypen)**

In der Abb. 1 sind schematisch die Einschlußtypen am Beispiel eines Fluoritkristalls dargestellt. Primäre Einschlüsse (1) entstanden während der ersten Wachstumsperiode des Kristalls; sie treten meist vereinzelt auf und sind oft etwas größer als die anderen Typen. Als pseudosekundäre Einschlüsse (2) werden solche bezeichnet, die in ihrer Anlage den sekundären gleichen, in ihren Inhaltsstoffen jedoch eher den primären. Die Unterscheidung von primären Einschlüssen ist nicht immer einfach. Die sekundären Einschlüsse (3) sind meist späte Bildungen, die an Mikrorissen, die später wieder verheilten, entstanden sind. Das sind in der Regel die sogenannten Einschlußfahnen, die häufig in Bergkristallen, Fluoriten und anderen durchsichtigen Mineralen oft schon mit freiem Auge beobachtbar sind.

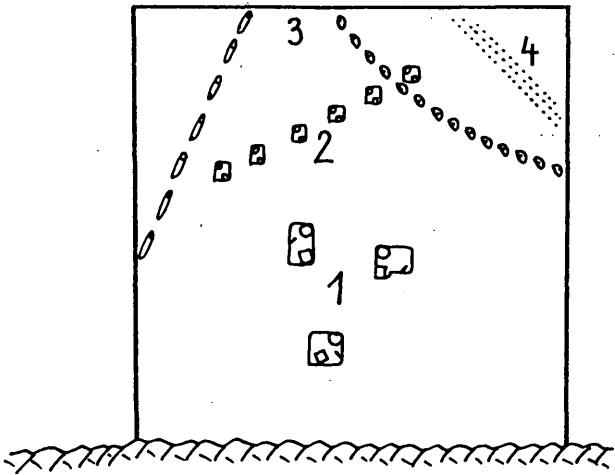


Abb. 1: Schematische Darstellung von Einschlusstypen (Beispiel Fluorit):

- 1) Primäre Einschlüsse mit 2 Tochterkristallen (NaCl, Gips), einer Gasblase und wässriger Lösung;
- 2) Pseudosekundäre Einschlüsse mit 1 Tochterkristall (NaCl), einer Gasblase und wässriger Lösung;
- 3) Sekundäre Einschlüsse (2 Populationen) mit Gasblase und Wasser bzw. wässriger Lösung;
- 4) Phantombildung durch Mikroeingüsse entlang einer Oktaederfläche.

Wenn Kristalle während einer Abkühlungsphase entstanden sind (was häufig in hydrothermalen Systemen der Fall ist), spiegeln die Einschlüsse von innen zum Rand des Kristalls die entsprechenden Bildungsbedingungen wider. Auch Phantombildungen (4) sind Einschlüsse (anderer Minerale), aus deren Paragenese ebenfalls Bildungsbedingungen ableitbar sind (z.B. Mullis, 1984). Die Abb. 2 zeigt einige typische Ein-

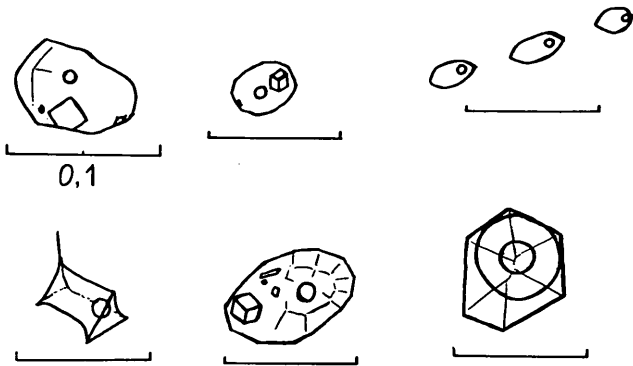


Abb.2: Beispiele von Flüssigkeitseinschlüssen in Mineralen (Fluorit, rechts unten in Quarz); Balken ohne Beschriftung entsprechen 0,05mm. Obere Reihe v.l.n.r.:

- a) Primärer Einschluß (ES) mit 2 Tochterkristallen ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCO}_3$ ), Gasblase und kleinem Körperchen organischer Substanz, konzentrierte  $\text{NaCl}$ -Lösung (Laussa-Platz/St. Gällen, Stmk.);
- b) Pseudosekundärer ES mit 1 Tochterkristall ( $\text{NaCl}$ ), Gasblase, Flüssigkeit und einem nicht identifizierbaren Partikel (Schlaggenwald, CSFR);
- c) Sekundäre ES in einer Reihe (Fläche) angeordnet, mit Gasblase und Flüssigkeit (Schlaggenwald, CSFR);

Untere Reihe v.l.n.r.:

- a) Primärer (?) ES mit Gasblase und Flüssigkeit, Cavität deformiert (Bad Gastein, Schwarze Wand/Sbg.);
- b) Primärer ES mit mehreren Tochterkristallen ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCO}_3$ , Gips ?), Gasblase, wäßriger Lösung und dunkler organischer Substanz in polyfacettierter Cavität (Gams bei Hieflau/Stmk.);
- c) Primärer Dreiphaseneinschluß in Quarz mit wäßriger Lösung (außen), dann flüssigem  $\text{CO}_2$  und Gasblase in der Mitte ( $\text{CO}_2$  +  $\text{H}_2\text{O}$ ), (Erzwiese W Bad Gastein), Blickrichtung // c-Achse des Bergkristalls.

schlußbilder unterschiedlicher Entstehungsbedingungen.

Folgende Inhaltsstoffe werden (häufig) in Einschlüssen beobachtet:

gasförmig:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{N}_2$ , flüchtige Kohlenwasserstoffe;

flüssig:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ , flüssige Kohlenwasserstoffe (Öltröpfchen);

fest: entweder sogenannte Tochterkristalle in den Cavitäten wie  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ , Fluoride, Karbonate (Calcit), Sulfate (Gips), Phosphate, Oxide, Sulfide, Silikate; diese sind aus der Lösung auskristallisiert. Oder es handelt sich um zufällig abgesunkene Feststoffe (detritär), die eingeschlossen worden sind, oder aber um Festkörper, die an ehemaligen Kristalloberflächen aufgewachsen sind und vom Wirtkristall umwachsen wurden (z.B. Rutil in Quarz).  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  wurde als neues Mineral bisher nur als Tochterkristall in Einschlüssen von Spodumen beschrieben. Weiters existieren auch einige Salzhydrate (z.B. Hydrohalit,  $\text{NaCl}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), die oft nur bei tiefen Temperaturen stabil sind.

Unter den gelösten Ionen sind wohl  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  und  $\text{Mg}^{2+}$ , sowie  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , und  $\text{CO}_3^{2-}$  die häufigsten. Die Konzentrationen können in Einschlüssen durch Lösungen und Tochterkristalle sehr hoch sein; in metastabilen Zuständen gibt es auch hypersalinare Lösungen mit Überkonzentrationen.



## **Welche Methoden stehen für die Einschlußuntersuchungen zur Verfügung?**

Prinzipiell können sowohl zerstörungsfreie als auch destruktive Methoden der Einschlußuntersuchungen unterschieden werden:

### **a) Zerstörungsfreie Methoden**

lichtoptisches Mikroskop (Untersuchung der Lage, Verteilung, Inhaltsstoffe, Einschlußtypen);

Ultraviolett-Fluoreszenz (besonders für organische Inhaltsstoffe);

Infrarot-Spektroskopie (für wasserreiche Einschlüsse, wäßrige Lösungen);

Raman-Spektroskopie (für CO<sub>2</sub>-reiche Einschlüsse eher geeignet);

Mikrothermometrie mit Heiz- und Kühltisch;

### **b) Destruktive Methoden**

Mikrothermometrie - Dekrepiationsmethode (passiert mitunter auch unabsichtlich!);

Massenspektrometrie (nach mechanischem oder thermischem Aufbrechen, für Gas- und Isotopenanalytik);

Laugungsmethode (crush and leach) mit anschließender chemisch-physikalischer Analytik (z.B. Atomabsorption);

Rasterelektronenmikroskop (REM) mit energiedispersiver Analytik (EDX) oder wellenlängendispersiver Analytik (WDX, etwa Mikrosonde), an offenen oder geschlossenen Einschlüssen!

Aus dieser Aufstellung möchte ich nur einige wesentliche Methoden genauer vorstellen, die anderen werden

in speziellen Handbüchern über Einschlußforschung beschrieben (z.B. Hollister & Crawford, 1981; Leeder et al., 1987; Roedder, 1984; Shepherd et al., 1985).

Die **Infrarot-Spektroskopie** ist eine Durchstrahlungsmethode, bei der IR-Strahlung mit Wellenlängen von etwa  $10^{-4}$  bis  $10^{-1}$  cm verwendet werden, der häufigst untersuchte Bereich liegt zwischen 2500 und 50.000 nm; in der Praxis wird oft die Wellenzahl angegeben, die genannten Werte entsprechen  $4000 - 200 \text{ cm}^{-1}$ . Die Umrechnung erfolgt nach folgender Formel:

$$\nu = [\text{cm}^{-1}] = 10.000/\lambda [\mu\text{m}]$$

In diesem Spektralbereich liegen die Rotations- und Schwingungsspektren der Moleküle. Beispielsweise ergeben sich beim Wassermolekül zwei Absorptionen, nämlich bei  $3400 \text{ cm}^{-1}$  bedingt durch die Streck-schwingung(en) der beiden Protonen (Wasserstoff) sowie bei  $1640 \text{ cm}^{-1}$  durch die Knickschwingung der beiden Protonen von- und zueinander. Gemessen werden Absorptionen, wobei die Lage im Spektrum auf die Qualität, die Intensität auf die Quantität der entsprechenden Moleküle Rückschlüsse erlaubt. Untersuchbar und detektierbar sind Gase (z.B.  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ), Flüssigkeiten (Wasser und wäßrige Lösungen, Kohlenwasserstoffe) sowie Festkörper mit Eigenabsorptionen. Die Anwendbarkeit auf Einschlüsse erlaubt die Erfassung von Salzkonzentrationen und die Quantifizierung des Wassergehaltes der Einschlüsse, wobei die Unterscheidung zwischen  $\text{H}_2\text{O}$  und Struktur - (OH) möglich ist (Götzinger, 1990).

Die **Mikrothermometrie mit Heiz- und Kühltisch** ist

die klassische ("konventionelle") Untersuchungsmethode für Einschlüsse in Mineralen. Dabei wird ein beidseitig poliertes Plättchen (etwa 0,5 mm dünn) des zu untersuchenden Minerals bestimmten Temperaturschwankungen ausgesetzt, wobei häufig zuerst mit flüssigem Stickstoff abgekühlt wird, bis der ausgesuchte Einschuß durchfriert und anschließend langsam erwärmt. Wesentlich ist dabei die Schmelztemperatur des bei Zimmertemperatur flüssigen Mediums. Dadurch sind Rückschlüsse auf die Art und Konzentration der wäßrigen Lösung möglich. Beim anschließenden Erhitzen versucht man die Homogenisationstemperatur zu erreichen, d.h. die Temperatur, bei der die Inhaltsstoffe des Einschlusses (Gas, Flüssigkeit, Feststoffe) nur noch einphasig vorliegen. Diese Homogenisierung kann sowohl in die Gasphase als auch in die Flüssigphase erfolgen, in Abhängigkeit von der Ausgangsdichte des Einschußinhaltes. Diese Homogenisierungstemperatur entspricht der minimal möglichen Bildungstemperatur. Wenn bei der Mineraleinschußbildung höherer Druck geherrscht hat, ergibt dies auch höhere Bildungstemperaturen (entsprechend der zutreffenden Isochoren = Linien gleicher Dichte im pT-Diagramm). Wichtig sind auch die Lösungstemperaturen der einzelnen Tochterkristalle. Nach der erreichten Homogenisierungstemperatur sollte nicht mehr weiter erhitzt werden, da der Einschuß bald darauf zerplatzt (dekrepitiert), wenn das Wirtmineral dem aufgebauten Innendruck nicht mehr standhalten kann (besonders bei Mineralen mit guter Spaltbarkeit).

Die Tabelle 1 ergibt einen Überblick über die (gut) untersuchten Systeme.

Das **Rasterelektronenmikroskop (REM) mit energie-dispersiver Analytik (EDX)** ermöglicht ein Sichtbarmachen von Einschlüßinhalten (Tochterkristalle, auskristallisierte Lösungen), morphologische Studien und die Analyse von Wirt- und Tochterkristallen. Aus den meßbaren Elementkombinationen (Fluor bis etwa Uran) können Rückschlüsse auf die enthaltenen Mineralphasen gemacht werden. Dabei ist erwähnenswert, daß durch das Arbeiten im Hochvakuum auch Phasen auskristallisieren, die unter Normalbedingungen (etwa aufgrund der Luftfeuchtigkeit) nicht haltbar sind (z.B.  $\text{CaCl}_2$ ). Ebenso ist eine fotografische oder drucktechnische Dokumentation dieser Vergrößerungen möglich.

Die Mineraleinschlüßforschung hat eine typisch interdisziplinäre Ausrichtung, da viele Teilaspekte unterschiedlicher Wissensgebiete mit einfließen: Physik und (Geo-)Chemie tragen die Grundlagen bei, die Mineralogie gibt Auskunft über die Minerale und Mineralparagenesen, Petrologie und Geologie geben die Stellung der Gesteine und Beziehung der geologischen Körper zueinander, die Lagerstättenkunde zeigt Anreicherungsmechanismen auf.

### **Welche Ergebnisse der Einschlüßforschung liegen vor?**

Vor etwa 20 Jahren setzte ein zuerst langsamer und in weiterer Folge immer stärkerer Aufschwung dieser

Methoden ein, einerseits in der Erforschung der chemisch-physikalischen Parameter von Systemen, andererseits in der praktischen Anwendung. Die Zahl der jährlich erscheinenden Artikel ist rasch im Steigen begriffen. Die Zentren der Einschlußforschung werden weltweit ausgebaut, immer mehr neue kommen hinzu. In vielen Ländern steht diese Richtung erst am Anfang und die Einsatzgebiete sind noch sehr groß. Abschließend sollen anhand von Beispielen einige Ergebnisse präsentiert werden:

1) Die Entstehung der Bergkristalle in den alpinen Klüften der Alpen wurde besonders von Schweizer Kollegen intensiv untersucht (Mullis, 1976, 1979; Poty et al., 1974). Relativ hohe Bildungsbedingungen von Bergkristallen wurden im St. Gotthard Massiv gefunden, wo die Temperaturen um  $500^{\circ}\text{C}$  und die Drucke zwischen 2,5 und 3 kbar lagen.  $\text{CO}_2$ -reiche Fluide mit einer durchschnittlichen Salinität von 7 Gew.% NaCl (äquivalent) werden in den Einschlüssen gefunden. Vergleichbare Ergebnisse wurden für Bergkristalle aus dem Aar- und Mont Blanc- Massiv erhalten.

Etwas niedrigere Bildungsbedingungen ergaben sich für Bergkristalle aus der Penninischen Zone, die Bildungstemperaturen lagen bei knapp  $450^{\circ}\text{C}$ , die Drucke bei 2 kbar, die Salinität bei etwa 4 Gew.% NaCl (äqu.).

2) Die Bildung der sogenannten Goldquarzgänge der Hohen Tauern in Österreich ist sicherlich mehrphasig abgelaufen. Die frühen Quarzgenerationen mit

Arsenkies, Pyrit und Gold sowie diejenigen mit Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies und Gold sind bei etwa 400°C und ca. 1000 bar (=1 kbar) entstanden; CO<sub>2</sub>-reiche Fluide mit Salinitäten zwischen 3 und 7 Gew.% NaCl (äqu.) waren die erzbringenden Lösungen (Belocky & Pohl, 1990). Die Quarze der Spätphase bildeten sich bei etwa 320 - 340°C, als Bildungsdrucke können etwa 350 bar angegeben werden, die Salinitäten sind schwankend zwischen 5 und 17 Gew.% NaCl (äqu.); auch hier liegen H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-reiche Fluide vor (Reden & Götzinger, 1991).

3) Ganz andere Aspekte ergaben sich beim Vergleich der Einschlußlösungen hinsichtlich Salinität und CO<sub>2</sub>-Gehalt: In einer Reihe von Lagerstätten der Ostalpen konnten zwei Fluidregime festgestellt werden (Belocky & Pohl, 1991). Quarze der Lagerstätten Kleinkogel/Semmering (Baryt), Schendlegg und Erzberg/Stmk. (Siderit), Mitterberg/Sbg. (Kupferkies) und Rabenwald/Stmk. (Talk) besitzen praktisch CO<sub>2</sub> freie Fluide mit erhöhten Salinitäten zwischen 7 und 22-Gew.% NaCl (äqu.); hingegen weisen die Flüssigkeitseinschlüsse folgender Lagerstätten in der Reihenfolge steigende CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf: Hüttenberg/Ktn. (Siderit), Gastein/Sbg. (Gold), Waldenstein/Ktn. (Hämatit), Kliening/Ktn. (Gold). Die Salinitäten sind hier durchwegs gering (unter 5 Gew.% NaCl/äqu.).

4) Hochsalinare Lösungen bewirkten den Transport und die Auskristallisation von Fluorit, Bleiglanz und Zink-

blende in Klüften der Gutensteiner Schichten, meist in unmittelbarer Nähe von Evaporiten (Gipsstöcke des Oberperm und des Anis/Mitteltrias). Alle diese Vorkommen liegen in Bereichen anchizonaler Überprägung. Dies wird auch durch die Homogenisationstemperaturen der Einschlüsse in Fluorit belegt: Diese liegen für die primären Einschlüsse bei 320°C (Mittelwert), für pseudosekundäre Einschlüsse bei 295°C und für sekundäre Einschlüsse zwischen 220 und 270°C (Götzinger, 1991). Die primäre Salinität liegt bei etwa 33 Gew. NaCl (äqu.) mit Anteilen von CaCl<sub>2</sub> und geringen Mengen KCl. Diese abklingenden Temperaturwerte spiegeln die Kristallisationsphase während der Abkühlung des Gesteins nach der anchizonalen Erwärmung wider. Aus C- und O-Isotopenuntersuchungen sowie aus geochemischen Befunden (u.a. Fluorgehalte der Gesteine und Seltenerdgehalte der Fluorite) kann geschlossen werden, daß diese Bildungen (Typvorkommen Laussa-Platzl/Stmk.) Mobilisationsprodukte aus der unmittelbaren Umgebung sind. Die Lösungen stammen aus den Evaporiten und aus den umgebenden Sedimenten, die Stoffsubstanz (Fluorit, Bleiglanz und Zinkblende) aus den bituminösen Gutensteiner Schichten. Es handelt sich dabei um eine intraformationale Lagerstättenbildung.

5) Abschließend seien noch einige Ergebnisse der Fluid Inclusion Forschung an Magnesit der Lagerstätte Radenthein/Ktn. erwähnt (Tufar et al., 1989). Diese sehr kleinen Einschlüsse enthalten ein H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-Fluid

mit mäßiger Salinität von 12-16 Gew.% NaCl (äqu.), wobei der Mg-Anteil überwiegt; an Anionen wurden Cl<sup>-</sup> und HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> festgestellt (Tufar, 1978). Die maximalen Homogenisationstemperaturen betragen 305°C. Die tatsächlichen Bildungstemperaturen liegen wahrscheinlich höher, da die Magnesitlagerstätte im Altkristallin des Mittelostalpins liegt, eingebettet in Granat-Glimmerschiefererien. Diese Gesteine liegen heute in retrograder Überprägung vor. Eine Magnesitentstehung in evaporitischen Becken wird vorgeschlagen, die metamorphe Überprägung mit Umkristallisation und Metasomatoseerscheinungen ist evident.

Tabelle 1:

Übersicht über die für die Einschlußforschung wichtigsten (gut) untersuchten Systeme

H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
	H <sub>2</sub> O - CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> - CH <sub>4</sub>
	H <sub>2</sub> O - CO <sub>2</sub> - CH <sub>4</sub>	
H <sub>2</sub> O - NaCl	H <sub>2</sub> O - NaCl - CH <sub>4</sub>	
H <sub>2</sub> O - NaCl - CO <sub>2</sub>		
H <sub>2</sub> O - KCl	H <sub>2</sub> O - NaCl - KCl	
H <sub>2</sub> O - CaCl <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O - NaCl - CaCl <sub>2</sub>	
H <sub>2</sub> O - H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> O - Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	



## Literatur

- Belocky, R. & Pohl, W., 1990: Fluide in alpinen metamorphogenen Erzlagerstätten. -Vortrag Fluid Info Treffen, Göttingen 27.-30.8.1990.
- Belocky R. & Pohl, W., 1991: Metamorphogenic mineral deposits in the Eastern Alps: Evidence from fluid inclusion and stable isotope studies.- Ann. Meeting IGCP Proj. 291, Zürich 21.-23.3.1991, S 3-4.
- Götzinger M.A., 1990: Determination of aqueous salt solutions in fluid inclusions by infrared investigations. - N. Jb. Miner. Mh. **1990/1**, 1-12.
- Götzinger, M.A., 1991: Die Fluoritmineralisationen an der Basis der Nördlichen Kalkalpen als Beispiele für intraformationale Lagerstättenbildung. - Berichte Deutsche Mineralog. Ges. (Beih. Eur. Journ. Miner.), **1**, **1991**, 95.
- Hollister, L.S. & Crawford, M.L., 1981: Short Course in Fluid Inclusions: Applications to Petrology.-Miner. Assoc. Canada, Calgary, May 1981, 304 S.
- Kennedy, G.C., 1950: Pressure-volume-temperature relations in water at elevated temperatures and pressures.- Amer. Journ. Sci., **248**, 540- 564.
- Kennedy, G.C., 1954: Pressure-volume-temperature relations in CO<sub>2</sub> at elevated temperatures and pressures. - Amer. Journ. Sci., **252**, 225-241.
- Leeder, O., Thomas, R., Klemm, W., 1987: Einschlüsse in Mineralen. - VEB Deutscher Verlag f. Grundstoffind., Leipzig 1987, 180 S.
- Mullis, J., 1976: Das Wachstumsmilieu der Quarzkristalle im Val d'Iliez (Wallis, Schweiz).- Schwei-

- zer Mineral. Petrogr. Mitt. **56**, 219-268.
- Mullis, J., 1979: The system methane-water as a geologic thermometer and barometer from the external part of the Central Alps.- Bull. Minér. **102**, 526-536.
- Mullis, J., 1984: Festkörper-, Flüssigkeits- und Gaseinschlüsse in Quarzkristallen der Schweizer Alpen als Zeugen der Entstehung alpiner Kluftmineralparagenesen. - Mitt. Öster. Miner. Ges. **129**, 46-53.
- Poty, B., Stalder, H.A., Weisbrod, A.M., 1974: Fluid inclusion studies in quartz from fissures of Western and Central Alps.- Schweizer Mineral. Petrogr. Mitt. **54**, 717-752
- Reden, G. & Götzinger, M.A., 1991: Fluid inclusions in vein mineralizations in the region of Badgstein, Rauris and Heiligenblut (Hohe Tauern/Austria).- Ann. Meeting IGCP Proj. 291, Zürich 21. - 23.3.1991, S 47-48.
- Roedder, E., 1984: Fluid Inclusions.- Rev. in Mineralogy, vol. 12, Miner. Soc. Amer., 1984, 644 S.
- Scott, H.S., 1948: The decrepitation method applied to minerals with fluid inclusions. - Econ. Geol. **43**, 637-654.
- Shepherd, T.J., Rankin, A.H., Alderton, D.H.M., 1985: A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies.- Blackie Glasgow and London 1984, 239 S.
- Tödheide, K., 1963: Das Zweiphasengebiet und die kritische Kurve im System Kohlendioxid-Wasser bis zu Drucken von 3500 bar.- Dissertation a.d. Georg August Univ. Göttingen, 54 S.
- Tödheide, K. & Franck, E.U., 1963: Das Zweiphasen-

gebiet und die kritische Kurve im System Kohlendioxid-Wasser bis zu Drücken von 3500 bar. – Zeitschr. Physik, Chemie, Neue Folge Frankfurt/M. **37**, 387-401.

Tufar, W., 1978: Flüssigkeitseinschlüsse in Baryten aus dem Grazer Paläozoikum (Steiermark) und in Magnesiten von Radenthein (Kärnten). - Joanneum, Min. Mitt. Bl. **1978**, 27-37 (589-599).

Tufar, W., Gieb, J., Schmidt, R., Möller, P., Pöhl, W., Riedler, H., Olsacher, A., 1989: Formation of magnesite in the Radenthein (Carinthia/Austria) type locality. - In: Magnesite - Geology, Mineralogy, Geochemistry, Formation of Mg-Carbonates, Ed. Möller, P.; Monograph Series on Mineral Deposits Nr. 28, Gebr. Bornträger Berlin 1989, 300 S.

Anschrift des Verfassers:

Ass. Prof. Dr. Michael A. Götzinger, Institut f. Mineralogie u. Kristallographie, Universität,  
Dr. Karl Lueger Ring 1, A-1010 Wien.