

**EINSCHLUSS-UNTERSUCHUNGEN MITTELS
RASTERELEKTRONENMIKROSKOPIE UND EDX-ANALYTIK**

von

Michael A. Götzing⁺

(eingelangt am 18. 3. 1994, angenommen am 31. 4. 1994)

Zusammenfassung

Die Rasterelektronen-Mikroskopie (REM) mit energiedispersiver Analytik (EDX) ist eine sehr nützliche Ergänzung zur herkömmlichen Einschlußuntersuchung. Die Probenvorbereitung und Bedampfungsmöglichkeiten werden problemspezifisch vorgestellt und die praktische Anwendung der REM-EDX-Methode wird anhand der Tiefenanalytik und der Residualanalytik dargestellt. Einige Ergebnisse aus Einschluß-Untersuchungen zeigen die Einsatzmöglichkeiten am Beispiel der Pb-Zn-F-Mineralisationen an der Basis der Nördlichen Kalkalpen in Österreich.

Abstract

The scanning electron microscopy (SEM) with an energy dispersive analysis (EDA) is a very useful completion to the common fluid inclusion investigation. The preparation of specimen and the possibilities of coating are pointed out especially for these problems. The practical application of the SEM-EDA method is demonstrated in two ways: penetration-analysis and the analysis of residuals. Some results are given as examples about Pb-Zn-F-mineralizations at the basis of the Northern Calcareous Alps in Austria.

⁺ Dr. Michael A. Götzing
Institut für Mineralogie und Kristallographie
Universität Wien
Dr. Karl Lueger-Ring 1
A-1010 Wien

Einleitung

Die Verwendung von Rasterelektronenmikroskop (REM) und Elektronenstrahl-Mikrosonde (EMS) und/oder gekoppelt mit energiedispersiver Analytik (EDX) für die Untersuchung von Flüssigkeits-Einschlüssen (u.a. Fluid Inclusions, FI) in Mineralen ist seit etwa dreißig Jahren bekannt. Die Methoden auf dem apparativen Sektor wurden in den letzten Jahren jedoch stark verbessert, sodaß ein kurzer Überblick, besonders des Anwendungsbereiches bei FI, angebracht erscheint.

Erste Mikrosonden-Ergebnisse über die Zusammensetzung magmatischer Relikte in Quarz aus Rhyolithen von Guadeloupe stammen von CARRON (1961). Diese Quarze enthielten dihexaedrische Einschlüsse von 100 μm Durchmesser von silikatischen Schmelzeinschlüssen mit Na, K und Al.

DOLOMANOVA et al. (1966) bestimmten an ungeöffneten Einschlüssen in Morion aus einer Sn-Lagerstätte (Transbaikal, USSR) die Elemente Fe, Cu, Ti, Ca, Zn und Cr von 11 Tochterkristallen; Fe und Cr wurden Chromit zugeordnet. Dabei waren besonders diejenigen Tochterkristalle erfaßbar, die an der oberen Seite eines Einschlusses lagen und damit ihre Elementinformation durch die dünne Deckschicht des Wirtskristalls abgeben konnten (ROEDDER, 1984).

Dekrepitierte FI in Fluorit bzw. die an Spaltflächen aufgedrungenen Lösungen und deren Kristallisate studierte EADINGTON (1974) an Spaltstückoberflächen. Es war möglich, die Elemente Na, Sn und W, sowie K, Cl, S, Fe und Mn festzustellen. Die Proben stammten aus einer pegmatitischen W-Lagerstätte, Fielders Hill bei Torrington, New South Wales, Australien.

Zur Identifizierung von Tochterkristallen in geöffneten FI von Fluorit, Emmett Mine, Jamestown, Colorado, benutzten METZGER et al. (1977) REM-EDX-Analytik. Die Proben wurden vorher in Dickschliffen optisch untersucht, um die optischen Eigenschaften festzustellen. Es gelang jedoch nicht alle Tochterkristalle optisch zu bestimmen. Erst mit ergänzender REM-EDX-Analytik waren dann eindeutig Rhodochrosit, Thenardit, Gips, Cölestin, Baryt, Phlogopit und Anorthit zu identifizieren.

Eine der jüngsten Arbeiten mit REM-EDX handelt über Flüssigkeits- und Festkörpereinschlüsse in Diamanten aus Botswana (SCHRAUDER & NAVON, 1994). Durch die leichte Matrix war es möglich, seicht unter der Oberfläche liegende und ungeöffnete FI zu untersuchen: Karbonate, Apatit, Quarz und Silikate wurden gefunden.

Bezüglich der Funktionsweise eines REM mit EDX sei auf das einführende Buch von REIMER & PFEFFERKORN (1977) verwiesen.

Probenvorbereitung

Polierte Plättchen und Spaltplättchen (oder Bruchstücke) von Mineralen, wie sie auch in der konventionellen FI-Untersuchung Verwendung finden, werden mit möglichst wenig Leitkohlenstoff (oder Leitsilber) auf geeignete Probenträger aufgeklebt, am besten nur randlich mit wenigen (drei) Punkten. Als Probenträger haben sich (für den Probenhalter eines JEOL JSM 6400) mit Epoxid-Harz oder Kunststoff (Acrylglas) gefüllte Aluminiumringe bewährt.

Zur Ableitung der Elektronen bei nichtleitenden Proben ist eine Bedampfung notwendig. Je nach Ziel der geplanten Untersuchungen wird eine Kohlenstoff- oder eine Gold- bzw. Palladiumbedampfungsschicht aufgebracht. Kohlenstoff wird wegen seiner leichten Durchdringbarkeit und praktischen Undetektierbarkeit durch den Elektronenstrahl bei analytischen Fragestellungen verwendet, die Edelmetalle eher für Abbildungen von Probenoberflächen. Auch mit Gold bedampfte Proben sind prinzipiell analysierbar, die Gold L-Linien überlagern jedoch bei der simultanen EDX-Analytik wichtige K-Linien leichter Elemente, beispielsweise die von Phosphor und Schwefel.

Die Bedampfung sauberer, ebener Flächen ist zumeist problemlos, nicht jedoch die von stark strukturierten Oberflächen. Hier ist eine (zusätzliche) Schrägbedampfung vorteilhaft, um etwaige Hohlkehlen von aufsitzenden Kriställchen leitend zu überbrücken. Dies ist notwendig, um ein Überstrahlen isolierter Partikel zu vermeiden.

Praktische Anwendung der Methoden

Es ist bekannt, daß der Elektronenstrahl je nach Beschleunigungsenergie und Probenmatrix unterschiedlich tief in die Probenoberfläche eindringt. Die Information über die Oberflächenformen (durch Sekundärelektronen, SE, und rückgestreute Elektronen, RE) gelangt aus den obersten Schichten der Probe (etwa 0,1 bis 1 μm). Die Information über die chemische Zusammensetzung einer Probe (durch Röntgenstrahlen) gelangt aus etwas tieferen Bereichen (etwa 1 bis 10 μm) zum Spektrometer. Diesbezügliche Abbildungen (Elektronen-Diffusionswolke) und Zusammenstellungen darüber finden sich in METZGER et al. (1977), REIMER & PFEFFERKORN (1977) und WERNISCH (1988).

Die Eindringtiefe bzw. die (maximale) Reichweite R wird von vielen probenspezifischen Faktoren beeinflusst (z.B. Ordnungszahl, Groß- und Kleinwinkelstreuung der Elektronen, ..). Eine einfache Berechnung basiert z.B. auf einer Näherungsformel nach ANDERSEN (1966):

$$R [\mu\text{m}] = 0,0571 \cdot E_0^{1,67}/d$$

E_0 = Beschleunigungsspannung in kV, d = Probendichte in g/cm^3

Bei mit Kohlenstoff bedampftem Fluorit ($d = 3,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) beispielsweise beträgt die daraus errechnete Eindringtiefe bei einer Spannung von 25 kV knapp 4 μm , bei 10 kV knapp 0,9 μm .

REED (1993) berechnet die Reichweite $R [\mu\text{m}] = 0,077 (E_0^{1,5} - E_c^{1,5})/d$, wobei E_c die für jedes Element kritische Anregungsspannung bedeutet. Reichweitenberechnungen nach dieser Formel sind für komplex zusammengesetzte Verbindungen allerdings schwierig durchführbar. Als Konsequenz daraus ist jedenfalls zu berücksichtigen, daß die Information über die chemische Zusammensetzung des Meßbereiches immer aus einer gewissen Probentiefe stammt, die allerdings etwas geringer ist als die maximale Ausbreitungsfigur der Elektronenwolke. Bei Messungen an Kornrändern mit flach-schrägen Korngrenzen zu anderen Mineralen besteht daher die Gefahr von Verfälschungen der Ergebnisse.

Tiefenanalytik

In Mineralen mit relativ leichter Matrix ist es möglich, aus einem knapp unter der (polierten) Oberfläche liegenden Einschluß Informationen über dessen chemische Zusammensetzung zu erhalten. Als geeignete Minerale dafür können beispielsweise Quarz, Halit, Fluorit, Magnesit, Calcit, Borate, Apatit und Anhydrit angesehen werden. Mit einer entsprechend hohen Anregungsspannung (≥ 20 kV) sind besonders schwere Elemente in leichter Matrix gut erfassbar. Sowohl über die in der Lösung befindlichen Ionen als auch über Tochterkristalle sind Informationen möglich.

Mit der EDX-Analytik können auch trübe Kristalle untersucht werden, in denen die FI so klein sind, daß mit den herkömmlichen Lichtmikroskopen keine Auflösung mehr möglich ist (manche Quarze, Baryte und viele Karbonate sind oft voll von winzigen Einschlüssen). Durch geeignete Proben-Wahl und -Anschliffe ist eine gewisse Selektion unterschiedlicher FI-Typen möglich. Überraschende Ergebnisse sind durch Differenzspektren (trüber Kristallbereich - klarer Kristallbereich) erzielbar.

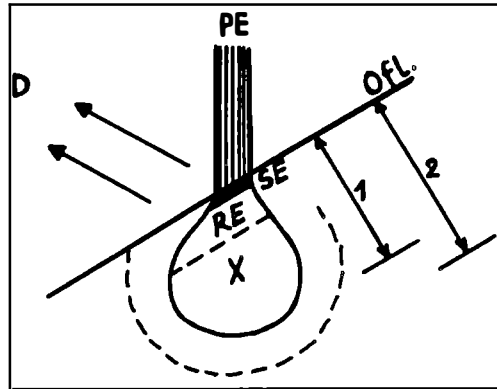
In diesem Zusammenhang sei auf die IR-Spektroskopie verwiesen, mit der auch sehr geringe Mineralmengen (ebenso in trüben Kristallen) aufgrund charakteristischer Absorptionen nachgewiesen werden können.

Aus der Richtcharakteristik (Geometrie) der Intensität rückgestreuter Elektronen in Abhängigkeit vom Einstrahlwinkel auf die Probe geht hervor, daß eine Kippung der Probe (etwa 30 bis 45°) zum Spektrometer hin eine wesentlich bessere Detektion der SE- und RE-Elektronen sowie der Röntgenstrahlen zur Folge hat: Bei Schräglage der Diffusionswolke verringert sich die Weglänge der austretenden Sekundärstrahlung in der Probe (siehe Abb. 1).

Durch den Beschuß der Probe mit dem Elektronenstrahl kommt es im Bereich des Auftreffpunktes (-feldes) zu einer Erwärmung, die je nach Energie und Fokussierung etwa 200° C und mehr erreichen kann (so schmelzen beispielsweise Kunststoffe des Einbettungsmediums). Eine wesentliche Bedeutung dabei hat natürlich die Wärmeleitfähigkeit der Probe. Kleine und schlecht leitende Partikel sind besonders gefährdet. Dekreparationen können auftreten, besonders bei einphasig-flüssigen FI. Es empfiehlt sich daher eine Flächenmessung von etwa 2x2 oder 3x3 μm^2 , um eine punktuelle Überhitzung zu vermeiden.

Manche Proben, die reich an Kristallwasser sind, können sich im Meßfeld zersetzen (Trübung, Rißbildung).

Abb. 1: Schematische Darstellung der Anregungsbereiche und der Elektronen-Diffusionswolke in einer schräg zum einfallenden Elektronenstrahl geneigten Probe (30°). D = Detektor; OfI. = Probenoberfläche; PE = Primärelektronenstrahl; SE = Anregungsbereich der Sekundärelektronen; RE = Anregungsbereich der rückgestreuten Elektronen; X = Anregungsbereich charakteristischer Röntgenstrahlen; 1 = effektive Reichweite; 2 = Elektronenreichweite; (umgezeichnet und ergänzt aus WERNISCH, 1988).



Festkörpereinschluß-Analytik

Von Schmelzeinschlüssen, Entmischungen, Einzelmineralen (z.B. Chlorit in Fluorit von der Grimsel, Schweiz) bis zu komplexen Mineralparagenesen (z.B. in Phantomquarzen alpiner Klüfte) spannt sich die Palette der bekannten Fälle. Es liegt auf der Hand, daß aus geeigneten Einschluß-Mineralparagenesen die zu dem Einschlußzeitpunkt herrschenden Bildungsbedingungen (wie in einem Gestein) ermittelt werden können (z.B.: MULLIS, 1984). Diese Problematik entspricht aber im wesentlichen der konventionellen Mikrosonde-Analytik (vgl. z. B. REED, 1993), sodaß darauf in dieser Arbeit nicht weiter eingegangen wird.

Residualanalytik

Als Residuate werden hier alle Substanzen zusammengefaßt, die durch Öffnen oder Dekreпитation von FI zugänglich gemacht werden bzw. durch Verdunstung der Lösung (z.T. auch erst im Vakuum des REM) auskristallisieren. Dazu gehören Tochterkristalle, organische Partikel genauso wie etwa CaCl_2 oder andere stark hygroskopische Substanzen.

Bei der Dekreпитation von FI in gut spaltbaren Mineralen dringt die frei werdende Lösung häufig in Spaltrissen an die Plättchenoberfläche, ohne daß die Probe zerspringt. An der Oberfläche kristallisieren dann die Komponenten aus, und zwar weitgehend ohne Substanzverlust (siehe dazu auch EADINGTON, 1974). Von HAYNES et al. (1988) wurden diese Kristallisate als "Dekrepite" bezeichnet. Aus großflächigen Meßfeldern (etwa $100 \times 120 \mu\text{m}^2$) können die relativen Gehalte der Elemente zueinander gemessen werden, wobei natürlich die chemische Zusammensetzung des darunter liegenden Wirtskristalls bekannt

sein muß (bei dünnen Kristallisationsfilmen wird der Wirtskristall wegen der Eindringtiefe meistens mitgemessen; siehe oben). Bei Totalöffnung von FI tritt naturgemäß ein beträchtlicher Substanzverlust der Lösung und teilweise auch der Tochterkristalle ein. Trotzdem kann anhand der meist rings um die Cavität auskristallisierenden Substanzen (siehe Abb. 2) eine zumindest halbquantitative, relative Analytik betrieben werden: Durch Teilung in Größenklassen und Auszählung der mit EDX identifizierten Kristallitate erhält man gute Relativgehalte der einzelnen Substanzen zueinander. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, Elemente zu entdecken, die bei der Kryometrie im Heiz-Kühltisch nicht oder nur schwer auszumachen sind (z.B. geringe KCl-Gehalte in stark konzentrierten NaCl-CaCl₂ Lösungen).

Hygroskopische Substanzen (z.B. Mg- und Ca-Salze) verbleiben bei Raumtemperatur und -druck in Form von Lösungströpfchen an der Plättchenoberfläche (siehe Abb. 3), wobei zur weiteren Erhaltung der Situation eine sorgfältige Handhabung der Proben angebracht ist. Im Vakuum des REM kristallisieren auch diese Substanzen aus und können detektiert und fotografiert werden.

Eine quantitative Analytik der Residuate ist dort möglich, wo eine bestimmte Mindestgröße der Kristallitate erreicht wird. Aus der vorherigen optischen und kryometrischen Untersuchung läßt sich abschätzen, ob ein Kristallitat von einem oder mehreren FI stammt. HAYNES et al. (1988) empfehlen für die Analytik Einzelsalz-Standards, die aus Lösungströpfchen auskristallisiert sind.

Tochterkristalle sind sowohl morphologisch als auch elementmäßig erfaßbar und daher in vielen Fällen identifizierbar. Darüber hinaus ist eine exakte Vermessung möglich und die Dimensionen der dazugehörigen Cavität sind feststellbar. RE-Bilder zeigen stärkere Schatteneffekte als SE-Bilder, weil die Abhängigkeit der RE-Rate von der Oberflächenneigung gegeben ist. RE-Aufnahmen ergeben allerdings eine geringere Auflösung. Große Tochterkristalle ($\geq 10 \mu\text{m}$) sind meist ohne Störung aus dem Untergrund quantitativ analysierbar, dies besonders gut, wenn sie aus leichten Elementen bestehen und die Anregungsspannung daher niedrig ($\leq 20 \text{ kV}$) gehalten werden kann. An senkrechten Flächen anhaftende Tochterkristalle können dann gut analysiert werden, wenn die Probe solange gedreht wird, bis die offene Seite der Cavität zum Spektrometer bzw. Detektor hin offen ist (Vermeidung von Absorptions-Schattenwirkung).

Organische Substanzen geben üblicherweise keine Elementspektren. Diese meist sehr kleinen Körperchen "verschmoren" im Elektronenstrahl, wobei Schrumpfung oder Aufblähung die Folge sein kann (C-H-Bindungen werden durch den Elektronenbeschuß aufgerissen, Wasserstoff und kleinere Radikale dampfen ab). In vielen Fällen fliegen diese Partikel dann wegen der eintretenden Aufladung weg (die ursprüngliche Kohlenstoff-Bedampfung blättert ab und verliert ihre Funktion).

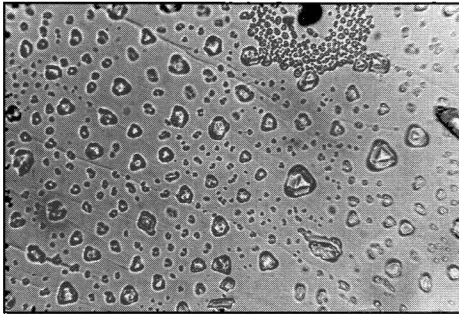


Abb. 2: Um einen dekrepitierten Einschuß auskristallisierte Substanzen (hauptsächlich NaCl), epitaktische Aufwachsungen von NaCl (111) auf Fluorit (111), Laussa Platzl bei St. Gallen, Stmk. (Vergr. 500 x).

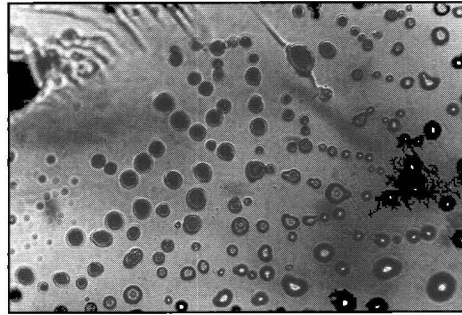


Abb. 3: Lösungströpfchen (CaCl_2 -haltig) eines dekrepitierten Einschlusses auf einer Fluorit Spaltplatte (111), Laussa Platz bei St. Gallen, Stmk. (Vergr. 500 x).

Untersuchungsergebnisse

Anhand zweier Beispiele sollen der praktische Einsatz von REM-EDX-Analytik dokumentiert und die Ergebnisse präsentiert werden:

An der Basis der Nördlichen Kalkalpen treten in Gutensteiner Schichten (Anis, Mitteltrias) an mehreren Stellen klufftgebundene Fluoritmineralisationen (mit Bleiglanz und Zinkblende) auf (vgl. GÖTZINGER & GRUM, 1992) und zwar in der Nähe oberpermischer Evaporite. Bei diesen Mineralisationen handelt es sich um eine intraformationale Bildung, wobei fluid-genetische Zusammenhänge zu den Evaporiten (Gipslagerstätten und -vorkommen) evident sind.

Die violetten bis farblosen Fluorite (z.B. des Vorkommens Laussa-Platzl, Stmk.) enthalten mehrere Populationen von Fl. Die primären und die meisten pseudo-ssekundären Fl sind durch folgende Inhaltsstoffe gekennzeichnet:

$S_1 \text{ NaCl} + S_2 \text{ CaCO}_3 + S_3 \text{ organische Substanz} + L (\text{NaCl-CaCl}_2\text{-KCl-Lösung, } 34\% \text{ NaCl äquiv.}) + V (\text{H}_2\text{O, CH}_4)$.

Aufgrund der Morphologie (einfache Rhomboeder) und der hohen Doppelbrechung kann CaCO_3 als Calcit identifiziert werden. Die Homogenisierungstemperaturen (T_h) liegen zwischen 270 und 360° C (Totalhomogenisierung in die flüssige Phase). Die Cavitäten sind häufig polyfacettiert. Die Abb. 4a zeigt einen größeren Einschuß (ca. 0,4 mm Länge) im Mikroskop-Durchlicht mit den Tochterkristallen S_1 , S_2 und der Gasblase (V). In geöffnetem Zustand (durch Dekrepiation im Heitzisch) wurden im REM 16 Kristallite kartiert und chemisch charakterisiert (siehe Abb. 4b). NaCl und Calcit kommen häufig vor, Dolomit ist fraglich und CaCl_2 ist sicher vorhanden, jedoch seltener. Zusätzlich

zu den abgebildeten Kristall-Residuen wurden vereinzelt noch KCl-Kriställchen gefunden. Das Vorhandensein von K war vor der REM-EDX-Untersuchung nicht bekannt.

Als Beispiel für Tiefenanalytik bzw. Residualanalytik sehr kleiner Einschlüsse wird der an einigen Stellen (z.B. Arzriedel bei Trübenach, N.Ö.) vorkommende Bleiglanz genannt: Frisch aufgebrochene Bleiglanz-Stücke (um Kontamination oder Oxidation hintanzuhalten) zeigen neben den für PbS charakteristischen Elementen häufig Ca und Cl in CaCl_2 entsprechenden Verhältnissen. Dieses Elementpaar wurde mit EDX auf Spaltflächen und in winzigen Cavitäten ($\leq 0,5 \mu\text{m}$) gefunden. Weder NaCl noch KCl konnten detektiert werden. In den etwas selteneren (eisenarmen bis eisenfreien) Zinkblenden konnten keinerlei Fremdelemente (und auch keine Fl) gefunden werden. Es liegt daher der Schluß nahe, daß das Transportmedium für den Bleiglanz CaCl_2 -haltige Lösungen gewesen sein könnten. Diesbezügliche Untersuchungen werden noch fortgesetzt.

Abschließend soll noch eine Methodenkombination propagiert werden, die über die konventionelle Heiz- und Kühltischuntersuchung weit hinausgeht und - dementsprechend wertvolle und einander ergänzende Ergebnisse liefert: Als Vorinformation ist bei geeignetem Probenmaterial eine Raman- und/oder eine Infrarot-Spektroskopie der Einschlüsse empfehlenswert (GÖTZINGER, 1990). Darauf folgt die konventionelle Untersuchung derselben Proben mit dem Heiz- und Kühltisch, und weiterführend können an demselben Probenmaterial Elektronenstrahl-Mikroanalysen durchgeführt werden.

Ich danke den Herren Prof. Dr. Anton Beran und Mag. Dr. Eugen Libowitzky (Wien) für die konstruktiv-kritische Durchsicht des Manuskriptes.

Literatur

- ANDERSEN, C.A. (1966): Electron probe microanalysis of thin layers and small particles with emphasis on light element determinations. - In: McKinley, T.D., Heinrich, K.F.J., Wittry, D.B., eds., The electron microprobe. Proc. Symp. Electrothermics and Metallurgy Div., The Electrochem. Soc., Oct. 1964: New York, J. Wiley & Sons, 58 - 74.
- CARRON, J.-P. (1961): Premières données sur la composition chimique de certains reliquats magmatiques. - Compt.Rend.Acad.Sci. Paris, 255, 3016-3018.
- DOLOMANOVA, E.I., LIDER, V.V., ROZHANSKII, V.N., ELINSON, M.M. (1966): Composition of solids in some gas-liquid inclusions in morion according to data of X-ray spectral point-analyses [electron microprobe]. - Akad. Nauk SSSR, Dokl., 167, 176-179 (russ.); trsl.: Dokl.Akad.Sci.USSR, Earth Sci. Sect., 167, 1966, 116 - 119.
- EADINGTON, P.J. (1974): Microprobe analysis of the non-volatile constituents in fluid inclusions. - N.Jb.Mineral., 1974/11, 518 - 525.

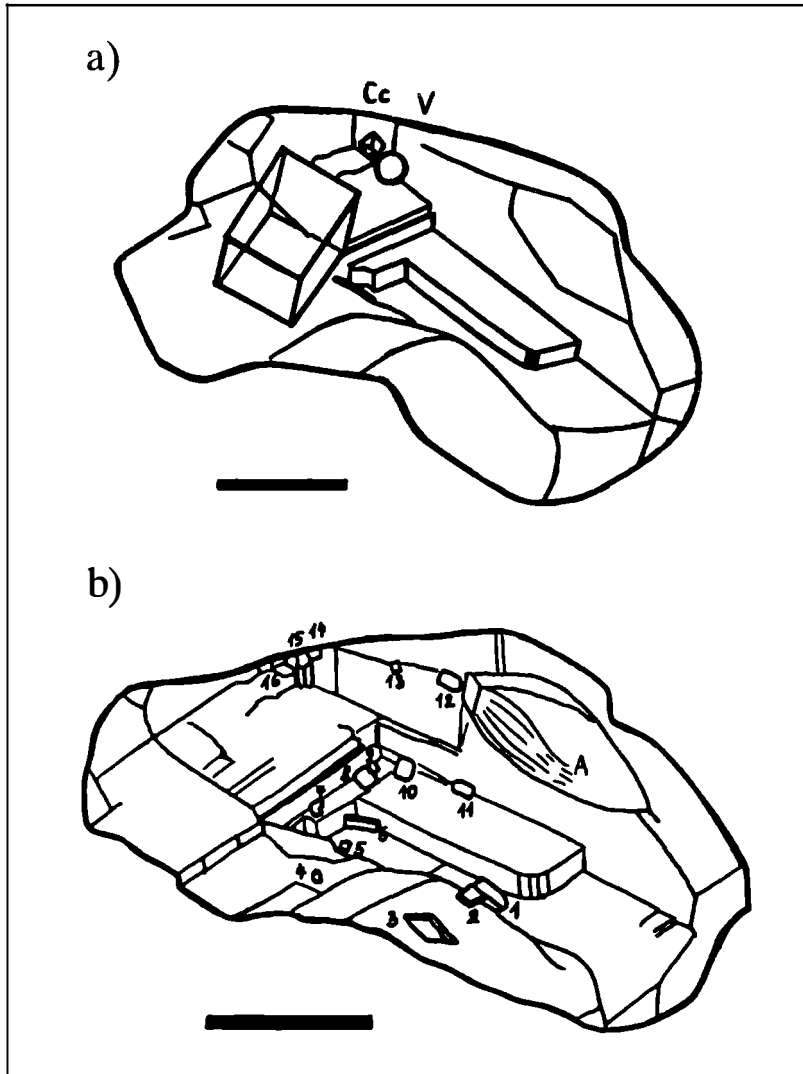


Abb. 4: a) Flüssigkeitseinschluß in Fluorit, Laussa-Platzl, Stmk., Zeichnung nach einem Mikroskop-Durchlicht-Foto (die Balkenlänge entspricht 0,1 mm) mit 2 Tochterkristallen (NaCl, Cc = CaCO_3) und einer Gasblase (V). Die Cavität wird von mehr minder deutlichen Negativ-Kristallflächen begrenzt (mit Stufenbildungen).
 b) Derselbe Einschluß geöffnet (Oberteil abgesprengt), Zeichnung nach einem REM-Foto (die Balkenlänge entspricht 0,1 mm) mit Kristall-Residuat aus der Lösung. Morphologie und EDX-Analytik ergaben folgende Identifizierungen: 1 Ca, Mg Dolomit ?; 2 - 7 Ca Calcit; 8 -14 NaCl; 15 CaCl_2 ; 16 Ca Calcit; A = Abbruchfläche.

- GÖTZINGER, M.A. (1990): Determination of aqueous salt solutions in fluid inclusions by infrared investigations. - N.Jb.Mineral.Mh., 1990/1, 1 - 12.
- GÖTZINGER, M.A., GRUM, W. (1992): Die Pb-Zn-F-Mineralisationen in der Umgebung von Evaporiten der Nördlichen Kalkalpen, Österreich - Herkunft und Zusammensetzung der fluiden Phase. - Mitt.Ges.Geol.Bergbaustud. Österr., 38, 47 - 56.
- HAYNES, F.M., STERNER, S.M., BODNAR, R.J. (1988): Synthetic fluid inclusions in natural quartz. IV. Chemical analyses of fluid inclusions by SEM/EDA: Evaluation of method. - Geochim.Cosmochim.Acta, 52, 969 - 977.
- METZGER, F.W., KELLY, W.C., NESBITT, B.E., ESSENE, E.J. (1977): Scanning electron microscopy of daughter minerals in fluid inclusions. - Econ. Geol., 72, 141 - 152.
- MULLIS, J. (1984): Festkörper-, Flüssigkeits- und Gaseinschlüsse in Quarzkristallen der Schweizer Alpen als Zeugen der Entstehung alpiner Kluftmineralparagenesen. - Mitt.Österr.Mineral.Ges., 129, 46 - 53.
- REED, S.J.B. (1993): Electron microprobe analysis. 2nd ed. - Cambridge University Press, 326 p.
- REIMER, L., PFEFFERKORN, G. (1977): Raster-Elektronenmikroskopie. 2. neubearb. Aufl. - Springer: Berlin-Heidelberg-New York, 282 S.
- ROEDDER, E. (1984): Fluid Inclusions. - Rev. in Mineralogy, 12, Min.Soc. Amer., 644 S.
- SCHRAUDER, M., NAVON, O. (1994): Hydrous and carbonatic mantle fluids in fibrous diamonds from Jwaneng, Botswana. - Geochim.Cosmochim. Acta, 58, 761 - 771.
- WERNISCH, J. (1988): Elektronenstrahlmikroanalyse. - Lehrbehelf Techn. Univ. Wien, 97 S.