

Diese Entwicklung ist im Bereich der Nördlichen Kalkalpen einem gewissen Rhythmus unterworfen, der durch wasserarme, bzw. wasserreiche Perioden hervorgerufen wird (z.B. Eis- und Zwischeneiszeiten). Derartige, durch starke Wasseraktivität gekennzeichnete Zeitperioden lassen sich meist anhand niveaugebundener, höhlenreicher Horizonte erkennen. Entsprechend große Hohlraumauslaugungen und mächtige Höhlenablagerungen sind dafür ebenfalls charakteristisch. Neben der Hohlraumzerstörung durch Oberflächenverkarstung bzw. Oberflächenabtragung erfolgt die Zerstörung auch unterirdisch durch Gebirgsdruck und Gebirgsbewegung (Abb. 8). Alte Höhlenräume, die zum Teil oder vollständig mit Sedimenten gefüllt sind, können an tektonisch aktiven Zonen im Gebirgskörper soweit verändert und zusammengepreßt werden, daß diese samt dem dann diagenetisch umgewandelten Höhleninhalt dem Gesteinsverband wieder fast vollständig eingegliedert werden.

Trotz dieser vielfältigen und teils unüberschaubaren Zusammenhänge zwischen Gebirgsab-

tragung, Höhlenbildung und Sedimentation lassen sich bei detaillierter systematischer Bearbeitung und Koordination mit wissenschaftlichen Nachbardisziplinen genug Daten ausarbeiten, um ein besseres Bild über die regionale bis überregionale Gebirgsbildung und Verkarstung zu erlangen.

Weiterführende Literatur:

BÖGLI, A. (1964): Mischungskorrosion, ein Beitrag zum Verkarstungsproblem. - *Erdkunde* **18/2**: 83-92.

FRANKE, H. W. (1963): Formgesetze der Korrosion. - *Jhe. für Karst- und Höhlenkunde* (München), **18/3**: 207-224.

FRANKE, H. W. (1975): Bemerkungen zur Höhlenbildung in den Dachsteinhöhlen (Oberösterreich). - *Die Höhle* (Wien), **26/2-3**: 64-66.

HENNE, P. (1977): Berechnungen zur Formenentwicklung von Höhlenprofilen. - *Die Höhle* (Wien), **28/3**: 73-83.

TRIMMEL, H. (1965): *Speleologisches Fachwörterbuch*. - 109 S. - Landesverein für Höhlenkunde in Wien und NÖ, Wien.

Mineralien in Höhlen

Robert SEEMANN*)

Spricht man von Höhlen und Höhlenmineralien, so denkt man wohl in erster Linie an Tropfsteine und Kalksinter. Kaskadenförmig mit Sinter überzogene Wand- und Bodenpartien, kulissenartig angeordnete Tropfsteinvorhänge, verschiedenfarbige schlanke, gedrungene oder filigrane Boden- und Deckenzapfen zählen sicher zu den eindrucksvollsten Bildern, die in einer Höhle geboten werden können. Und gerade weil Österreichs Höhlen mit wenigen Ausnahmen nicht sehr reich mit Tropfsteinen ausgestattet sind, wird die Entdeckung eines Höhlenraumes mit Tropfsteinschmuck - und sei er noch so bescheiden - zum Höhepunkt einer Höhlenunternehmung. Selbst in alten Höhlenexpeditionsberichten und frühen Höhlendarstellungen wird den Tropfsteinen und Versinterungen ein Übermaß an Interesse und Aufmerksamkeit gewidmet (Abb. 11). Der Grund liegt sicher darin, daß

Abb. 11: Tropfsteingebilde in der Hermannshöhle/Kirchberg am Wechsel. »Der Spitzenvorhang«: Abbildung aus »Der kundige Begleiter in der Hermannshöhle« von Dr. R. HELLBACH (1869).

*) Dr. Robert SEEMANN, Naturhistorisches Museum, 1014 Wien, Burgring 7



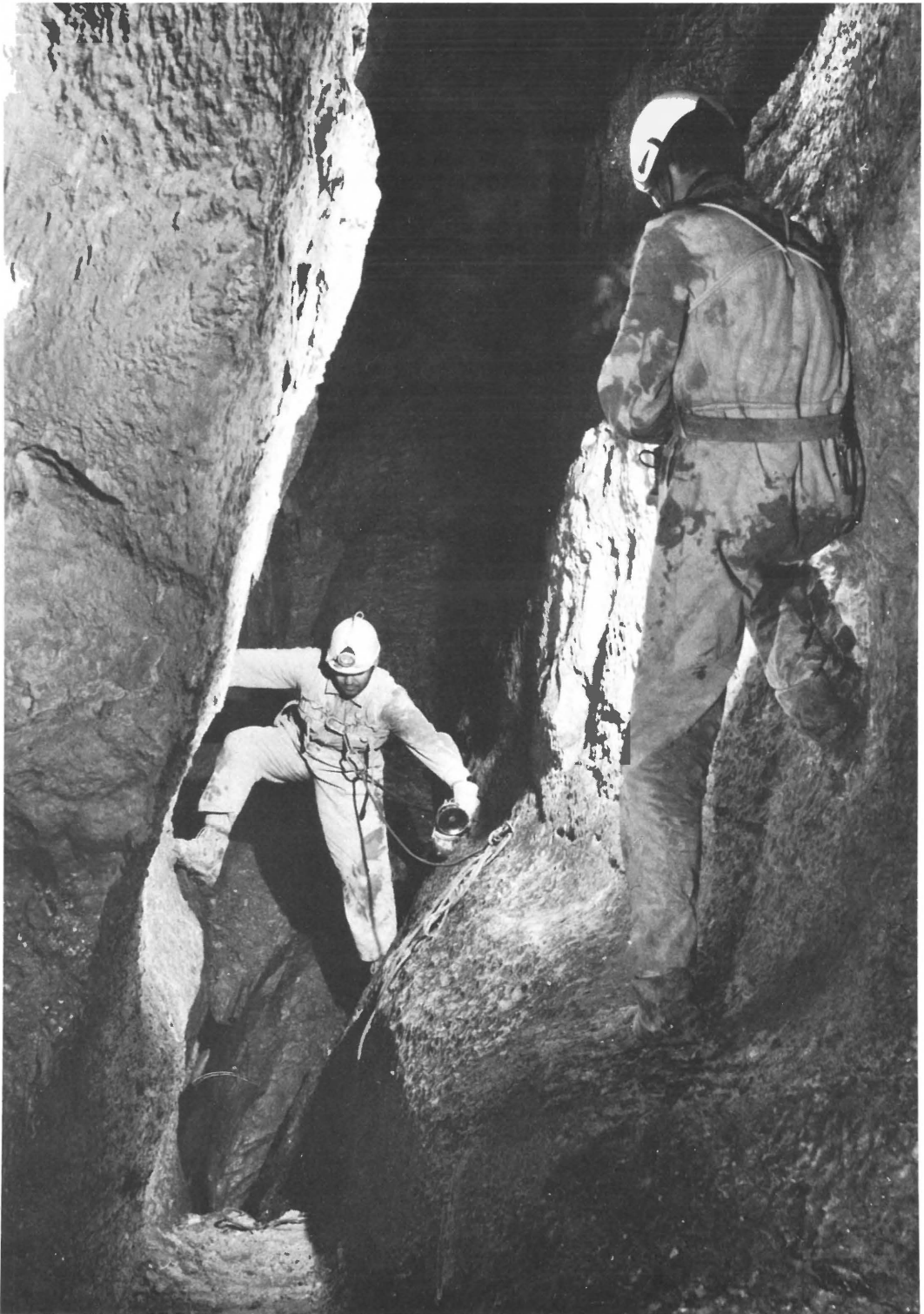


Abb. 12: Cañonstrecke in der Mortonhöhle, Schönbergalm, Dachstein. (Foto: THALER, Steyr)

diese vielfältigen und bizarren Kalkabscheidungen in der abstrakten und lebensfeindlichen Welt der Höhle fast organisch wirken und so durch den Kontrast auf den Menschen eine gewisse Faszination ausüben. So hat man sich -bewußt oder unbewußt - bereits in den Anfängen der Erkundung von Höhlen auch mit der Höhlenmineralogie beschäftigt. Die Faszination ist dabei auch von dem Umstand ausgegangen, daß sich trotz geringer chemischer Variationsbreite des Höhleninhaltes ein derartig großer und abwechslungsreicher Formenschatz der sekundären Kalkablagerungen ausbilden konnte. Und gerade auf dieses Zusammenwirken zwischen vorgegebenem Chemismus, den herrschenden Entstehungsbedingungen und den resultierenden Erscheinungsformen der neugebildeten Mineralien ist das Hauptaugenmerk der heutigen Höhlenmineralogie gerichtet. Dabei soll aber nicht übersehen werden, daß neben dem sicher häufigsten und bisher am intensivsten behandelten Höhlenmineral, dem Calcit, noch viele andere Mineralvergesellschaftungen auftreten, die zwar bei weitem nicht so attraktiv sind wie die meisten Erscheinungsformen des Calcites, die aber z.T. viel mehr Aussagen über die geochemischen und physikalischen Abläufe bei der Entstehung von Mineralien in Höhlen zulassen. Um eine Gruppierung der Höhlenmineralien vornehmen zu können, muß von grundlegenden Gesichtspunkten ausgegangen werden.

Als günstigste und aussagekräftigste Möglichkeit, eine Gliederung der Höhlenmineralien als Teil des festen anorganischen Höhleninhaltes zu bekommen, ist die Erfassung der chemischen Zusammensetzung der in Frage kommenden Ausgangsmaterialien und der chemisch-physikalischen Bedingungen bei der Mineralneubildung. Vor allem gilt es, eine Abgrenzung zur »normalen« Mineralvergesellschaftung, bzw. zwischen echten und scheinbaren Höhlenmineralien festzulegen.

Der Chemismus des Höhleninhaltes und der umgebenden verkarstungsfähigen Gesteine wird nur von relativ wenigen chemischen Elementen bzw. Ausgangsmineralien geprägt. Im Fall des Kalkkarstes ist der Calcit - ein Calciumcarbonat - das mit Abstand überwiegende Grundmineral; im Fall des Gipskarstes ist es natürlich der Gips. Als karstformendes Element tritt in zweiter Linie das Wasser in den Vordergrund, das speziell auch für Mineralneubildungen und -umwandlungen eine große Rolle spielt. Eine entsprechende Bedeutung besitzt auch die Höhlenluft, die durch ihre Gehalte an Wasser, Kohlendioxid, Sauerstoff, etc. Einfluß auf die Hö-

lenmineralbildungen nimmt. Höhlenluft und Höhlenwasser sind aber in entscheidender Weise von Klima und Vegetation der Oberfläche abhängig. Entsprechend lassen sich auch deutliche Zusammenhänge zwischen Klima und Höhlenmineralisation, im besonderen der Tropfsteine und des Sinters, beobachten. An dritter Stelle sind die Höhlensedimente mit etwas größerer chemischer Variationsbreite zu erwähnen. Die chemische Vielfalt ist meist darauf zurückzuführen, daß dieses Material zum Teil aus anderen geologischen Bereichen stammt und auf mechanischem Weg in die Karsthohlräume gelangt ist. Als dominierende Mineralien sind hier u.a. Quarz, Glimmer, Tonmineralien, Eisenoxide und Hydroxide zu nennen. Je nach der geologischen Nachbarformation kann dieses Spektrum aber auch durch viele andere Mineralien wie z.B. durch Silikate, Oxide oder Sulfide bereichert werden. Die Zufuhr von karstfremden Elementen kann aber auch auf chemischem Weg, d.h. in gelöster Form durch fließendes Wasser erfolgen. Ebenfalls von außen eingeschwemmt und in Höhlensedimenten angereichert werden organische Substanzen, bzw. tierische und pflanzliche Abbauprodukte, die zusätzlichen Einfluß auf die Mineralneubildungen nehmen. Hier treten vor allem Phosphate, Sulfide, seltener auch Nitrate und Ammoniumverbindungen in den Vordergrund. Zum Teil kommen in den Sedimenten auch Reaktionsabläufe zustande, die durch Mikroorganismen (Bakterien, Pilze) hervorgerufen oder beschleunigt werden. Für die Höhlenmineralbildung in gleichem Maß wichtig sind Verunreinigungen im Kalk, wie z.B. Quarz, Tonmineralien, Dolomit, Limonit oder andere Erze, die zwar nur in geringen Mengen auftreten, aber durch ständige Auflösung des Kalkes ebenfalls zersetzt werden und als chemische Abbauprodukte immer wieder in den Höhlenablagerungen gespeichert und soweit angereichert werden, daß es zu Mineralneubildungen kommt. Die physikalischen Bedingungen in Höhlen zeigen analog den chemischen eine sehr geringe Variationsfreudigkeit. Typisch für Höhlen, wenn man sich auf Karsthöhlen beschränkt, sind abgesehen von immerwährender Dunkelheit niedere Temperatur- und hohe Luftfeuchtigkeitswerte, die das ganze Jahr hindurch nur geringfügigen Schwankungen unterworfen sind, sowie annähernd gleichbleibende, von der Außenwelt direkt abhängige Luftdruckverhältnisse. Zudem ist auch eine ständige, einem gewissen Rhythmus unterworfenen Zufuhr von Lösungen (Höhlenwasser) und Gasen (Höhlenluft) charakteristisch. Im Gegensatz zu anderen Mineralfund-

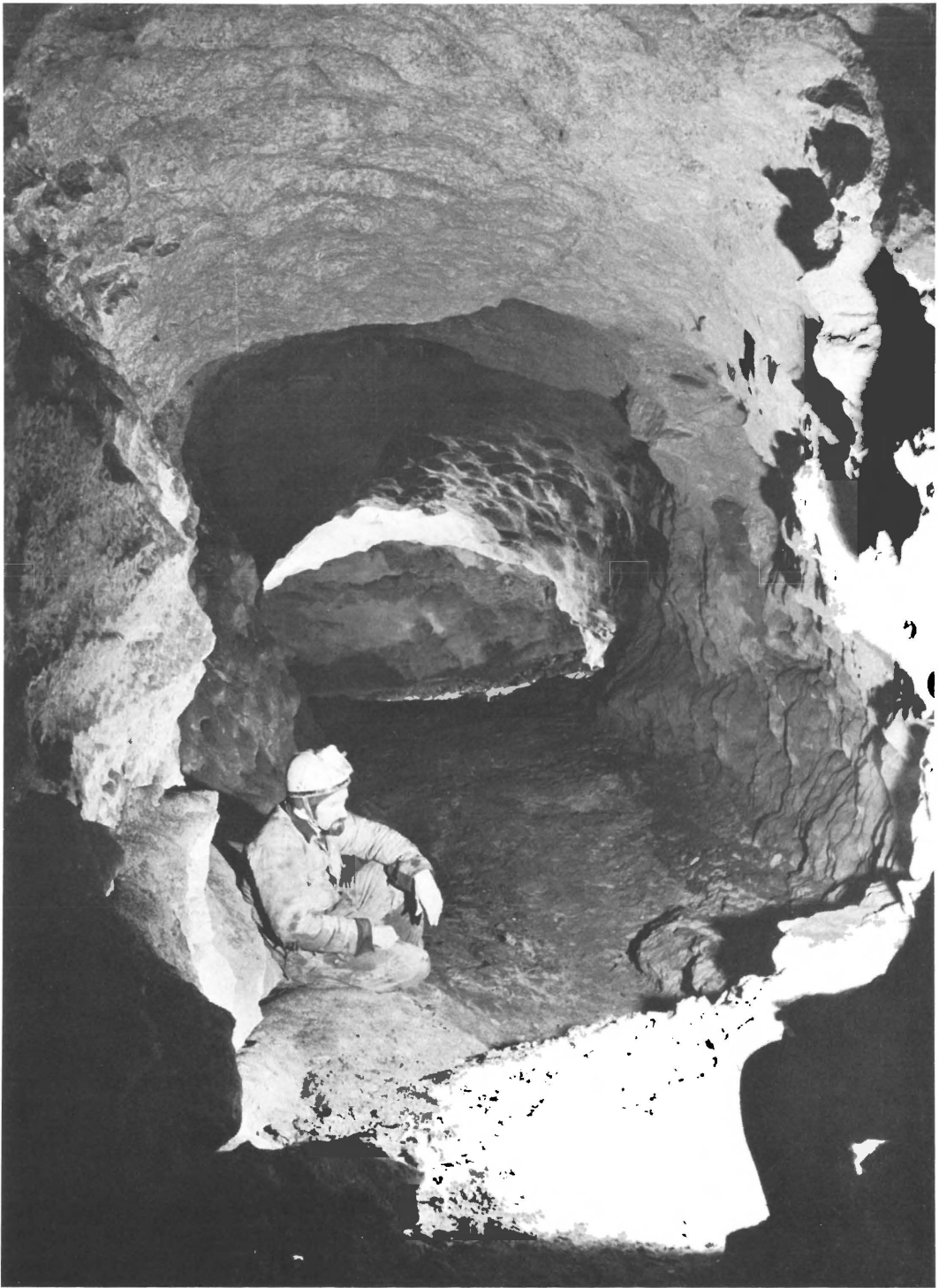


Abb. 13: Ausgeglichenes Rundprofil mit Laugfacetten an den Wänden. »Euminidengang«, Dachstein-Mammuthöhle. (Foto: THALER, Steyr)

stellen bieten die Höhlen in Hinblick auf mineralogische und geochemische Bearbeitung die Vorteile, daß das Mineral nicht nur an Ort und Stelle, sondern auch während des Wachstums zusammen mit allen umgebenden physikalisch-chemischen Bedingungen untersucht werden kann. Im Vergleich dazu liegen z.B. bei den Klufteinlagerungen in den vorwiegend silikatischen Gesteinen unserer Alpen zwischen Bildung und Auffinden oft große geologische Zeiträume. Dabei haben sich schon alle Entstehungsbedingungen soweit verändert, daß sich Aussagen über chemische Zusammensetzung von Ausgangslösungen und Gasen, wie auch von Anfangsdruck und Anfangstemperatur, nicht oder nur sehr schwer machen lassen. In weiterer Konsequenz können sogar exakte Untersuchungen an Höhlenmineralien, bzw. der Vergleich zwischen Entstehungs- und Wachstumsbedingungen und resultierender Kristalltracht Rückschlüsse auf unbekanntere Entstehungsbedingungen bei ähnlichen Mineralausbildungen in anderem geologischen Milieu zulassen.

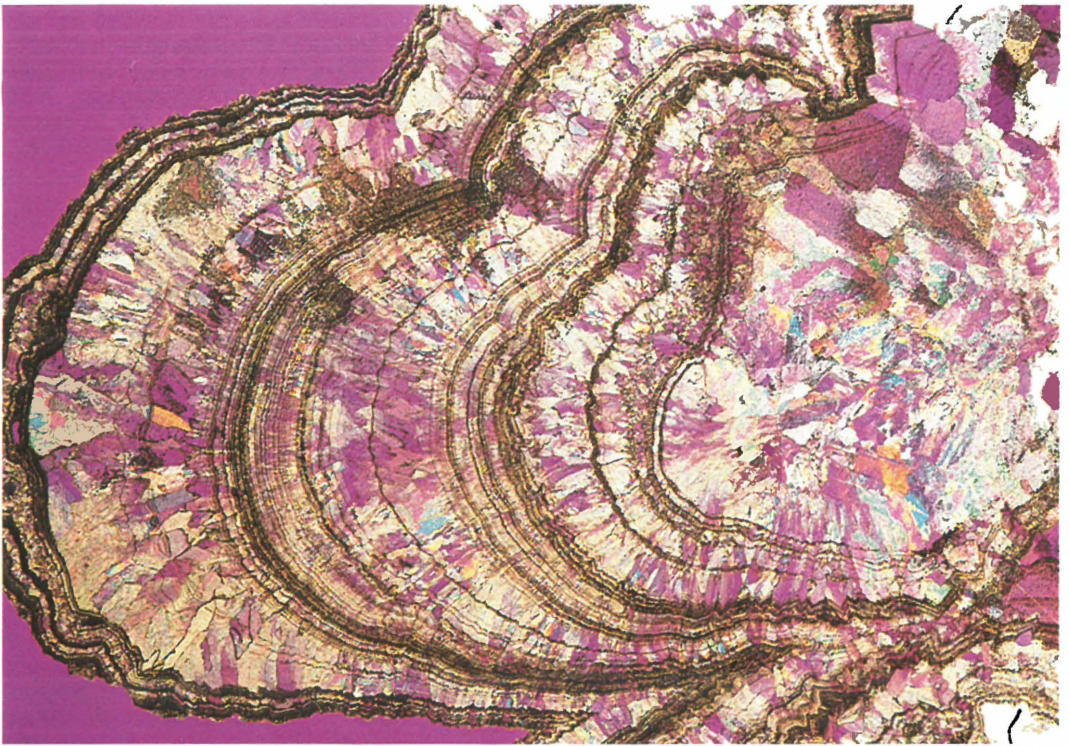
Die Untersuchung von Höhlenmineralien hat aber auch Bedeutung für die Höhle selbst und damit auch für die Landschaft, in der sich diese befindet. So können durch bestimmte Mineralien oder Kristallformen, aber auch durch charakteristisch zusammengesetzte Höhlenablagerungen, Rückschlüsse auf die Art der Höhlenbildung und damit auf das Paläoklima gezogen werden. Weiters lassen sich durch Datierung von Höhlenmineralien und Sedimenten auch die Zeiträume der aktiven und weniger aktiven Verkarstungsperioden ermitteln, was vor allem für die jüngere und jüngste geologische Geschichte unserer Erde von großer Bedeutung ist. Zur Zeit sind auf der Erde ca. 2500 Mineralien bekannt. Im Vergleich dazu bieten die Höhlen mit bisher nachgewiesenen 70 bis etwas über 100 Mineralien (je nach Literatur) eine deutlich geringere Reichhaltigkeit (BÖGLI 1978, HILL 1976, MOORE 1970). Betrachtet man aber die Gleichförmigkeit der chemischen Zusammensetzung der Gesteine, die die Karstgebiete aufbauen, so erscheint die gesamte Anzahl doch relativ hoch. Zudem treten bei einer Vielzahl der Höhlenmineralien zahlreiche verschiedene Erscheinungsformen auf. Die Einteilung des anorganischen, festen Höhleninhaltes, darunter auch die Mineralien, erfolgt einerseits nach der Herkunft, der

Entstehung und andererseits nach dem Chemismus. Es sind drei Hauptgruppen zu unterscheiden, die aber nicht immer eine exakte Trennung zulassen, da genügend Übergänge festzustellen sind.

1. Fremdgesteine oder Fremdmineralien als nichttransportiertes (»autochthones«) Material; Einschlüsse oder Zwischenlagen im verkarstungsfähigen Gestein, bzw. geologische Nachbarformationen, die durch Weglösen des Karstgesteins zum höhlenraumbegrenzenden Material werden. Im weiteren bleiben sie als Lösungsrückstand bzw. in gelöster und wieder ausgediehlener Form in den Höhlensystemen. Dazu zählen hauptsächlich silikatische nicht verkarstungsfähige Gesteine, wie Tonschiefer, Glimmerschiefer, Sandstein, Gneis, etc., aber auch verkarstungsfähige Mineralien, wie Gips, Steinsalz, etc. - weiters feinkörnige lösliche bis unlösliche Verunreinigungen im Karstgestein (Sande, Tone, etc.). Ergänzt wird diese Gruppe durch Mineralneubildungen im Karstgestein, die aber mit dem Verkarstungsprozeß nichts zu tun haben: z.B. Mineralneubildungen in Marmor, Hornstein- bzw. Silexbildung oder Eisensulfidbildungen im Kalk.
2. Fremdgesteine oder Fremdmineralien als transportiertes (»allochthones«) Material; Gesteine und Mineralien, die aus z.T. nicht verkarstungsfähigen Formationen außerhalb des Karstgebietes stammen. Der Transport kann in gelöster (chemischer) oder ungelöster (physikalischer) Form erfolgen (durch Wasser, Wind, Schwerkraft).
 - a) physikalisch allochthon: z.B. diverse Gesteins- und Mineralgerölle, Quarzschotter, Sande, Tone; aber auch organisches Material wie Knochen und Holz.
 - b) chemisch allochthon: ein großes Spektrum von in Höhlen echt neugebildeten, aber auch von zufällig dort wieder auskristallisierten Mineralien. z.B.: Sulfate (Gips, Epsomit, Hexahydrat, Thenardit, etc.), Carbonate (Malachit, Azurit, Siderit, Soda, etc.), Halide (Steinsalz, Fluorit, etc.), Phosphate (Apatit, Brushit, Dahlit, etc.), Silikate (Glimmer, Tonmineralien, etc.), Oxide, Hydroxide (Quarz, Hämatit, Goethit, Eis, etc.), Sulfide (Pyrit, Markasit, etc.).

Abb. 14: Dünnschliff durch einen Knöpfchensinter. Mikroskopische Aufnahme im polarisierten Licht (mit Gipsblättchen). Bildbreite ca. 8 mm. (Foto: H. MARTIN)

Abb. 15: Sinterperlen, Lamprechtsofen bei Lofer, Salzburg. (Foto: R. SEEMANN)



3. Ortsgebundene (anstehende) Gesteine oder Mineralien als autochthones Material; verkarstungsfähiges Gestein, das in gelöster oder ungelöster Form mehr oder minder geringe Strecken, meist noch im Karstkomplex, transportiert wird.

a) physikalisch autochthon: Versturzmateriale, bestehend aus dem anstehenden Karstgestein (z.B. Kalkschutt, Kalkgerölle).

b) chemisch autochthon: aufgelöstes verkarstungsfähiges Gestein bzw. Mineral, das meist noch im Karstkomplex wieder auskristallisiert (Kalk im Kalkkarst oder Gips im Gipskarst).

z.B. im Fall des Kalkkarstes: alle Calcium-Magnesiumcarbonate mit und ohne Wasser: Calcit (Tropfstein, Sinter, etc.), Aragonit, Dolomit, Magnesit, Hydromagnesit, Nesquehonit, Lansfordit, etc.

Echte Höhlenminerale sind als sekundäre, d.h. nach der Höhlenbildung entstandene kristalline Neubildungen zu betrachten. Nach dieser Einteilung beschränken sie sich auf die durch chemischen Transport in Höhlen gelangte und dort ausgeschiedene kristalline Substanzen. Wobei noch die zusätzliche Einschränkung anzuwenden ist, daß selbst auf chemischem Weg in die Höhle gelangte Substanzen nicht zu den echten Höhlenmineralien zu zählen sind, wenn sie zur Gänze Fremdmaterial darstellen und keine chemischen Reaktionen mit den Karstlösungen eingegangen sind und nicht auf Bildungsbedingungen angewiesen waren, die nur in Höhlen herrschen können. Praktisch handelt es sich dabei um Mineralien, die aus Lösungen auskristallisiert sind, die nur zufällig in das Karstsystem gelangten. Dieser Artikel soll nicht Raum bieten, um alle derzeit bekannten Höhlenminerale vollständig aufzuzählen. Es sollen nur einige wenige, vor allem für Österreich typische Mineralien herausgegriffen werden, wobei in kurzer Form auf Entstehung, Ausbildungsform und Vorkommen eingegangen wird.

Tropfsteine: Tropfsteine und Sinter sind sekundäre Kalkablagerungen in Höhlen. In den meisten Fällen bestehen sie aus Calcit. Sie entstehen aus kalkhaltigen Lösungen, die von der Oberfläche her in den Karststock eindringen.

Regenwasser nimmt aus der Luft und in wesentlich verstärktem Maß aus der Bodenschicht Kohlendioxid (CO_2) auf. Das Wasser erlangt erst dadurch die kalklösende Kraft. Auf dem Weg in die Tiefe nimmt es unter Aufweitung der durchflossenen Klüfte und Spalten einen seinem CO_2 -Gehalt entsprechenden Kalkanteil auf. Dieser Kalk kann erst dann wieder abgeschieden werden, wenn das CO_2 abgegeben wird. Dies erfolgt in den bereits vorhandenen Hohlräumen. Kalkabscheidung nur durch Verdunstung des Wassers kann in der Höhle nur in geringem Maße stattfinden, da die Höhlenluft nahezu vollständig mit Wasserdampf gesättigt ist. Bei der Kalkablagerung in unterirdischen Räumen kommt es einerseits zu Ausbildung der charakteristischen Decken- und Bodenzapfen (Decke: Stalaktit, Boden: Stalagmit) und andererseits zur Ablagerung von Wand- und Bodenüberzügen in Form von Sinterdecken.

Das Jugendstadium der Stalaktiten sind die Sintertröhrchen (Abb. 17). Das dünnwandige hohle Gebilde, das Längen bis zu 2 m erreichen kann, entsteht durch ringförmige Ablagerungen von feinen Calcitkristallen entlang der gemeinsamen Phasengrenze zwischen hängendem Wassertropfen, Höhlendecke, bzw. dem schon vorhandenen Sintertröhrchen und der Höhlenluft. Das Längenwachstum hält solange an, solange die Lösungsmittelzufuhr durch das Innere des Tröhrchens erfolgt. Tritt zufällig einmal eine Verstopfung des Kanals ein, so setzt das Dickenwachstum ein und es entsteht die normale Form des Stalaktits. Zum Unterschied vom Bodenzapfen weist der Deckenzapfen deshalb auch einen Kanal im Zentrum auf.

Die Ablagerung des Calcites in Form des Höhlensinters erfolgt im Normalfall schichtweise, wobei Verunreinigungen durch Ton oder Limonit markante Zwischenlagen bilden können (Abb. 14). Die durchschnittliche Wachstumsgeschwindigkeit von Tropfsteinen ist sehr unterschiedlich. Sie schwankt nach BÖGLI (1978) pro Jahr zwischen 1 und 40 mm bei Sintertröhrchen und zwischen 0,005 und 7 mm bei Stalaktiten und Stalagmiten.

Zu den Sonderformen der Sinterbildungen zählen u.a. Bergmilch, Knöpfchensinter, Höhlenperlen und Excentriques.

Abb. 17: Excentriques und Sintertröhrchen, Excentriqueshöhle bei Erlach, NÖ. (Foto: H. ILMING)

Abb. 18: Hydromagnesit als blasenförmige Ausblühung aus Höhlenton. Dachstein-Mammuthöhle, OÖ. (Foto: R. SEEMANN)



Bergmilch entsteht einerseits aus kalkreichen Lösungen, die schnell den Calcit ablagern, es bleibt dabei keine Zeit, daß sich große Kristalle bilden können; andererseits gibt es Theorien, die besagen, daß sich Bergmilch auch als Zersetzungsprodukt von Sintern bilden kann. In beiden Fällen der Bergmilchbildung sollen auch biologische Prozesse mitwirken. Im Elektronenmikroskop zeigen sich bei ca. 1000facher Vergrößerung extrem dünne und relativ lange Calcitnadeln (Abb. 16). In den dazwischenliegenden Hohlräumen kann Bergmilch bis zu 70% Wasser, aber auch viele Verunreinigungen aufnehmen.

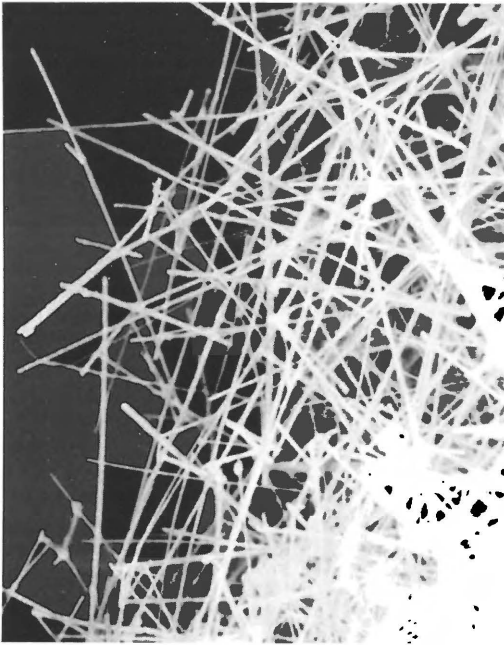


Abb. 16: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer Bergmilch. Bildbreite ist 0,09 mm. Die dünnen Calcitnadeln weisen eine Stärke von ca. 0,001 mm auf. (Foto: G. KURAT)

Die Entstehung von Knöpfchensinter, bzw. Perl- oder Korallensinter wird der Verdunstung von Kapillarwasser zugeschrieben, das durch feinste Ritzen und Poren des Karstgesteins austritt; z.T. ist auch eine direkte Abscheidung von Calcit aus der extrem feuchten Höhlenluft nicht auszuschließen.

Höhlenperlen entstehen in kalkreichen Wässern, die sich in Höhlentümpeln und Becken sammeln. Um ein Sandkorn oder einen anderen

Fremdkörper als Zentrum wächst, ähnlich wie bei einer echten Perle, konzentrisch schalenförmig Calcit auf. Die Perle wird dabei immer größer. Durch ständig in das Becken fallendes Tropfwasser werden die Perlen soweit in Bewegung gehalten, daß ein Zusammenwachsen unmöglich ist (Abb. 15).

Die Excentriques zählen zu den ungewöhnlichsten und formenreichsten Sintererscheinungen in Höhlen. Wie schon ihr Name sagt, wachsen sie scheinbar unabhängig von der Schwerkraft wirt in alle Richtungen des Höhlenraumes (Abb. 17). Für deren Entstehung gibt es zahlreiche Theorien: so werden für die Bildung sowohl Kapillarwasser als auch direkte Calcitabscheidung aus der Luft in Zusammenhang mit Luftbewegungen und Elektrostatik herangezogen.

Neben Calcitabscheidung an der gemeinsamen Phasengrenze Wasser, Fels, Luft, bei der es zur Sinterbildung kommt, kann es unter Wasser in entsprechend gesättigten Kalklösungen zur direkten Calcitkristallisation kommen. Dabei werden Sinterbecken oder ganze unter Wasser stehende Höhlenräume mit meist nadeligen Kristallen ausgekleidet. Neben Calcit, dem trigonal rhomboedrisch kristallisierenden Calciumcarbonat, tritt zumindest in Österreich in wesentlich selteneren Fällen auch der unter Höhlenbedingungen instabile rhomische Aragonit auf. So konnte er neben Calcit, Dolomit und Hydromagnesit in der Dachstein-Mammuthöhle nachgewiesen werden. In den meisten Fällen sind Aragonitbildungen auf Höhlen mit höherer Durchschnittstemperatur beschränkt oder von gewissen Lösungsgenossen abhängig.

Als außergewöhnliches Höhlenmineral konnte der schon erwähnte Hydromagnesit in einigen hochalpinen Höhlen Oberösterreichs und Salzburgs nachgewiesen werden (Dachstein-Mammuthöhle, Salzburgerschacht, Untersberg, Sbg.). Er tritt auf als dünnwandige, blasige Ausblühung aus Höhlenlehm oder direkt aus der Höhlenwand (Abb. 18). Hydromagnesit ist ein wasserreiches Magnesiumcarbonat, das normalerweise und mit deutlich größerer Häufigkeit in den Verwitterungshorizonten von Serpentin oder ähnlichen Gesteinen auftritt. In Höhlen kann seine Bildung nur durch kontinuierliche Anreicherung von Magnesium aus den an sich magnesiumarmen Karstwässern erfolgen.

Ein in Höhlen häufiger anzutreffendes Mineral ist der Gips. Je nach seiner Herkunft und nach seiner Entwicklung ist er als echtes, aber auch als unechtes Höhlenmineral zu führen (eindeutig echtes Höhlenmineral ist er im Gipskarst).

Sehr charakteristisch sind seine haarfeinen



Abb. 20: Eissäule im »Tristandom«, Dachstein-Eishöhle. (Foto: E. SCHEURECKER)

Ausblühungen, die rasenartig auf tonigen Höhlensedimenten auftreten. Ungewöhnliche, bis zu 25 cm lange, aber nur wenige Millimeter starke Gipsnadeln sind aus der Tantalhöhle (Hagengebirge) bekannt. In Form schöner idiomorpher Einzelkristalle oder Kristallaggregate tritt der Gips in plastischen Höhlensedimenten auf (Kohlerhöhle, Erlaufboden, NÖ). Bei besonders reichem Gipsangebot können ganze Sedimentschichten aus diesem Material bestehen; z.T. werden sie auch als Umwandlung von vorhandenem Calcit in Gips gedeutet (Kraushöhle, Gams, Steiermark).

Die Eisensulfide Pyrit und Markasit, die besonders in den zentralen Teilen der Nördlichen Kalkalpen (Dachstein, Totes Gebirge, Tennengebirge etc.) auftreten, waren lange Zeit umstrittene Höhlenmineralien. Sie konnten aber zusammen mit deren Umwandlungs- und Zersetzungsprodukten, den Limonitpseudomorphosen und den Bohnerzen, als echte Höhlenmineralien identifiziert werden. Obwohl das notwendige Eisen und der notwendige Schwefel z.T. aus geologisch anderen Formationen stammen, war eine Eisensulfidbildung unter bakterieller Beeinflussung nur im Höhlenmilieu möglich. Besonders schöne und große, unter besonderen Umständen sogar noch vollständig unverwitterte Pyrite und Markasite stammen aus der Dachstein-Mammuthöhle und aus der Koppenschlucht (Abb. 19) (SEEMANN 1979).



Abb. 19: »Bohnerz« aus der Dachstein-Mammuthöhle. Eine Pseudomorphose von Limonit nach Pyrit. Größe des Objektes ca. 3 cm. (Foto: R. SEEMANN)

Phosphatmineralien treten meist in Verbindung mit abgelagerten fossilen Knochen auf. So ist z.B. Brushit aus dem Salcherschacht (NÖ) und Carbonatapatit aus dem Karstgebiet Deutsch-Altensburg (NÖ) bekannt (NIEDERMAYR & SEEMANN 1974). Beides sind Fundstätten fossiler Knochen.

Ein Mineral, das auf der Erdoberfläche zu einem der häufigsten zählt, wird meist vergessen, selbst in gewissenhaften Mineralsystematiken ist sein ihm zustehender Platz meist frei. Es handelt sich um Eis. Speziell in Österreich, dessen Eishöhlen von weltweiter Bedeutung sind, muß auf das Eis auch als echtes Höhlenmineral hingewiesen werden. Eis bildet ähnlich wie Calcit - aber nach gänzlich anderen chemisch-physikalischen Prinzipien - Eisstalaktiten und -stalagmiten, Eissäulen, sowie Boden- und Wandüberzüge (Abb. 20). Eis kann in Höhlen auch durch Sublimation entstehen, wobei sich bis zu handtellergroße hauchdünne Kristalle direkt aus der unterkühlten, feuchten Höhlenluft abscheiden, ohne daß das flüssige Zwischenstadium (Wasser) durchlaufen wird (Abb. 21).

Besonders seltene und für Höhlen z.T. völlig ungewöhnliche Mineralien, darunter Soda, Thernardit, Pickeringit, Steinsalz konnten in letzter Zeit in Höhlen des Untersberges (Salzburger Schacht) gefunden werden. Ein Teil dieser Mineralien ist aber nicht unbedingt den echten Höhlenmineralien hinzuzuzählen. Das gehäufte Vor-

Abb. 21: Rauhreifbildung in der Eiskogelhöhle, Tennengebirge. Eiskristalle an der Höhlendecke und Nahaufnahme der ca. handtellergroßen tafelförmigen Eiskristalle. (Foto: W. HARTMANN)



kommen wird auf nahegelegene, durch den Verkarstungsprozeß angeschnittene Evaporitlagerstätten zurückgeführt (KNAPCZYK 1978).

Die Liste der seltenen Höhlenminerale in Österreich wird zudem mit Funden von für dieses Milieu ungewöhnlichen, wasserhaltigen und leicht löslichen Magnesiumsulfaten (Epsomit, Hexahydrat) aus niederösterreichischen und steiermärkischen Höhlen bereichert. Normalerweise treten derartige Mineralien vorwiegend in Salzlagerstätten auf.

Da die Entwicklung der Erforschung von Höhlen nicht nur auf dem sportlichen und klettertechnischen Sektor, sondern auch in der detaillierten wissenschaftlichen Untersuchung der Höhle und des Höhleninhaltes gediehen ist, kann erwartet werden, daß nicht nur weitere, vielleicht sogar neue Mineralien in Höhlen gefunden werden können, sondern auch eine gesteigerte Aussagekraft für die Höhle, für das Klima und im gesamten für die jüngere geologische Geschichte Österreichs und der Alpen möglich sein wird.

Das Höhlenklima

Heinrich MRKOS*)

Da die Höhlenräume durch ihre Eingänge und durch Spalten mit der Außenwelt in Verbindung stehen, bildet im Normalfall die Luft den »gasförmigen Höhleninhalt«. Trotzdem besitzen Höhlen ein eigenes Mikroklima. Dieses ist im wesentlichen durch folgende Faktoren gekennzeichnet: stark verminderte Temperaturschwankungen und eine deutliche Verzögerung im Jahresrhythmus; eine Luftschichtung, die jener in geschlossenen Räumen entspricht; hohe Luftfeuchtigkeit.

Infolge des Fehlens der Sonneneinstrahlung wird die Temperatur in den Höhlen vor allem von jener des sie umschließenden Gesteins bestimmt und damit weitgehend konstant gehalten. Abgesehen von tief im Berge liegenden Teilen, wo bereits ein Einfluß der Erdwärme festgestellt werden kann, entspricht die Gesteinstemperatur dem jeweiligen Jahresmittel der Temperatur an der Erdoberfläche. Daraus folgt, daß sich Veränderungen des Großklimas auch in Höhlen bemerkbar machen.

Da die Luft - so wie alle Gase - das Bestreben hat, Unterschiede auszugleichen, erfolgt durch die Öffnung der Höhlen zur Außenwelt - und darunter sind nicht nur die für den Menschen passierbaren Höhleneingänge, sondern alle wetterwegbaren Verbindungen zu verstehen - ein Luftaus-

Weiterführende Literatur:

- BÖGLI, A. (1978): Karsthydrographie und physische Speläologie. - Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 292 S.
- FORD, T.D., CULLINGFORD, C.H.D. (1976): The Science of Speleology. - Academic Press, London-New York-San Francisco, 593 S.
- HILL, C. (1976): Cave Minerals. - Natl. Speleological Soc., Alabama, USA 137 S.
- KNAPCZYK, H. (1978): Neues vom Untersberg. - Atlantis 1 (Salzburg): 5-19.
- MOORE, G.W., (1970): Checklist of Cave Minerals. - Natl. Speleological Soc. News 28: 9-10.
- NIEDERMAYR, G., SEEMANN, R. (1974): Vorläufiger Bericht über sedimentpetrographische und mineralogische Untersuchungen an Höhlensedimenten des Karstgebietes Pfaffenberg bei Bad Deutsch-Altenburg (NÖ). - Die Höhle 25/1 (Wien): 3-11.
- SEEMANN, R. (1979): Die sedimentären Eisenvererzungen der Karstgebiete der Nördlichen Kalkalpen. - Ann. Naturhist. Mus. Wien 82, im Druck.
- TRIMMEL, H. (1968): Höhlenkunde. - Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 300 S.

tausch, wobei insbesondere das Druck- und Spannungsgefälle infolge der Temperaturunterschiede die motorische Kraft bildet. Art und Intensität der Luftbewegung werden jedoch wesentlich von dem Umstand beeinflusst, ob nur ein Höhleneingang besteht oder ob mehrere wetterwegsame Öffnungen vorhanden sind, wobei deren unterschiedliche Höhenlage oder Richtung die Luftzirkulation zusätzlich fördern (Abb. 22).

Schon zu Ende des vorigen Jahrhunderts beschäftigten sich B. SCHWALBE, E. FUGGER, H. CRAMMER und R. SIEGER mit der »Bewetterung« der Höhlen, wie diese meteorologischen Verhältnisse in Anlehnung an die Ausdrucksweise im Bergbau bezeichnet werden. Dabei konnten als Grundtypen folgende Verhältnisse erkannt werden:

1. statische Wetterführung bei Höhlen mit nur einem Eingang. Solche Höhlen wurden als »Sackhöhlen« bezeichnet.
2. dynamische Wetterführung bei Höhlen mit mindestens zwei Eingängen bzw. wetterwegsamem Öffnungen in verschiedener Geländelage. Diese Höhlen wurden »Windröhren« genannt.

Bei statischer Wetterführung ist der Luftaustausch zwischen Höhle und freier

*) Dipl.-Ing. Heinrich MRKOS, Landesverein für Höhlenkunde in Wien und NÖ, 1020 Wien, Obere Donaustr. 99