©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Definition und Bildungsmodelle metamorphogener Lagerstätten

Von Walter POHL

Schlagworte:
Metamorphogene Lagerstätten, prograde und retrograde Modelle.

Erzlagerstätten in metamorphen Terrains können vor, während oder im Anschluss an die Hauptphase der Metamorphose entstanden sein. Die Ersten nennt man „metamorphe Lagerstätten", da sie genauso wie die metamorphen Gesteine nur passiv von der Metamorphose erfasst wurden. Jene Lagerstätten, deren stoffliche Konzentration erst durch die Metamorphose entstanden ist, werden als „metamorphogen" bezeichnet (POHL 1992 a, b, WALTHER & VON GEHLEN 1999). Als Haupttypen der Metamorphose werden gewöhnlich Regionalmetamorphose und Kontaktmetamorphose unterschieden. Unzweifelhaft eng mit der Kontaktmetamorphose an Intrusionen verbunden sind die Skarnlagerstätten. Erzlagerstättenbildung durch Regionalmetamorphose ist jedoch nach vorsichtigen früheren Vermutungen (CLAR & FRIEDRICH 1933, CLAR 1953) erst in jüngster Zeit allgemein anerkannt. Eine solche Entstehung wird heute sehr häufig für „mesothermale" Goldquarzgänge postuliert; aber auch manche Graphite (Sri Lanka), metasomatische Siderite (Erzberg, Bakal/Russland) und Buntmetallerze (z. B. Ag, Pb, Zn im westlichen Kanada: BEAUDOIN& THERRIEN 1999) werden heute zu dieser genetischen Klasse gezählt. Immer handelt es sich um eine Entstehung aus wässerigen Lösungen bzw. Fluiden, also um hydrothermale Bildung.

Zur Erklärung der Bildung metamorphogener Lagerstätten muss die allgemeine Beobachtung eingeschränkt werden, dass Regionalmetamorphose von Devolatilisierung (überwiegend Verlust von H_2O und CO_2) abgesehen im Wesentlichen isochemisch verläuft. Viele Untersuchungen an metamorphen Serien zeigen nämlich, dass während der Metamorphose beträchtlicher Stofftransport stattfindet. Hinweise darauf sind die überaus häufigen Quarz- und Karbonatgängchen epizonaler Gesteine, die gerichtete Anlösung von Fossilien und detritären Körnern, sowie die Lösungsschieferung parallel zu Achsenebenen. Es kann nicht überraschen, dass dann auch Analysen von Haupt- und Spurenelementen metamorpher Gesteine die stoffliche Mobilität während der Metamorphose nachweisen lassen, sogar jener Elemente, die ihrer Immobilität halber in der Regel für die geodynamische Einordnung magmatischer Gesteine herangezogen werden (BREWER & ATKIN 1989).

Keywords:
Metamorphogenic ore deposits, prograde and retrograde models.

Zusammenfassung:
Modelle der Lagerstättenbildung durch Regionalmetamorphose wurden erst in jüngster Zeit unter Fachleuten voll anerkannt. In der Literatur findet man zunehmend häufig eine Zuordnung zu dieser Klasse. Es fehlt jedoch eine klare Definition, die gängigen Lehrbücher bieten nur sehr allgemeine Beschreibungen. Der Autor konnte anlässlich der Frühjahrstagung 2000 der Fachgruppe Mineralogie und Geologie des Vereins in Knappenberg über eigene Forschung zu metamorphogenen Lagerstätten in den Ostalpen berichten. Da diese Ergebnisse leicht zugänglich publiziert sind, soll in diesem Beitrag der lagerstättenkundliche Hintergrund gründlicher dargestellt werden.

Abstract:
Ore deposits may be affected by metamorphism like other rocks, resulting in „metamorphic" deposits. In contrast to these, „metamorphogenic" deposits are newly formed by metamorphic processes, mainly by migrating fluids. During prograde metamorphism, dehydration liberates large amounts of water and other volatile species. Economically important elements may be dissolved in these fluids, and concentrated by suitable chemical or physical barriers along flow channels. Post-peak metamorphic flooding and cooling by external fluids leads to retrograde metamorphic reactions, which may also produce mineralizing hydrothermal fluids, and consequently „retrograde metamorphogenic" ore deposits.

 ©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

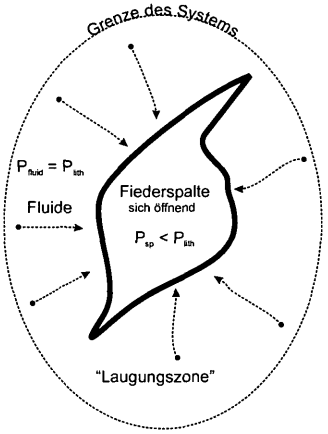

Abb. 1:
Prinzipdarstellung der Lateralsekretion: Ausgelöst durch Spannungsveränderungen öffnet sich eine Fiederspalte, in die wegen des Druckgefälles ($P_{Spalte} < P_{lithostatisch}$) aus einem begrenzten Umfeld („Laugungszone") metamorphe Fluide einströmen und hydrothermale Mineralfüllung absetzen. Ein solches System ist geschlossen.

Seit langem werden die Quarz- und Karbonatlinsen und -gängchen niedrig-metamorpher Gesteine sowie die pegmatitischen Mobilisate höherer Metamorphose als Produkte einer „lateralen Sekretion" aus den unmittelbaren Nebengesteinen aufgefasst (Abb. 1). Diese Deutung ist schon dadurch belegt, dass die Paragenese der Spaltenfüllung die Zusammensetzung des jeweiligen Nebengesteins wiederspiegelt. So sind Quarzmobilisate für silikatische Metasedimente, Kalzitgänge (mit Epidot, Chlorit, Sulfiden etc.) aber für basische Metavulkanite typisch. Viele andere Stoffe oder Minerale werden ebenfalls in solchen syn- bis spätmetamorphen Dehnungsstrukturen ausgeschieden, gewöhnlich reiner und gut kristallisiert. Prachtvolle Beispiele sind die „alpinen Klüfte" (NIEDERMAYR 1993, MULLIS 1996). Die Lateralsekretion ist mit einer annähernd ausgeglichenen Massenbilanz zwischen Nebengestein und Gang verbunden, wobei mobilisierte Elemente in Ersterem gegen den Gang zu deutlich geringere Gehalte aufweisen. Hydrothermale Alteration der Nebengesteine fehlt, da Fluide und Gestein in einem chemischen Gleichgewicht sind. Auch Systeme stabiler Isotope zeigen kein Ungleichgewicht zwischen dem Gang und seiner Umgebung, die Fluide sind also lokaler Herkunft. Sie können als „gesättigte Lösungen" des Gesteins aufgefasst werden. Die Fluide bewegen sich unter dem Druckgefälle zur sich öffnenden Gangspalte durch Fließen an Korngrenzen oder durch Diffusion. Im Wesentlichen handelt es sich um räumlich begrenzte, geschlossene Systeme, prinzipiell ohne Einträge von außen und mit unbedeutendem Stoffabtransport. Temperatur und Druck in der Spalte und in den Nebengesteinen sind während der Ruhephasen gleich, nur in Phasen aktiver Dehnung fällt der Druck in der Fiederspalte. Der Fluiddruck ist im Ganzen lithostatisch. In einem solchen System ist die Bildung einer Erzlagerstätte nicht zu erwarten, da der dafür erforderliche große Massendurchfluss nicht möglich ist.

Andererseits gibt es in metamorphen Gesteinen oft auffällige regionale Stoffzufuhr; dazu gehört z. B. die weit verbreitete Albitisierung (Na-Zufuhr) im ostalpinen Tauernfenster, die schon CLAR & FRIEDRICH (1933) mit der tertiären Tauernmetamorphose und mit der Entstehung von Goldquarzgängen in Verbindung gebracht haben. Auch die Veränderung von Sauerstoff-Isotopenverhältnissen der Gesteine lässt eine regionale Passage von metamorphen Wässern tiefer Herkunft erkennen (BEAUDOIN & THERRIEN 1999). Die Nebengesteine an den Salbändern der Gänge sind durch die hydrothermalen Fluide chemisch und mineralogisch alteriert. Ausgehend vom Gang sind Spurenmetall-Höfe ausgebildet. Solche Veränderungen können nur durch die Einwirkung migrierender Fluide erklärt werden, die das betrachtete System zum größten Teil verlassen haben. Sie stammen aus tieferen Teilen des Gebirgskörpers (Abb. 2), wo in Bereichen prograder Metamorphose durch endother-

©Naturwissenschaftliche Fakultät, Universität Wien, Austria - download unter www.biologiezentrum.at

me Reaktionen riesige Mengen von Fluiden freigesetzt werden, wie einfache Berechnungen ebenso wie vergleichende Analysen metamorpher Gesteine zeigen (FYFE 1986, HANSON 1997). Grundsätzlich gilt dabei

hydrische Mineralparagenese + Wämeenergie → weniger hydrische oder anhydrische Minerale + H_2O.

„Metamorphe Fluide" entstehen also zum Unterschied von diagenetischen Wässern überwiegend durch „chemische Freisetzung", wobei zunehmende Metamorphose eine rasche Abnahme des Gehaltes an volatilen Elementen bedingt. So enthält Tonschiefer noch rund 4%, Glimmerschiefer nur 2% Wasser. Basalt nimmt zwar bei der Bildung von Grünschiefer bis 13% H_2O auf, Amphibolite aber enthalten nur mehr 2% Wasser. Mergelige Karbonate verlieren durch Kalksilikatbildung bis 40% CO_2. Abbau von organischer Substanz der Sedimente setzt H_2, CO_2, CH_4, N_2 und Wasser frei. Auch das „mineralische" NH_4^+, das während der Diagenese anstatt K^+ in viele Silikate (Tone, Glimmer, K-Feldspat) eingebaut wird, geht bei prograder Metamorphose als N_2 in die fluide Phase über, wodurch eine deutliche Abnahme des Gesamtstickstoffgehaltes im Gestein resultiert. Gleichzeitig wird der verbleibende Stickstoff isotopisch schwerer (BEBOUT & FOGEL 1992). Salze und Anhydrit werden in der Regel gelöst und abgeführt; seltener bleiben Evaporithorizonte in Metasedimenten durch Skapolith- oder Albitführung, durch Reste von Anhydrit oder durch salzreiche Flüssigkeitseinschlüsse erkennbar.

Die Fluide in metamorphen Gesteinen liegen als OH-Gruppen der Minerale und als Flüssigkeitseinschlüsse vor, z. T. auch an Korngrenzen, offenen Klüften und in Poren. Die Flüssigkeitseinschlüsse bestehen bei niedrigmetamorphen Gesteinen vorwiegend aus H_2O, Cl, CO_2, CH_4 (z. B. in alpinen Klüften), H_2S und N_2 (ROEDDER 1984). Die häufigsten Kationen sind Na, Ca und Mg; die Salzgehalte liegen meist unter 5%. Höher metamorphe Gesteine enthalten Fluide mit H_2O, HF, F, CO_2, CH_4, CO, H_2, S_2 und O_2. Granulite, Eklogite und Sillimanitschiefer sind im Allgemeinen wasserfrei, führen jedoch z. T. reine CO_2-Einschlüsse. Vermutlich sehr häufig sind in ihnen Einschlüsse von Halit und Sylvin, welche durch „Austrocknung" geringer Mengen episodisch zufließender Krustenfluide entstehen (MARKL & BUCHER 1998).

Berechnungen der Massenbilanz ebenso wie Isotopenuntersuchungen deuten an, dass metamorphe Fluide nicht unbedingt ausschließlich aus der Freisetzung bei prograder Metamorphose stammen, sondern dass auch externe (meteorische) Fluide einbezogen werden können. Auch heiße, metamorphe Terrains können offenbar große hydrothermale Systeme ausbilden, vergleichbar den überschaubareren, intern und extern gespeisten Konvektionszellen an magmatischen Intrusionen (COX et al. 1986). Die unter-

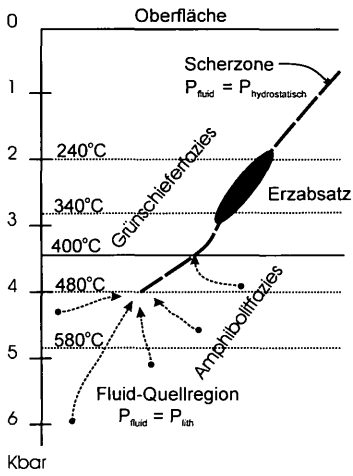

Abb. 2:
Modell der Lagerstättenbildung durch prograde Metamorphose: Eine Scherzone ermöglicht durch erhöhte Permeabilität und durch Überleiten von lithostatischem zu hydrostatischem Druck die Fokussierung und das Hochströmen tiefer metamorpher Fluide. Erzabsatz tritt durch chemische oder physikalische Milieuveränderungen ein. Das System ist offen, der Massenstrom ist einseitig gerichtet.

schiedliche Herkunft hydrothermaler Fluide in einem Orogenquerschnitt wurde von KOONS et al. (1998) am Beispiel der Neuseeländischen Alpen dargestellt.

Bei prograder Metamorphose werden also in der Regel Fluide freigesetzt, wobei wirtschaftlich interessante Spurenelemente entweder gleichzeitig mit H_2O, F und Cl aus dem Kristallgitter einzelner Minerale in Lösung gehen oder in der Folge durch Reaktion der migrierenden Fluide mit Nebengestein gelöst werden. Diese Vorgänge sind von Fluidmenge und Zusammensetzung, sowie vom Gestein und von T, P, pH sowie Eh des Systems abhängig. Da metamorphe Komplexe über größere Entfernungen annähernd ähnlichen Pauschalchemismus haben, müssen auch die abströmenden Fluide eine vergleichbare Zusammensetzung haben. Das führt zum Konzept von „Fluidprovinzen".

In den Ostalpen führen die in der frühen Oberkreide ausschließlich in den ostalpinen Decken gebildeten Lagerstätten Erzberg, Mitterberg, Schendeleck, Kleinkogel und Rabenwald so ähnliche Einschlussfluide, dass eine „synorogene ostalpine Fluidprovinz" abgeleitet werden kann (POHL & BELOCKY 1994). Die Fluideinschlüsse dieser kretazischen Lagerstätten in den Ostalpen haben hohe Dichte und Salzgehalte und wenig CO_2. Ihre Bildung erfolgte bei hohen Drücken (2–3 kbar) und mittlerer Temperatur (200–350 °C). Die Fluide stammen aus prograder Metamorphose subduzierender südpenninischer Einheiten oder tiefer Teile des ostalpinen Deckenstapels, der gleichzeitig mit der Lagerstättenbildung eine erste Dehnung und Abkühlung erfuhr, belegt durch Hellglimmeralter im ostalpinen Altkristallin und durch die Anlage der Gosaubecken (MANDL 2000, FAUPL & WAGREICH 2000). Dies ermöglichte das Hochströmen aufgestauter Fluide, die Lagerstättenbildung erfolgte teils im duktilen (Rabenwald), teils im spröden Krustenniveau (Erzberg).

Interessant ist auch die Frage nach der zeitlichen Entwicklung der Fluidproduktion. Dabei sind zwei Denkmodelle möglich: Entweder werden alle aus dem Gestein gebildeten Fluide „aufgestaut" und später zur gleichen Zeit abgegeben („batch volatilization"), oder es entspricht der Fluidfreisetzung ein andauerndes, gleichzeitiges Abströmen („Rayleigh distillation"). In der geologischen Wirklichkeit werden wohl beide Prozesse wirksam, vor allem in Abhängigkeit von physikalischen Randbedingungen (Scherung, Porendruck, Permeabilität, Temperaturgradient), also begleitender Tektonik und geologischem Aufbau. Lagerstättenbildung wird bevorzugt dann stattfinden, wenn gestaute Fluide in geologisch kurzer Zeit nach oben abfließen können, also z. B. mit einsetzender Hebung und Dehnung metamorpher Komplexe. Annähernd gleichzeitige Bildung ähnlicher Lagerstätten in größeren Räumen belegt damit das Konzept von tektonisch ausgelösten „Fluidpulsen".

©Naturwissenschaftliche Fakultät der Karl-Franzens-Universität Graz, download unter www.biologiezentrum.at

Viele Goldlagerstätten werden metamorphogen gedeutet. Es sind in der Regel Goldquarzgänge mit Sulfiden von As, Sb und Fe, die fern von Intrusionen in Schwarzschiefern, Meta-Turbiditen oder in Gesteinen der Grünschieferfazies liegen. Ihre Entstehung fällt in eine Periode ausklingender Orogenese, oft mit post-metamorpher Aufwölbung oder tiefen Scherzonen korrelierbar. Es wird angenommen, dass die beteiligten Stoffe und die hydrothermalen Fluide durch Metamorphose freigesetzt wurden. In jüngster Zeit wurde mehrfach versucht, durch geochemische Analysen den Nachweis für solche Vorgänge zu führen. So haben im mittelproterozoischen Bamble-Gürtel Südnorwegens Metabasite in der Amphibolitfazies im Vergleich zu Durchschnittswerten solcher Gesteine verringerte Gehalte an Au, Sb, As und S, die in Zonen mit Granulitfazies nochmals stark abfallen (CAMERON 1989). Derartige Beobachtungen können als Beweis dafür gelten, dass metamorphe Fluide tatsächlich Spurengehalte wirtschaftlich wichtiger Elemente lösen und abführen. Obwohl die Konzentration der lagerstättenkundlich wichtigen Elemente in solchen Lösungen sehr gering ist, können aus den großen Fluidmengen an geochemischen oder physikalischen Fallen bedeutende Erzkörper gebildet werden.

Die Fluide mit den gelösten Stoffen dürften in der Regel in breiter Front in Bereiche niedrigeren Druckes abströmen (HANSON 1997). Geeignete tektonische Strukturen (Scherzonen, Störungen, Überschiebungen) fokussieren diesen diffusen Strom durch ihre höhere Permeabilität. In solchen Zonen kann auch erneut verstärkte Lösung einsetzen, wenn die Fluide mit dem Gestein nicht in chemischem Gleichgewicht stehen. Im Bereich der unteren, duktilen Kruste prograder Metamorphose (ca. >15 km, jedoch temperaturabhängig) ist die Permeabilität sehr gering, die Fluide stehen unter lithostatischem Druck. Mit dem Eintritt in die spröde obere Kruste steigt die Durchlässigkeit, der Fluiddruck entspannt sich gegen den hydrostatischen Zustand. Bis zu dieser Tiefe ist auch Zufluss absteigender Wässer möglich (INGEBRITSEN & MANNING 1999). Wegen dieser besonderen Bedingungen ist der duktil-spröde Übergangsbereich (ca. 425–375 °C) häufig Ort der Lagerstättenbildung.

Die bisher geschilderten Überlegungen betreffen fast ausschließlich Vorgänge bei der prograden Metamorphose. Viele geologische Beobachtungen, z. B. Strukturbeziehungen und absolute Altersbestimmungen, weisen aber darauf hin, dass die Platznahme metamorphogener Lagerstätten oft erst deutlich nach dem P-T-Maximum erfolgt. Die Geschichte des Aufsteigens und Abkühlens metamorpher Komplexe ist an retrograden, exothermen Reaktionen ablesbar, die unter erneuter Fluidzufuhr abliefen (HAACK & ZIMMERMANN 1996). Diese Fluide dürften wohl überwiegend aus einem oberflächennahen Reservoir kommen (z. B.

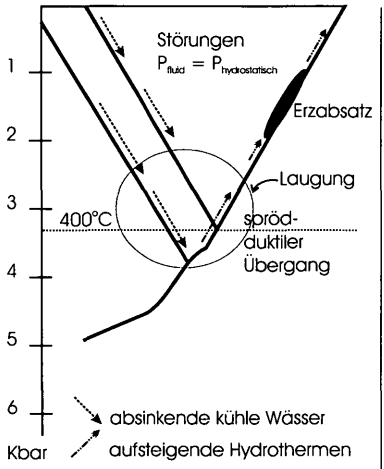

Abb. 3:
Schema der Lagerstättenbildung durch retrograde Metamorphose: Dehnungstektonik öffnet Wege für absinkende kühle Wässer, die in der Tiefe mit den heißen metamorphen Gesteinen reagieren („Laugung") und als hydrothermale Fluide wieder aufsteigen. Der Druck ist zumeist hydrostatisch, es handelt sich um ein offenes Konvektionssystem.

meteorische Wässer), aus dem sie an geeigneten Strukturen absinken, sich erwärmen und somit hydrothermale Konvektionszellen aufbauen. Sie bewirken in der Tiefe retrograde Metamorphose und nehmen gleichzeitig Lösungsfracht auf, welche entlang der Aufstiegswege zu „retrograd-metamorphogenen Lagerstätten" (Abb. 3) konzentriert werden kann. Solche Konvektionszellen können bis zur spröd/duktilen Grenze reichen, wo auch Mischung mit metamorphen Fluiden möglich ist, wie TEMPLETON et al. (1997) in den Neuseeländischen Alpen nachgewiesen haben. In den Ostalpen wurden im Tertiär viele Lagerstätten gebildet, die mit der eozänen Tauernmetamorphose korrelierbar sind. Dabei sind die Goldgänge im Pennin überwiegend durch aufgestaute, metamorphe Fluide sehr tiefer Herkunft (PETTKE et al. 1999) entstanden, während der Erzbezirk Hüttenberg-Waldenstein besser durch eine Mischung von tiefen, metamorphen Fluiden mit oberflächennah gespeisten Konvektionssystemen erklärt werden kann (POHL & BELOCKY 1999).

Beide Modelle der „metamorphogen-hydrothermalen Lagerstättenbildung", das prograde und das retrograde, sind aus heutiger Sicht zwar sehr plausibel, doch konkret für einzelne Lagerstätten schwer beweisbar (POHL 1992b). Ein besonderes Problem liegt darin, dass in der Natur vermutlich sehr häufig Mischungen der beschriebenen Idealmodelle vorliegen. Die Charakterisierung des genetischen Systemes von metamorphogenen Lagerstätten bleibt ein weites Feld für zukünftige Forschung.

Literatur

BEAUDOIN, G. & R. THERRIEN (1999): Sources and drains: major controls of hydrothermal fluid flow in the Kokanee Range, British Columbia, Canada. - Geology 27: 883-886.

BEBOUT, G. E. & M. L. FOGEL (1992): Nitrogen-isotope compositions of metasedimentary rocks in the Catalina Schist, California: Implications for metamorphic devolatilization history. - Geochim. Cosmochim. Acta 56: 2839-2849.

BREWER, T. S. & B. P. ATKIN (1989): Elemental mobilities produced by low-grade metamorphic events. A case study from the Proterozoic supercrustals of Southern Norway. - Precambrian Research 45: 143-158.

CAMERON, E. M. (1989): Scouring of gold from the lower crust. - Geology 17: 26-29.

CLAR, E. & O. FRIEDRICH (1933): Über einige Zusammenhänge zwischen Vererzung und Metamorphose in den Ostalpen. - Zeitschr. Prakt. Geol. 41: 73-79.

CLAR, E. (1953): Über die Herkunft der ostalpinen Vererzung. - Geol. Rdsch. 42: 107-127.

COX, S. F., M. A. ETHERIDGE & V. J. WALL (1986): The role of fluids in syntectonic mass transport, and the localization of metamorphic vein-type ore deposits. - Ore Geol. Rev. 2: 65-86.

FAUPL, P. & M. WAGREICH (2000): Late Jurassic to Eocene paleogeography and geodynamic evolution of the Eastern Alps. - Mitt. Österr. Geol. Ges. 92: 79-94.

FYFE, W. S. (1986): Tectonics, fluids and ore deposits: mobilization and remobilization. - Ore Geol.Rev. 2: 21-36.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

HAACK, U. K. & H. D. ZIMMERMANN (1996): Retrograde mineral reactions: a heat source in the continental crust? - Geol. Rundschau 85: 130-137.

HANSON, R. B. (1997): Hydrodynamics of regional metamorphism due to continental collision. - Economic Geol. 92: 880-891.

INGEBRITSEN, S. E. & C. E. MANNING (1999): Geological implications of a permeability-depth curve for the continental crust. - Geology 27: 1107-1110.

KOONS, P. O., D. CRAW, S. C. COX, et al. (1998): Fluid flow during active oblique convergence: a Southern Alps model from mechanical and geochemical observations. - Geology 26: 159-162.

MANDL, G. W. (2000): The Alpine sector of the Tethyan shelf - examples of Triassic to Jurassic sedimentation and deformation from the Northern Calcareous Alps. - Mitt. Österr. Geol. Ges. 92: 61-77.

MARKL, G. & K. BUCHER (1998): Composition of fluids in the lower crust inferred from metamorphic salt in lower crustal rocks. - Nature 391: 781-783.

MULLIS, J. (1996): P-T-t path of quartz formation in extensional veins of the Central Alps. - Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 76: 159-164.

NIEDERMAYR, G. (1993): Alpine Kluftmineralisationen im Nationalpark Hohe Tauern und ihre Beziehung zur alpidischen Metamorphose. - Wiss. Mitt. Nationalpark Hohe Tauern 1: 149-168.

PETTKE, T., L. W. DIAMOND & I. M. VILLA (1999): Mesothermal gold veins and metamorphic devolatilization in the northwestern Alps: the temporal link. - Geology 27: 641-644.

POHL, W. (1992a): W. & W. E. Petrascheck's Lagerstättenlehre. Eine Einführung in die Wissenschaft von den mineralischen Bodenschätzen. - 4. Auflage. 504 pp, Schweizerbart, Stuttgart.

POHL, W. (1992b): Defining metamorphogenic mineral deposits - an introduction. - Mineralogy and Petrology 45: 145-152.

POHL, W. & R. BELOCKY (1994): Alpidic metamorphic fluids and metallogenesis in the Eastern Alps. - Mitt. Österr. Geol. Ges. 86: 141-152.

POHL, W. & R. BELOCKY (1999): Metamorphism and metallogeny in the Eastern Alps. - Mineralium Deposita 34: 614-629.

ROEDDER, E. (1984): Fluid inclusions. - Reviews in Mineralogy 12, 644 pp, Mineral.Soc.America, Washington.

TEMPLETON, A. S., C. P. CHAMBERLAIN, P. O. KOONS & D. CRAW (1997): Stable isotopic evidence for mixing between metamorphic fluids and surface-derived waters during recent uplift of the Southern Alps, New Zealand. - Earth and Planetary Sci. Letters 154: 73-92.

WALTHER, H. W. & K. VON GEHLEN (1999): Lagerstättenkundliches Wörterbuch. 688 pp, GDMB Clausthal-Zellerfeld.

Dank

Anlässlich der Frühjahrstagung 2000 in Knappenberg konnte ich zu diesem Thema eigene Forschungsergebnisse vorstellen. Für die Einladung und für die Anregung, diesen Beitrag zu verfassen, danke ich Herrn Dr. G. Niedermayr sehr herzlich.

Anschrift des Verfassers:
Prof. Dr. Walter Pohl,
TU, Institut für Geowissenschaften,
Postfach 3329,
D-38023 Braunschweig.
E-Mail: walter.pohl@tu-bs.de

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Carinthia II

Jahr/Year: 2001

Band/Volume: 191_111

Autor(en)/Author(s): Pohl Walter

Artikel/Article: Definition und Bildungsmodelle metamorphogener Lagerstätten 517-523