© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter www.biologiezentrum.at

DIE HÖHLE

ZEITSCHRIFT FÜR KARST- UND HÖHLENKUNDE

Jahresbezugspreis: Österreich S 120,—
Bundesrepublik Deutschland DM 20,—
Schweiz sfr 18,—
Übriges Ausland S 140,—

DVR 0556025

Gefördert vom Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung (Wien)

Organ des Verbandes österreichischer Höhlenforscher / Organ des Verbandes der deutschen Höhlen- und Karstforscher e. V.

AU ISSN 0018-3091

AUS DEM INHALT:

Untersuchungen über die Genese der Aragonithöhle von Ochtina (Rajman, Roda jr., Roda sen. und Sčuka) / Regionale karsthydrologische Untersuchungsprogramme - eine Programmstudie, Teil 2 (F. Bauer) / Bemerkungen zu einer Veröffentlichung über Vergipsung und Volumenszunahme von Anhydrit (Reinboth) / Kurzberichte / Kurz vermerkt / Veranstaltungessum / Schriftenschau / Impressum

HEFT 1 44. JAHRGANG 1993

Untersuchungen über die Genese der Agragonithöhle von Ochtina (Slowakei)

Von Ladislav Rajman, Stefan Roda jr., Stefan Roda sen. und Julius Sčuka (Rožňava)

Im Rahmen der Aufgaben des Höhlenlaboratoriums bei der Gombaseker Höhle (Gombasecka jaskyna, Ostslowakei) werden seit dem Jahre 1980 Forschungen über die Genese der Aragonithöhle von Ochtina (Ochtinska aragonitova jaskyna) durchgeführt. Sie erstrecken sich hauptsächlich auf das Studium der chemisch-physikalischen Prozesse bei der Entstehung der Höhlenräume selbst sowie auf die Entstehung und Entwicklungsbedingungen der allochthonen und autochthonen Gebilde im Höhleninneren. Im Hinblick auf die besonderen Problemstellungen, die sich aus der Eigenart der geologischen Situation und der Mineralbildungen der Aragonithöhle ergeben, sollen aus den Ergebnissen der durchgeführten Forschungen auch Schlüsse über notwendige Schutzmaßnahmen für dieses nahezu einmalige Naturdenkmal gezogen werden.

Allgemeine Charakteristik der Aragonithöhle und ihrer Umgebung.

Die Ochtinská aragonitová jaskyna, deren derzeitiger (künstlich geschaffener) Eingang in 724 m Seehöhe liegt, befindet sich im Nordwesthang des 809, 3 m hohen Hradok im Gemeindegebiet von Ochtina (Kreis Rožňava). Der Hradok liegt in einem fluviatil gestalteten Bergland mit einem durch Erosion und Denudation

© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter www.biologiezentrum.at

geprägten Mittelgebirgsrelief mit relativen Höhen bis zu 310 Metern in einer schwach metamorphen Gesteinsserie. Das Bergland bildet einen Teil des Slowakischen Erzgebirges.

Das Gebiet in der Umgebung der Höhle weist ein mäßig warmes, feuchtes Mittelgebirgsklima mit einer mittleren Jahrestemperatur von 6,8 °C auf. Die durchschnittliche Jahres-Niederschlagssumme liegt bei 825 mm; die mittlere Mächtigkeit der winterlichen Schneedecke beträgt 40 bis 50 cm, die Dauer der Schneelage durchschnittlich 100 bis 120 Tage. Die jährliche Verdunstung der Erdoberfläche überschreitet 500 Millimeter. Der jährliche Abfluß, der ins Flußgebiet der Slana erfolgt, erreicht 10 l/sec pro Quadratkilometer.

Der unterirdisch abfließende Anteil der Niederschlagswässer infiltriert in paläozoische Gesteine mit unterschiedlicher hydrologischer Wertigkeit. Diese Wässer alimentieren die umliegenden Quellen, deren Schüttungsverhalten eine seichte, oberflächennahe Zirkulation der unterirdischen Wässer signalisiert. Das hydrologische Regime wird durch das Vorhandensein eines umfangreichen Systems alter Grubenbaue, die die natürlichen Zirkulations- und Akkumulationsverhältnisse gestört haben, nachhaltig beeinflußt.

Die weitere Umgebung der Aragonithöhle nimmt in der Geologie der Westkarparten eine besondere Stellung ein: es ist das Gebiet mit der vollständigsten Entwicklung der paläozoischen Schichtfolge und zugleich durch reiche Erzvorkommen ausgezeichnet. Am geologischen Bau sind mit dem Gemerikum, dem Veporikum und dem Silizikum drei stratigraphisch-tektonische Einheiten beteiligt. Das Untersuchungsgebiet selbst liegt im organogenen pelitischen Schichtpaket der Gelnicer Gruppe des Gemerikums; es handelt sich dabei um Gesteine des älteren Paläozoikums, die im Hradok in Form eines tektonischen Fensters hervortreten. Diese Sedimentgesteine enthalten Lagen metosomatisch veränderter Karbonate.

Die Aroganithöhle liegt in kristallinen Kalken und Dolomiten innerhalb dieser Schichtgruppe, die teilweise biogenen, teilweise chemischen Ursprungs ist und eine ganze Skala von Übergängen zu klastisch sedimentären und zu klastisch vulkanogenen Gesteinen aufweist. Die Höhlenräume sind in einem linsenförmigen Karbonatkörper ausgebildet, dessen Längsachse von Nordost nach Südwest verläuft, und der mit unterschiedlicher Neigung gegen Südosten einfällt.

Die Aragonithöhle wurde 1954 entdeckt, als man einen Erkundungsstollen vortrieb, um eine Eisenerzlagerstätte zu überprüfen. Die Erschließung als Schauhöhle erfolgte 1967 über einen 144 m langen Tunnel.

Zur Genese der Aragonithöhle.

Für die Entwicklung der Hohlräume sind die tektonische Anlage, sowie die primären und sekundären Vererzungsprozesse im Karbonatkörper und die dabei auftretenden hydrogeochemischen Vorgänge von entscheidender Bedeutung. Während sich aber die tektonischen Vorgänge und die Vererzungen in früheren erdgeschichtlichen Epochen abspielten, gehen die hydrogeochemischen Prozesse - im wesentlichen die korrosive Tätigkeit der Karstwässer - auch in der Gegenwart weiter. In dem durch Stratigraphie und Tektonik geschaffenen Netz wasserwegsamer Gesteinsfugen, das das Eindringen des Niederschlagswassers in den Gesteinskörper ermöglichte, ist die korrosive Wirkung der Wässer zum wichtigsten Gestalter der Morphogenese geworden.

© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter www.biologiezentrum.at

Eine besondere Rolle für die Morphogenese der Karsthöhle spielen zweifellos die Vererzungen sowohl im Karbonatkörper als auch in den Nachbargesteinen. Die vererzende Mineralisierung der umliegenden Gesteine beeinflusste in der Vergangenheit wahrscheinlich auch den Chemismus der Karstwässer, deren Aggressivität sich gegenüber den üblichen Verhältnissen im Karst nicht unbeträchtlich erhöht haben dürfte. Ein für die Genese der Aragonithöhle sicher ebenfalls wichtiger Faktor war die als Folge der Einwirkung des infiltrierenden Wassers aufgetretene Oxidation der Siderit-Ankerit-Vererzung im Karbonatkörper selbst. Diesen Vorgang der Limonitisierung von Siderit beschreibt SMIRNOV (1956) mit folgender chemischer Gleichung:

$$FeCO_3 + H_2O + CO_2 = Fe(HCO_3)_2$$
$$4\,Fe(HCO_3)_2 + 2\,H_2O + O_2 = 4\,Fe(OH)_3 + 8\,CO_2$$

In ähnlicher Weise beschreibt SMIRNOV die Limonitisierung von Pyrit, der in den Nachbargesteinen der Karbonatlinse mit der Höhle häufig auftritt, folgendermaßen:

$$2\,FeS_2 + 7\,O_2 + 2\,H_2O = 2\,FeSO_4 + 2\,H_2SO_4$$
$$4\,FeSO_4 + 2\,H_2SO_4 + O_2 = 2\,Fe_2(SO_4)_3 + 2\,H_2O$$
$$Fe_2(SO_4)_3 + 6\,H_2O = 2\,Fe(OH)_3 + 3\,H_2SO_4$$

Wie aus den angeführten Gleichungen hervorgeht, entsteht als Endprodukt der Oxidationsprozesses Ocker, der zum Teil in der Höhle als Sediment abgelagert wurde, in überwiegendem Maße jedoch von den Sickerwässern weggeschwemmt worden ist. Mit diesem thermopositiven Vorgang hängt wahrscheinlich auch die Genese der sekundären Sinterbildungen in der Höhle zusammen; diese Annahme soll in den folgenden Abschnitten erörtert werden.

Zur Genese der autochthonen Höhlenablagerungen.

Als autochthone Bildungen findet man in der Aragonithöhle einerseits einen vorwiegend aus einer kristallinen Modifikation von Aragonit („Eisenblüte", Anm.d.Red.) bestehenden Sinterschmuck, andererseits Höhlensedimente, die überwiegend als Endprodukte der Gesteinsverwitterung anzusehen sind. Diese Sedimente enthalten aber auch durch unterirdische Wässer transportierte und chemisch ausgefällte wässrige Silikate sowie Metalloxide.

Dominierend in den Höhlenräumen ist jedenfalls der sekundär kristallisierte Aragonit, der in drei unterschiedlichen morphologischen Abarten vorkommt: in spiralförmiger, nadelförmiger und nierenförmiger Gestalt. Während man bei den beiden erstgenannten Formen im Hinblick auf ihre Superposition über die Entwicklungsbedingungen diskutieren kann, ist das Vorkommen in nierenförmiger Gestalt polymorpher Natur. Für den spiralig auftretenden Aragonit ist das Vorkommen in büschelartiger Form kennzeichnend. Auffällig ist das Vorhandensein eines Zentralkanals; mikroskopische Aufnahmen zeigen, daß diese Form kryptokristallin ist, mit einem radial-strahlenförmig um den Zentralkanal orientierten Aragonitkristall (Abb. 1). Aus der Form geht hervor, daß die sinterbildende Lösung durch den Zentralkanal zugeleitet wird, worauf nach dem Wechsel des Aggregatzustan-

© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter www.biologiezentrum.at

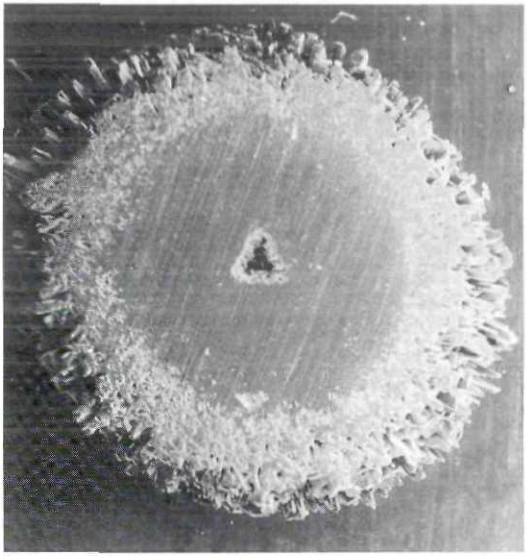

Abb. 1: Mikroaufnahme des Querschnittes eines spiralförmigen Aragonits (Eisenblüte) mit Zentralkanal

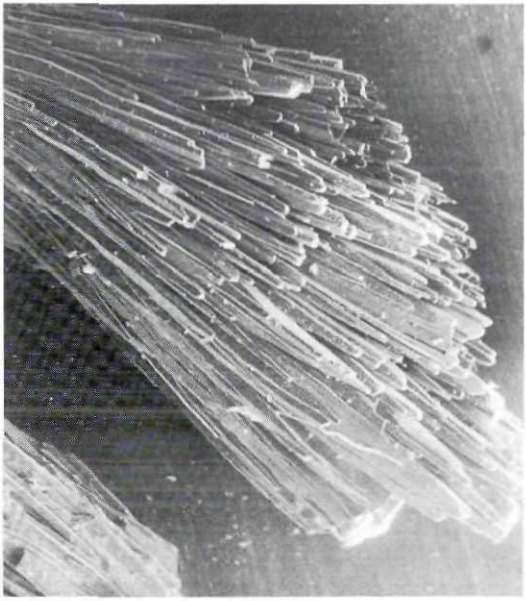

Abb. 2: Nadelförmiger Aragonit (Mikroaufnahme)

des des Wassers unter den Bedingungen einer gestörten Kristallisation die exzentrische Form zustande kommt. Die Anwesenheit von Opal im Zentralkanal beweist, daß die sinterbildenden Wässer zum Zeitpunkt der Ausscheidung des Aragonits reich an SiO_2 waren, was vermutlich einer der Gründe für die gestörte Kristallisation war. Voraussetzung dabei ist, daß die Kristallisation bei niedriger relativer Luftfeuchtigkeit verlief, was eine schnelle Verdunstung des Wassers aus der sinterbildenden Lösung ermöglichte. Die Bedingungen für die Entstehung der spiralförmigen Aragonite gingen den physikalisch-chemischen Bedingungen für die Entstehung von Aragonitnadeln voran. Diese Feststellung ergibt sich aus der Tatsache, daß die nadelförmigen Aggregate auf den spiralförmigen aufsitzen. Bei den Aragonitnadeln (Abb. 2) handelt es sich, wie in mikroskopischen Aufnahmen zeigen, um Monokristalle, deren vom Kristallisationszentrum ausgehendes Wachstum der Hauptachse des Kristalles folgt. So entstehen in verschiedene Richtungen orientierte Nadeln, die sich gelegentlich auch unter bestimmten Winkeln verzweigen.

Die zur Entstehung der Aragonitnadeln führenden Lösungen erhielten kein kolloides SiO_2; zu den physikalischen Bedingungen

© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter www.biologiezentrum.at

ihrer Bildung zählen wir auch eine langsame Verdunstung des Wassers. Die gegenüber den Bedingungen bei der kryptokristallinen Ablagerung von Aragonit (in spiraliger Form) langsamere Verdunstung des Wassers setzt eine höhere relative Luftfeuchtigkeit im Höhlenraum voraus.

Aragonit tritt in der Aragonithöhle von Ochtina auch in nierenförmiger Gestalt auf; es handelt sich dabei um Aragonit-Sinterplatten oder um halmartige Aggregate aus Aragonitkristallen. Ihre Eigenart liegt im Vorhandensein einer Schichtung, wobei die halmartigen Aggregate der Aragonitkristalle jeweils senkrecht zu den Schichtflächen angeordnet sind. Lumineszenzuntersuchungen zeigen, daß in einigen Schichten Opal auftritt (Abb. 3). Dadurch werden Unterschiede im Chemismus der sinterbildenden Lösungen dokumentiert, die auch eine der Voraussetzungen für die Entstehung der Schichtung waren. Ein weiterer wichtiger physikalischer Faktor für die Entstehung der geschichtet-nierenförmigen Ablagerungen ist der unausgewogene Transport der sinterbildenden Lösungen gegenüber der Verdunstung.

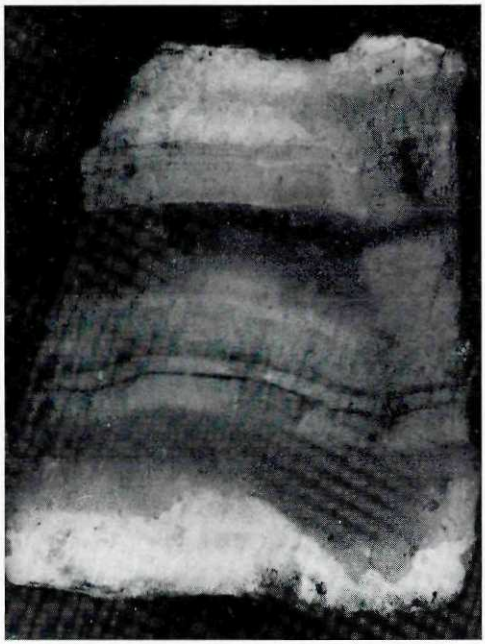

Abb. 3: Mikroaufnahme einer Aragonit-Sinterplatte. Lumineszenzuntersuchungen zeigen die Anwesenheit einiger Opal-Schichten

Ergebnisse chemischer und physikalischer Untersuchungen

Die Analyse der Karbonate zeigt, daß alle untersuchten Proben sehr reine Kalziumkarbonate sind. Der Gehalt an CaO weicht vom stöchiometrischen Gehalt in reinem $CaCO_3$ nur minimal ab, und zwar von 0, 00% bis 2, 29%; nur in einem Falle wurden 5, 28% gemessen. Es handelt sich um eisenarme Karbonate; nur in zwei Fällen überschritt der Gehalt am Fe_2O_3 1%. Magnesium konnte nur in einer Probe mit mehr als 1% nachgewiesen werden, die Konzentration anderer Elemente überstieg in keinem Falle 0, 5%. Die Silikatanalysen der Höhlensedimente ergaben, daß es sich um Aluminosilikate mit einem relativ hohen Gehalt von Fe_2O_3 - von 6, 25 bis 42, 05% handelt. Neben Magnesium, das in den Proben mit 1, 70 bis 4, 45% vertreten ist, kommt vor allem Mangan mit 2,20 bis 8,25% Anteil vor. Die infiltrierenden Karstwässer sind im Vergleich mit solchen aus anderen Karstgebietn relativ weich und wenig mineralisiert. Die aus dem Aerosol ausgeschiedenen Wässer sind sehr weich.

In früheren Arbeiten haben wir die Auffassung vertreten, daß die Bildung des

© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter www.biologiezentrum.at

Aragonit-Kristallgitters bei der Ausscheidung von $CaCO_3$ aus der Lösung durch den Sr- und Ba-Gehalt im Bereich der Aragonithöhle bedingt sein könnte. Bei weiteren Untersuchungen in anderen Tropfsteinhöhlen des Slowakischen Karstes haben wir aber festgestellt, daß der Sr- und Ba-Gehalt in Sinterbildungen, die ausschließlich aus Kalzit aufgebaut sind, ähnlich oder sogar höher ist als in den Aragonitkristallen der Aragonithöhle. Die Anwesenheit von Ba oder Sr kann daher nicht der entscheidende Faktor für die Bildung von Aragonit an Stelle von Kalzit sein.

Der CO_2-Gehalt der Höhlenluft in der Aragonithöhle schwankt zwischen 3600 und 6300 mg/m³ und bewegt sich damit in der auch für andere Karsthöhlen charakteristischen Höhe. Allerdings zeigen sich keine deutlichen, besonders ausgeprägten Maxima, was sicher günstig ist, da sich höhere Kohlendioxidkonzentrationen auf die Aragonitbildungen korrosiv auswirken würden.

Das Mikroklima der Aragonithöhle hat sich im Zuge der Erschließung mehrfach verändert. Nach dem Durchbruch des (zum Höhlenraum hin abfallenden) Eingangsstollens traten neben einer hohen relativen Luftfeuchtigkeit auch relativ große Temperaturschwankungen auf. Nach dem Einbau von drei Wettertüren verringerte sich die relative Luftfeuchtigkeit in der Höhle und auch die Temperaturschwankungen im Laufe des Jahres nahmen deutlich ab.

Um beurteilen zu können, ob sich die Aragonite der Höhle gegenwärtig in einer Wachstumsperiode befinden oder nicht, wurden radiometrische Bestimmungen künstlicher Radionukleide vorgenommen, die erst seit den ersten Kernversuchen auf der Erde vorkommen. Ein völliges Fehlen dieser Elemente schließt eine aktuelle Weiterentwicklung, bezw. Neubildung von Aragonitkristallen eindeutig aus. Untersuchungen im Laboratorium der McMaster University in Hamilton (Kanada) haben dies bestätigt.

Datierungen der Proben, die bei dieser Gelegenheit durchgeführt wurden, erstreckten sich auf eine Aragonitnadel (OCH 1) und auf drei Proben aus einer Aragonit-Sinterplatte eines nierenförmigen Aggregates (OCH 2), die aus den verschiedenen Schichten dieser Ablagerung stammen. (Tabelle 1).

Aus dem Vergleich der ermittelten Alter der Proben OCH 2A und OCH 2B läßt sich eine Wachstumsgeschwindigkeit von 1 Millimeter Sinter in etwa 2000 bis 2200 Jahren ableiten.

Tabelle 1: Ergebnisse der absoluten Altersbestimmung von Aragonit-Sintern aus der Aragonithöhle von Ochtina

Probe	U ppm	234/238	230/234	230/232	Alter(in Jahren)
OCH 1	10,35	1,2072	0,118	28	13600 ± 500
OCH 2A	10,27	1,418	0,703	722	121000 ± 6500
OCH 2B	44,02	1,506	0,763	493	138400 ± 6800
OCH 2C	Thorium fehlt zur Gänze; kein Ergebnis				

Beschreibung der untersuchten Proben:
OCH 1: nadelförmiger Aragonit
OCH 2: Aragonit-Sinterplatte, in drei Schichten unterteilt:
OCH 2A: obere, etwa 8 mm starke Schichte
OCH 2B: mittlere, etwa 8 mm starke Schichte
OCH 2C: untere, etwa 8 mm starke Schichte

© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter www.biologiezentrum.at

Disskussion der Ergebnisse und Schlußfolgerungen

Die Ergebnisse der durchgeführten Forschungen ermöglichen eine Überprüfung der bisherigen Ansichten über die Genese der Aragonithöhle von Ochtina. Im einzelnen ist dabei festzustellen:

1) Die Entwicklung der Karsthöhle steht in engem Zusammenhang mit den strukturell-tektonischen, hydrogeologischen und paläoklimatischen Gegebenheiten und dem erdgeschichtlichen Ablauf der Landschaftsentwicklung.
2) Eine Neu- oder Weiterbildung der sekundären Aragonitbildungen in der Höhle in der Gegenwart kann ausgeschlossen werden.
3) Die absolute Altersbestimmung ergab zumindest zwei Bildungsperioden des Aragonitschmucks (Tabelle 1).
4) Die frühere Ansicht, daß die Anwesenheit von Barium und Strontium die Ausbildung von Aragonit- an Stelle von Kalzitkristallen bedingen, ist unbegründet.
5) Die Ergebnisse der Forschungen deuten darauf hin, daß der Aragonit nicht unter hydrothermalen Bedingungen entstanden ist, sondern durch physikalisch-chemische Prozesse in der Oxidationszone des vererzten Gesteines in der Umgebung der Höhle.

Die letztgenannte Arbeitshypothese setzt voraus, daß während oder nach der Entstehung des Karsthohlraumes spezifische physikalische, chemische und mikroklimatische Bedingungen herrschten, die die Bildung von Aragonit in Zusammenhang mit Oxidationsprozessen der Siderit-Ankerit-Vererzung des Karbonatkörpers im Höhlenbereich ermöglichten. Zu diesen Bedingungen zählen

— eine gegenüber der Gegenwart erhöhte Temperatur infolge der Oxidation von Eisenkarbonat und Sulfiden;
— eine wesentlich niedrigere Luftfeuchtigkeit, die die Verdunstung aus eindringenden Lösungen ermöglichte; und
— ein inhomogenes geothermisches Feld infolge der Asymmetrie des Erzkörpers gegenüber dem Karbonatkörper einerseits und der Höhle andererseits.

Das genannte geothermische Feld verursachte eine Luftzirkulation in dem nach außen hin abgeschlossenen Karsthohlraum, wobei die Kondensation von Wasserdampf in der erforderlichen Höhe liegt. Dieser spezifische thermodynamische Wärmeaustauscheffekt verursachte die weitere Verdunstung von Wasser aus den in die Höhle eintretenden Lösungen und die Kristallisation als Aragonit. Die Entstehung der Aragonite fällt dabei in Zeiten, in denen offensichtlich auch die paläoklimatischen Verhältnisse im allgemeinen dafür günstig waren.

Hinsichtlich des Höhlenschutzes ergeben sich aus den durchgeführten Untersuchungen folgende Schlußfolgerungen:

1) Die durch die Erschließungsarbeiten als Schauhöhle vorgenommenen Eingriffe haben das Mikroklima der Höhle so verändert, daß Korrosionserscheinungen an den Kristallbildungen auftreten.
2) Die mikroklimatischen Verhältnisse in der Höhle müssen in der derzeitigen Situation so beeinflußt werden, daß die durch das gegenwärtige Regime

© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter www.biologiezentrum.at

hervorgerufene Kondensation von Wasserdampf unterbunden wird. Es handelt sich um eine infolge des Zusammenspiels von Mineralisation und Vererzung in ihrem Erscheinungsbild einzigartige Höhle. Wir empfehlen daher, ähnlich wie bei anderen mehr oder weniger einmaligen Höhlen, die Schließung des Schauhöhlenbetriebes, um langfristig Schäden und Zerstörungen vor allem an den vielfältigen Aragonit-Sintern hintanzuhalten.

Regionale karsthydrologische Untersuchungsprogramme zur Erfassung der Karstwasservorräte - eine Programmstudie (Teil 2)

Von Fridtjof Bauer (+)

Die Abbildung 1 bietet eine Übersicht über den zeitlichen Ablauf eines regionalen karsthydrologischen Untersuchungsprogrammes. In der Abbildung 2 ist der zeitliche Ablauf der Untersuchung einer Wasserprobe (inklusive Isotopenmessung) graphisch dargestellt, dem (im Gegensatz zu den im Teil 1 ausgedrückten Überlegungen) der einfache Fall einer Weitergabe der Probe zur Isotopenmessung sofort nach Vorliegen der Auswertung der chemischen Daten (also ohne sechs- bis achtmonatige Wartezeit) zugrunde gelegt wurde.

Vorprogramm und Hauptprogramm werden nach einer Zwischenauswertung durch das im folgenden dargestellte Detailprogramm ergänzt.

Detailprogramm

i) Detailuntersuchungen.

Im Rahmen der Detailuntersuchungen sind alle jene Fragen zu klären, die durch die bis dahin durchgeführten Untersuchungen (Geländeaufnahme, Gewässerbeobachtungsprogramm) nicht beantwortet werden konnten, bzw. durch diese erst aufgeworfen wurden.

Hier kommen in Frage:
- Markierungsversuche zur Abgrenzung der Einzugsbereiche der Karstquellen;
- Detailbeobachtungsprogramme zur Klärung des Abflußregimes einzelner bedeutender Quellgruppen;
- Sonstige kleinräumige Untersuchungen.
(Durchführung Frühjahr - Herbst)

Endauswertung

j) Gesamtauswertung aller Ergebnisse

Zusammenfassende Darstellung sämtlicher Untersuchungsergebnisse in Tabellen, Diagrammen, Kartogrammen und Einzelbeschreibungen in berichtsreifer Ausfertigung und deren karsthydrologische Interpretation.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Die Höhle

Jahr/Year: 1993

Band/Volume: 044_01

Autor(en)/Author(s): Rajman Ladislav, Roda Stefan sen., Roda Stefan jr., Scuka Julius

Artikel/Article: Untersuchungen über die Genese der Agragonithöhle von Ochtina (Slowakei) 1-8