Das Untertagelabor in den Obir-Höhlen

ZUSAMMENFASSUNG

Seit 1998 befindet sich in einem nicht öffentlich zugänglichen Teil der Obir-Höhlen eine Forschungseinrichtung zur Langzeitbeobachtung von Höhlenklima und Hydrologie einer aktiven Tropfsteinhöhle. Dieses für die Ostalpen einzigartige Untertagelabor, das von der Universität Innsbruck und der Fachgruppe für Karst- und Höhlenforschung des Naturwissenschaftlichen Vereins für Kärnten betreut wird, liefert u.a. wertvolle Daten zur Dynamik der Tropfsteinbildung.

ABSTRACT

The Obir Caves in the southern part of the province of Carinthia are among the best known dripstone caves in Austria. These caverns were only discovered as a result of mining operations during the 19th century and parts of them were adapted as a show cave which was opened in 1991. In a cave system adjacent to the show cave and not open to the public, an underground research station was set up in 1998 and has been in operation since then. This laboratory encompasses a total of six automatic drip water measurement stations in two cave chambers, as well as air temperature data loggers. On regular cave visits every one to two months since 1998, a series of manual measurements (e.g., partial pressure of CO₂) and water and cave air samples have been taken. Compositional parameters determined on site include pH, electric conductivity and carbonate alkalinity. Parameters determined in laboratories elsewhere include cations (Na, K, Ca, Mg, Sr), anions (Cl, F, NO₃, SO₄), dissolved silica and stable isotopes (δD , $\delta^{18}O$, $\delta^{13}C_{DIC}$, $\delta^{13}C_{air}$). These measurements are complemented by soil studies above the cave (soil temperature and soil water chemistry, rainwater composition).

Christoph Spötl

Inst. f. Geologie und Paläontologie, Univ. Innsbruck, Innrain 52, 6020 Innsbruck <u>christoph.spoetl@uibk.ac.at</u>

Eingelangt: 27.1.2004 Angenommen: 25.5.2004

EINLEITUNG

Die durch ihre Schauhöhle weitum bekannten Höhlen im Obirmassiv Südkärntens beherbergen seit einigen Jahren ein österreichweit einzigartiges Labor, das von der Universität Innsbruck installiert und zusammen mit der Fachgruppe für Karst- und Höhlenforschung des Naturwissenschaftlichen Vereins für Kärnten betreut wird. Diese Einrichtung wurde geschaffen, um in einem möglichst wenig beeinflussten Höhlensystem Langzeitdaten über Höhlenklima und -hydrologie zu gewinnen. Das Obir-Höhlensystem wurde exemplarisch ausgewählt, da es zu den sinterreichsten Höhlen Österreichs zählt und die Hauptzielsetzung der Forschung darin besteht, verlässliche Langzeit-

daten über die Dynamik der Tropfsteinbildung zu erhalten. Die Motivation dieser Arbeiten liegt in der wachsenden Bedeutung der Speläotheme (Überbegriff für im Wesentlichen karbonatische Höhlensinterbildungen) als Archive früherer Umwelt- und Klimaverhältnisse.

LAGE

Unter dem Überbegriff Obir-Höhlen werden zahlreiche, nur teilweise zusammenhängende Natursysteme zusammengefasst, die seinerzeit beim Pb-Zn-Bergbau im Obirgebiet, insbesondere im Gebiet der Unterschäffler Alm, angetroffen wurden (Lex, 1923, 1925; Jahne, 1929). Die Höhlensysteme, die an den Wettersteinkalk gebunden sind, waren bis dahin unbekannt. Heute sind nach Stilllegung des Bergbaus die allermeisten Mundlöcher verschlossen. Ein Teil des Natursystems ist über den Wilhelm- und Markus-Stollen zugänglich und wird

seit 1991 als Schauhöhle betrieben (Haderlapp, 1991; Trimmel, 1991). Östlich davon ist ein kleinräumiges Höhlensystem über den heute durch eine Eisentüre verschlossenen Jakobi-Stollen erreichbar. Dieses System wurde in den siebziger und achtziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts von Kärntner Höhlenforschern erkundet und umfasst das Rassl-System (3925/9) und die damit zusammenhängenden Bereiche des O2J-Systems (3925/8) und der Bumslucke (3925/7; Jamelnik, 1994; Langer, 1999; Abb. 1).

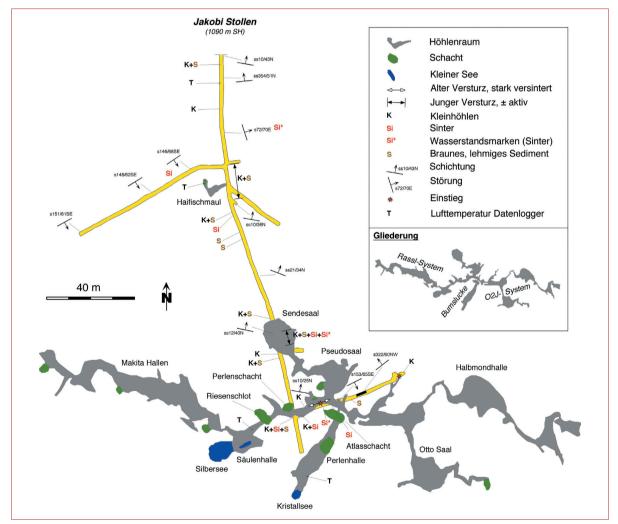
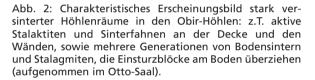


Abb. 1: Vereinfachter Grundriss des Höhlensystems westlich der Obir-Schauhöhle (Rassl-System, Bumslucke, O2J-System), das durch den aufgelassenen Jakobi-Stollen befahren werden kann. Die Messstationen des Untertagelabors befinden sich i.w. in der Säulenhalle, sowie in der tiefer gelegenen Perlenhalle.

DAS HÖHLENSYSTEM

Der nordfallende, gut gebankte Wettersteinkalk, den der nach Süden verlaufende Jakobi-Stollen durchörtert, weist an zahlreichen Stellen Karsthohlräume auf, die oft mit braunem Lehm oder Sinter plombiert sind (Abb. 1). Bereits 62 m hinter dem Mundloch wurde ein länglicher, stark versinterter Hohlraum angefahren, das Haifischmaul. Es endet blind in einem ca. 10 m tiefen Schacht. Der Zugang zum eigentlichen Höhlensystem erfolgt wenige Meter nach der Einmündung einer bei Stollenmeter 173 nach Osten verlaufenden Seitenstrecke. Dort wurde ein durch Wandsinter verbackener Versturz angefahren, der ganzjährig gering wasserführend ist. Ein zweiter Zugang in das Höhlensystem besteht am Ende dieser blind endenden Seitenstrecke, von wo eine sehr enge





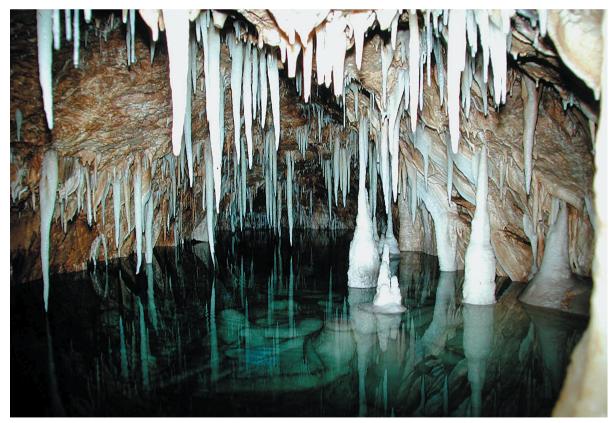


Abb. 3: Der Silbersee am Westrand der Säulenhalle, der größte perennierende See im gesamten Obir-Höhlensystem. Beachte die gefluteten Stalagmiten im rechten Bildabschnitt. Messungen der Zusammensetzung des Seewassers zeigen, dass dieses einen Jahresrhythmus in der Kalzitausscheidung aufweist, der zu dem der Tropfsteine synchron verläuft.

Röhre schräg nach oben führt (Eustachische Röhre; Abb. 1).

Das Rassl- und das O2J-System sowie die Bumslucke zeichnen sich durch eine Kombination von Kammern, niederen und z.T. sehr engen Gängen und Vertikalschächten aus. Die Befahrung der Bumslucke erfordert Schachtausrüstung. Viele Höhlenabschnitte weisen einen hohen Versinterungsgrad auf; die schönsten Teile sind die Perlenhalle und die Säulenhalle sowie (unbenannte) Abschnitte dazwischen (Abb. 2). Interessant erscheint das Nebeneinander von Zonen aktiver Kalklösung, besonders im Bereich mancher Schächte, und sol-

chen massiver Tropfsteinbildung. Aktive subaquatische Kalzitbildung lässt sich in mehreren Höhlenseen beobachten, deren Boden mit dicke weißem Sinter überzogen ist (Abb. 3). Zahlreiche Tropfsteingebilde weisen hohe, in die Jahrhunderttausende gehende Alter auf, wie durch Altersbestimmungen an Bohrkernproben mittels der Thorium-Uran-Methode festgestellt wurde. In der Perlenhalle wurde durch serienmäßige Kernproben festgestellt, dass die jüngste Generation von Stalagmiten Basisalter von ca. 9.000-10.000 Jahren aufweisen und somit eindeutig nacheiszeitlich sind. Ihre Höhe variiert zwischen 15 und 50 cm.

DAS MESSPROGRAMM

Im Jahre 1998 wurde mit dem Aufbau eines umfassenden Messnetzes begonnen, das aus mehreren Teilen besteht und das Ziel verfolgt, dieses Höhlensystem möglichst ganzheitlich zu beobachten. Das Monitoring besteht aus einem unterirdischen und einem obertägigen Teil:

1. Unterirdisch

- 1.1 Automatische Aufzeichnung der Lufttemperatur an mehreren Stellen im Zwei-Stunden-Intervall, beginnend 12 m hinter dem Mundloch des Stollens
- 1.2 Messung der relativen Luftfeuchtigkeit (manuell) in Ein- bzw. Zwei-Monats-Intervallen an drei Stellen im Höhlensystem (Zeitraum Herbst 1998 bis Frühjahr 2003)
- 1.3 Messung des Kohlendioxid-Partialdrucks (pCO₂) mittels Infrarotmessgerät (manuell) in Ein- bzw. Zwei-Monats-Intervallen an drei Stellen im Höhlensystem
- 1.4 Automatische Aufzeichnung des Luftdrucks in der Säulenhalle im Zwei-Stunden-Intervall
- 1.5 Probenahme für Isotopenmessungen am Kohlendioxid (δ^{13} C) der Höhlenluft (manuell) in Ein- bzw. Zwei-Monats-Intervallen an drei Stellen im Höhlensystem
- 1.6 Automatische Messung der Tropfwassermenge an sechs fix installierten Messstellen in der Säulen- und der Perlenhalle (Zwei-Stunden-Intervall – Abb. 4)
- 1.7 Automatische Messung der Wassertemperatur und der elektrischen Leitfähigkeit an densel-

- ben Stellen (Zwei-Stunden-Intervall Abb. 4)
- 1.8 Manuelle Messung der Tropfintervalle an insgesamt 20 Tropfstellen (inklusive den sechs oben erwähnten) in Ein- bzw. Zwei-Monats-Intervallen
- 1.9 Probenahme für wasserchemische Untersuchungen an zehn der erwähnten Tropfstellen, drei wasserführenden Schächten und zwei Seen (Silbersee und Kristallsee)

2. Oberirdisch

- 2.1 Automatische Aufzeichnung der Lufttemperatur neben dem Jakobi Stollen im Ein-Stunden-Intervall
- 2.2 Beprobung des Niederschlages, der oberhalb der Höhle fällt, in Ein- bzw. Zwei- Monats-Intervallen (Zeitraum Sommer 2001 bis Winter 2003)
- 2.3 Automatische Aufzeichnung der Bodentemperatur an zwei Stellen oberhalb der Höhle (in ca. 30 - 40 cm Tiefe am Top des Epikarstes)
- 2.4 Manuelle Messung der Bodentemperatur in zwei Bodenschächten in 10-cm-Schritten mittels Einstich-Thermometer (Zeitraum Sommer 2001 bis Winter 2003)
- 2.5 Messung der Bodenfeuchte an In-situ-Proben in 10-cm-Schritten (Zeitraum Sommer 2001 bis Sommer 2002)
- 2.6 Beprobung des Bodenwassers, entnommen aus zwei fix installierten Bodensonden in Einbzw. Zwei-Monats-Intervallen (mit Ausnahme des Winters – Abb. 5)

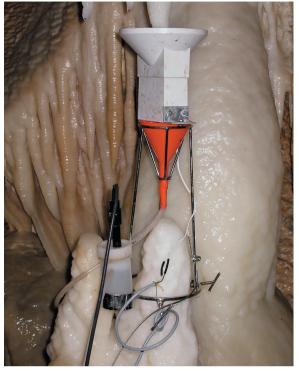


Abb. 4: Messstelle PH3 in der Perlenhalle: Das auf einen aktiven Stalagmiten auftreffende Tropfwasser wird mittels eines Regenmessers (weißes Gerät oben) abgefangen und über eine Durchflusszelle (links unten, mit schwarzer Temperatur- und Leitfähigkeitssonde) in einen Behälter (nicht abgebildet) geleitet. Bildbreite ca. 70 cm.



- Monats-Intervallen 2.8 Probenahme für Isotopenmessungen am Kohlendioxid (δ¹3C) der Bodenluft im Zuge der
- vor genannten Untersuchung in Ein- bzw. Zwei-Monats-Intervallen

Folgende analytische Parameter werden vor Ort (d.h. in der Höhle bzw. im Jakobi-Stollen – Abb. 6) bestimmt:

- Schüttung (bei Schächten mittels visueller Abschätzung, ansonsten automatisch bzw. mit

- Temperatur (Luft, Wasser)
- Elektrische Leitfähigkeit
- pH-Wert
- Karbonathärte (innerhalb von 1-2 h nach Verlassen der Höhle)

Folgende Messparameter werden in den Labors in Innsbruck, Wien und Keele bestimmt:

- Kationen (Na, K, Ca, Mg, z.T. Sr)
- Anionen (Cl, F, NO₃, SO₄)
- Gelöste Kieselsäure
- Stabile Isotope: δD , $\delta^{18}O$, $\delta^{13}C_{DIC}$, $\delta^{13}C_{Luft}$

DIE INSTALLATIONEN IN DER HÖHLE

Einrichtungen zur Beobachtung der sinterausscheidenden Tropfwässer wurden in der Säulenhalle (Rassl-System) und der tiefer gelegenen Perlenhalle (Bumslucke) eingebaut. Beide Höhlenräume sind stark sinterdekoriert, wobei insbesondere die rettichartigen langen Stalaktiten bezeichnend sind (Abb.3). An ausgewählten aktiven Tropfstellen, an denen sich unter einem Stalaktiten ein Stalagmit gebildet hat, wird unterhalb des ersteren das abtropfende Wasser mit



Abb. 6: Messung hydrochemischer Parameter im Jakobi-Stollen bei Stollenmeter 170 am Eingang zum Rassl-System.

einem Trichter gefasst und durch einen Kunststoffschlauch zu einem Regenmesser geleitet (Abb. 4). Dieser misst über eine Wippe das Volumen des pro Zeiteinheit (2 h) durchfließenden Wassers und schickt diese Information an einen zentralen Datensammler weiter. Unterhalb des Regenmessers wird das Wasser wieder gefasst und in eine englumige Durchflusszelle geleitet, in der Temperatur und elektrische Leitfähigkeit des Wassers in Zwei-Stunden-Intervallen gemessen werden. Auch diese Daten werden zentral von einem Datensammler verarbeitet und gespeichert. Anschließend wird das durchfließende Wasser in einem Plastikkanister aufgefangen, aus dem bei den regelmäßigen ein- bis zweimonatlichen Befahrungen eine Probe gezogen wird. Anschließend wird der Kanister wieder komplett entleert. Jeweils ein Datensammler befindet sich in der Säulen- und der Perlenhalle, der die anfallenden Messwerte von jeweils 3 Tropfmessstellen sowie des Silber- bzw. Kristallsees (deren Parameter zum Vergleich gemessen werden) speichert. Die Stromversorgung der beiden Geräte erfolgt mittels Pb-Akkus, die über zwei Leitungen vom Stollenende aus die Datensammler mit Strom versorgen. Ausgelesen werden die Daten mittels eines Subnotebooks vor Ort (Abb. 7). Die Tropfmessinstallationen sind aus verchromtem Eisen (Abb. 4) und so montiert, dass sie nach Beendigung dieses Monitorings ohne erkennbare Schäden an den Tropfsteinen entfernt werden können.



Abb. 7: Auslesen der Messdaten am Datensammler in der Perlenhalle.

UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

Es sollen hier exemplarisch einige Resultate präsentiert werden.

Änderungen in der Zusammensetzung der Höhlenluft

Die Höhle weist eine streng jahreszeitlich bedingte Wetterführung auf, die sicherlich durch den Stollenbau verstärkt wurde. Im Winter steigt die Luft durch das Höhlensystem auf und kalte Außenluft strömt durch den Jakobi-Stollen nach. Der tatsächliche Luftstrom ist aber mäßig, da das Mundloch verschlossen ist und nur schmale Fledermausschlitze Luft durchlassen. An kalten Wintertagen kann die Luftströmung an Engstellen (z.B. im Schluf von der Säulenhalle zu den Makita-Hallen – Abb. 1) deutlich gespürt werden. Über den weiteren Aufstiegsweg der Luft kann nur gemutmaßt werden, da von den Makita-Hallen nur unpassierbar enge Schlote nach oben führen. Das Einsaugen der kalten Außenluft durch den Stollen in das Höhlensystem lässt sich klar am Gehalt an Kohlendioxid ablesen, der im Winter in der Höhlenluft seine niedersten Werte erreicht. Sobald die Außenlufttemperatur längerfristig über die mittlere innere Höhlenlufttemperatur (5,5°C) ansteigt, kippt die Zirkulation und dreht auf tagwärts. Diese Luft ist reicher an Kohlendioxid und weist eine große Konstanz in ihrer Temperatur auf. Während der Kohlendioxidgehalt einen sensitiven Indikator für die Herkunft der Höhlenluft darstellt, hat sich die relative Luftfeuchtigkeit als kaum variabel erwiesen. An allen Messpunkten innerhalb der Höhle wurden stets sehr hohe Werte (zwischen 97% und 100%) gemessen, was sich aus der recht raschen Angleichung der Luftfeuchtigkeit an die Umgebung (feuchte Höhlenwände) erklärt.

Dynamik des Tropfwassers

Die Tropfwasserdynamik ist das Herzstück des Untertagelabors und zugleich auch die komplexeste Fragestellung: Wie pausen sich z.B. Schneeschmelze oder Starkniederschläge, aber auch Trockenzeiten in die Höhle durch? Was von dieser meteorologisch bzw. klimatisch relevanten Information wird in Tropfsteinen "gespeichert"? Die beiden im Detail untersuchten Höhlenräume (Säulen- und Perlenhalle) befinden sich ca. 70

bzw. 90 m unter der Geländeoberkante. Mit einer raschen und direkten Reaktion der dortigen Tropfstellen auf Wetterereignisse an der Oberfläche ist also nicht zu rechnen. Die bislang vorliegenden hydrologischen und hydrochemischen Daten bestätigen diese Vermutung und sprechen für ausgedehnte Speicherungs- und Mischprozesse im Karstsystem, d.h. der infiltrierende Niederschlag braucht lange, bis er im Höhlenraum ankommt. Wie lange, ist schwierig zu ermitteln. Untersuchungen des radioaktiven Wasserstoffisotops Tritium, das der Mensch gewissermaßen als künstlichen Tracer im Zuge der Atombombentests in der Atmosphäre verteilt hat, sprechen für mittlere Verweilzeiten der Höhlenwässer von mindestens einigen Jahren bzw. für ein Mischen von mindestens zwei Wasserkomponenten, einem möglicherweise 10 - 15 Jahre alten und einem recht jungen Wasser.

Interessant auch die Dynamik im kleinen Maßstab: An der Decke der Perlenhalle (Abb. 1) findet sich weniger als einen Meter von schneeweißen aktiven Stalaktiten entfernt eine Reihe völlig andersartiger Stalaktiten, die gedrungen und durch Tonpartikel braun gefärbt sind. Während erstere Tropfsteine eine über das Jahr ziemlich gleich bleibende Tropfrate aufweisen, ist die braune Stalaktitenreihe meist inaktiv. Nach Starkregen, wie sie besonders im Spätherbst in dieser Gegend auftreten, springt die Tropfwasserzufuhr jedoch innerhalb von Stunden an und weist eine wesentlich höhere Schüttung als die der umgebenden weißen Tropfstellen auf. Diese braunen Sinter zapfen also offensichtlich eine Kluft mit sehr kurzer Verweildauer des Wassers an, die die 90 m Vertikalabstand von der Geländeoberkante zur Perlenhalle überbrückt.

Tropfsteinwachstum

Die bisherigen Messungen der Wasserchemie an den Tropfmessstellen haben u.a. ergeben, dass die Kalzitausscheidung diskontinuierlich erfolgt, und zwar verstärkt während der kalten Jahreszeit. Dieses Resultat mag auf den ersten Blick verwundern, denn die höchsten Kalklösungsraten und die höchste Mineralisation der vadosen Wässer wäre eigentlich während der Vegetationsperiode zu erwarten, da der Eintrag von Kohlendioxid aus

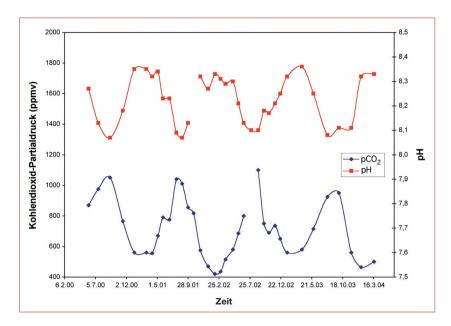


Abb. 8: Variationen der Tropfwasser-Zusammensetzung an der Tropfmessstelle PH1 (Perlenhalle): Der pH-Wert zeigt eine regelmäßige saisonale Änderung, die spiegelbildlich zu der des Gehalts an Kohlendioxid in der Höhlenluft verläuft. Während der kalten Jahreszeit fördern ein niederer Kohlendioxidwert und ein hoher pH-Wert die Ausscheidung von Kalzit.

dem Bodenprofil im Sommer einen saisonalen Höhepunkt erreicht. Im Obir sind die Verhältnisse etwas anders gelagert, denn erstens ist auf Grund der oben erwähnten mittleren Verweildauer des Wassers im Karstaquifer kein jahreszeitliches Signal in den Tropfwässern zu erwarten (dieses wird durch Mischeffekte geglättet). Zudem haben die Höhlenluftmessungen gezeigt, dass es zu einem Aufprägen eines sekundären jahreszeitliches Signals auf die Tropfwässer innerhalb der Höhle kommt (Abb. 8): Durch die saisonal wechselnde Luftzirkulation ändert sich das Karbonatgleichgewicht im Tropfwasser derart, dass es zu einem verstärkten Entgasen von CO2 aus dem Wasser an die winterliche Höhlenluft kommt; ein Effekt, der im Sommer nur schwach ausgeprägt ist. Das Entweichen von gelöstem CO₂

bewirkt eine Übersättigung des Wassers am Mineral Kalzit und ein bevorzugtes Wachstum der Tropfsteine der Obir-Höhlen im Winterhalbjahr. Während das tatsächliche "Wachsen" Stalagmiten nicht einfach zu messen ist (der jährliche Zuwachs beträgt je nach Tropfstelle etwa zwischen 0.03 und 0.1 mm), lässt sich das Ausscheiden von Kalzit im Silbersee schon rein optisch feststellen. Dort tauchen am Beginn der kalten Jahreszeit millimeter- bis maximal 5 cm große, hauchdünne "Flöße" von Kalzitkristallen auf, die an der Seeoberfläche treiben und nach Erreichen einer kritischen Größe absinken. Solche Anzeichen von spontaner Mineralausfällung wurden während des Sommers (bei tagwärtiger, relativ CO2-reicher Luftströmung) nie beobachtet.

DANKSAGUNG

Die laufenden Untersuchungen werden seitens des Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF) finanziert. Dem Grundeigentümer, Herrn Mag. F. Orsini-Rosenberg, sowie Herrn Stetschnig danken wir für die Erlaubnis zur Durchführung dieser Forschungen und die Bewilligung zur Befahrung der Zufahrtstrasse. Mitglieder der Fachgruppe für Karst- und Höhlenforschung des Naturwissenschaftlichen Vereins für Kärnten, insbesondere Harald Langer, halfen tatkräftig bei Aufbau und Betreuung der

Messeinrichtungen mit. Frau Dr. Anna F. Tooth arbeitete im Zeitraum Sommer 2001 bis Sommer 2002 als Lise-Meitner-Stipendiatin im Rahmen dieses Forschungsprojektes. Laufende wissenschaftliche Kollaborationen, die direkt oder indirekt mit diesem Untertage-Labor zu tun haben, betreffen Prof. I. Fairchild (Birmingham), Prof. A. Mangini (Heidelberg) und Dr. R. Pavuza (Wien). G. Völkl, L. Plan, R. Pavuza und T. Pfarr sei für die Durchsicht des Manuskriptes gedankt.

LITERATUR

Haderlapp, P. (1991): Obir-Tropfsteinhöhlen. – Carinthia II, 181/101: 181-190.

Jahne, L. (1929): Geschichtliche Entwicklung der Bergbauten am Hochobir. – Montanistische Rundschau, 21: 1-7, 37-42, 53-60.

Jamelnik, O. (1994): Neue Höhlen im Obirgebiet. – Carinthia II, 184/104: 77-92.

Langer, A. (1999): Die Höhlen im Hochobir-Massiv. – In: Golob, B. (Hrsg.): Der Hochobir, Klagenfurt (Naturwiss. Verein Kärnten), 115-126. Lex, F. (1923): Die Tropfsteinhöhlen in der Unterschäffleralpe. – Carinthia II, 112/113: 5-8. Lex, F. (1925): Die Tropfsteinhöhlen in der Unterschäffleralpe. – Carinthia II, 114/115: 14-17. Trimmel, H. (1991): Die Obir-Tropfsteinhöhlen – eine neue Schauhöhle in Kärnten. – Die Höhle, 42(3): 57-66.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Die Höhle

Jahr/Year: 2004

Band/Volume: 055

Autor(en)/Author(s): Spötl Christoph

Artikel/Article: Das Untertagelabor in den Obir-Höhlen 34-42