Sinterbildungen in österreichischen Granithöhlen – erste Hinweise

ZUSAMMENFASSUNG

In einigen Höhlen in Österreichs Granitgebieten – überwiegend nördlich der Donau – wurden verschiedene Sinterbildungen (Speläotheme) von eher kleinen Dimensionen, jedoch durchaus bemerkenswerter Morphologie gefunden . Ihre Genese ist grundverschieden von analogen Erscheinungen in Karstgebieten, obgleich die Formen mitunter ähnlich sind. Bisher konnten in erster Linie knöpfchensinterartige bis pilzförmige Formen aus Opal-A sowie winzige Sinterbecken („Microgours") aus organischem Alumogel (möglicherweise Pigotit) gefunden werden. In allen Fällen dürften Mikroorganismen und mitunter auch Pflanzenwurzeln an der Entstehung zumindest mitbeteiligt sein. Die Einbeziehung organischen Materials gilt vermutlich auch für dunkelbraune Wandbeläge in Überflutungsbereichen der Höhlen sowie für winzige excentriquesartige Formen („Bioexcentriques") noch weitgehend unbekannter Zusammensetzung, die sich möglicherweise an Spinnfäden bilden.

ABSTRACT

Speleothems in granite caves of Austria – first observations

In several caves in areas of granitic rocks – mainly situated north of the Danube River in the southern Bohemian Massif – speleothems of rather small dimension but remarkable morphology were identified. Being sometimes similar in shape, their genesis is, however, entirely different from that of speleothems in karst caves. So far coralloid, tabular as well as mushroom-like forms were found which are composed of amorphous opal-A and tiny microgours composed of an alumogel, probably pigotite. In all cases the involvement of microrganisms and/or organic debris is likely, at least to a certain extent. This also applies to tiny "biohelictites" of so far unknown composition, whereby cobwebs served as supporting structures.

Rudolf Pavuza
Karst- und höhlenkundliche Arbeitsgruppe
Geol. Pal. Abt. / Naturhist. Museum Wien
Museumsplatz 1/10, 1070 Wien
rudolf.pavuza@nhm-wien.ac.at

Juan Ramón Vidal Romaní
Inst. Univ. de Geol., Univ. de A Coruña
Edificio SAI,-3, 15071 Coruña, Spanien
juan.vidal.romani@udc.es

Petra Cech
Krottenbachstrasse 27/12, 1190 Wien
p.m.cech@gmx.at

Eingelangt: 17.4.2015
Angenommen: 30.5.2015

EINLEITUNG

Über die Höhlen in Österreichs Granitgebieten war bis in die zweite Hälfte des vergangenen Jahrhunderts nur wenig bekannt. Durch die Katasterbücher Niederösterreichs (Hartmann & Hartmann, 1985, 1990, 2000) und den Überblick von Fritsch (1987, 1988), vor allem aber durch die Entdeckung der beiden aufgrund ihrer Länge überregional bedeutenden Saubachlhöhlen im südwestlichen Waldviertel im Jahr 1987 (Knobloch, 1990) rückten diese nicht mit dem Karstphänomen verknüpften Höhlen etwas mehr in den Blickpunkt des Interesses. Auf dem 3. Pseudokarst-Symposium 1988 wurde eine erste Übersicht über die Höhlen des südböhmischen Kristallins mit Angaben über die verschiedenen Gesteine, die raumbestimmenden Prozesse und die Höhlenlängen gegeben (Mais & Pavuza, 1988). Erst ein Vierteljahrhundert später gab es eine neue, detaillierte Zusammenstellung über Höhlen in Niederösterreich (Oberender, 2012). Die Teilnahme der österreichischen Autoren des vorliegenden Beitrages an der 2. Internationalen Konferenz für Granithöhlen (Südschweden, 2011) sowie am 12. Symposium für Pseudokarst in Galicien (Spanien, 2012), einem der bedeutendsten Granithöhlengebiete Europas, erweckte wieder das Interesse an möglichen Sinterbildungen in Granithöhlen auch in Österreich.

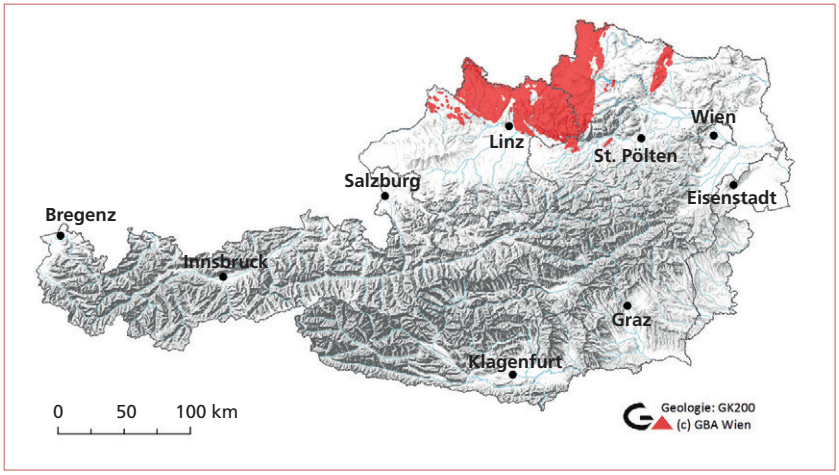

Abb. 1: Verbreitung von Granit im südböhmischen Kristallin.
Fig. 1: Distribution of granitic rocks in the southern Bohemian Massif.
Grafik: Geol.-Bundesanstalt

VERBREITUNG DER GRANITGESTEINE IN ÖSTERREICH

Granitische Gesteine sind in Österreich nahezu ausschließlich auf das südböhmische Kristallin beschränkt, das zum größten Teil nördlich der Donau zwischen Schärding im Westen und Retz/Krems im Osten liegt. In einigen Bereichen (Sauwald, Neustadtler Platte, Dunkelsteinerwald) hat die Donau die Kristallingebiete randlich durchschnitten (Abb. 1). Die Zonen, in denen Granit vorherrscht, beginnen im Osten ungefähr bei Zwettl im mittleren Waldviertel und reichen bis ins nordwestliche Mühlviertel beim Dreiländereck. Ganz im Norden, vor allem aber auch südlich der Donau treten auch Metamorphite auf. Unter den Granitgesteinen dominieren der grobkörnige Weinsberger Granit, der grob- bis mittelkörnige Eisgarner Granit sowie der mittel- bis feinkörnige Mauthausener Granit.

Im westlichen Osttirol findet sich mit dem Rieserferner-Tonalit immerhin ein kleines Areal von granitverwandtem Gestein in bis zu 3000 m Seehöhe, das für vergleichende Untersuchungen der Verwitterung unter hochalpinen Verhältnissen gute Ansätze bieten kann.

Ein kleiner, ebenfalls noch nicht untersuchter Abschnitt der Hainburger Berge im äußersten Osten Österreichs besteht auch aus Granitgesteinen (Granit und Granodiorit).

QUARTÄRE ENTWICKLUNG

Über die eiszeitliche Entwicklung im südböhmischen Kristallin gibt es sehr viel weniger Literatur als über den Alpenraum und dessen Vorland. Im umfassenden Werk von Kohl (2000) über das Eiszeitalter in Oberösterreich sind dem „Böhmerwald" gerade einmal dreieinhalb Seiten gewidmet. Dies liegt auch im weitgehenden Mangel an glazialem und periglazialem Formenschatz begründet, der nur in den höchsten Erhebungen in Nordwesten des Mühlviertels zu finden ist (z.B. Plöckenstein, 1378 m). Über die zeitmäßige Einstufung der Granithöhlenentwicklung sowie über die Landschaftsentwicklung vor dem Pleistozän liegen kaum Daten vor. Möglicherweise könnten die Granithöhlen Informationen zumindest über die jüngeren Abschnitte des Pleistozäns liefern, da die vorhandenen Sinterbildungen für Datierungen geeignet sind (nach der U/Th-Methode, vgl. Lundberg et al., 2010). Um das jüngere Holozän zu erfassen, kommt auch die ^{14}C-Datierung der Pigotitsinter (= ein alumo-organisches Mineraloid) sowie auch die Thermolumineszenz (TL) und die optisch stimulierte Lumineszenz (OSL) von Höhlensedimenten in Frage (vgl. Vaqueiro-Rodríguez, 2015).

GRANITHÖHLENTYPEN IN ÖSTERREICH

Die Genese der Höhlen in Granitgesteinen wird traditionell den Verwitterungs- bzw. Erosionsvorgängen zugerechnet (Oberender, 2012). Es gibt verschiedene Bezeichnungen, um die durch Auflösung des Gesteinsverbandes bis hin zu den durch chaotisches Blockwerk entstandenen Höhlen zu klassifizieren. Oberender (2012) verwendet dabei unter anderem die folgenden Termini: Spalthöhle,

Abb. 2: Lohnbachhöhle (im Blockwerk links im Bild) und Steinerne Stube (Spalte rechts).
Fig. 2: Lohnbachhöhle (between bolders on the left hand side), Steinerne Stube (crack on the right hand side).
Foto: Rudolf Pavuza

Auswitterungshöhle, Wollsackhöhle und Überdeckungshöhle.

Spalthöhlen und Auswitterungshöhlen – erstere früher allzu einschränkend als „tektonische Höhlen" bezeichnet – stellen oftmals den an mehr oder weniger vertikalen bzw. horizontalen Trennflächen gebundenen Beginn der Wollsackhöhlenentwicklung dar. Bei stärkerer Hangneigung konkurriert der Prozess der Wollsackverwitterung mit jenem der gravitativen Massenbewegung, der zu Überdeckungshöhlen führen kann. Der alternativ häufig verwendete Begriff „Block(überdeckungs)-höhlen" für diesen Höhlentyp (*talus cave* im englischen Sprachraum) erscheint indessen anschaulicher. In steileren Hangbereichen, zum Beispiel in Flusstälern, können sich aus Spalthöhlen durch Abgleiten leicht Blockhöhlen bilden, wie das Beispiel von Lohnbachhöhle (6845/36) und Steinerner Stube (6845/41) beim Lohnbachfall im südwestlichen Waldviertel zeigt (Abb. 2).

Inwieweit lokale Erdbeben zur Blockanhäufung bzw. zur Raumumgestaltung beitragen können, dürfte schwierig zu beantworten sein. Der Bereich des südöstlichen Mühlviertels und der angrenzenden Abschnitte des Waldviertels – jener Bereich mit den meisten bekannten Blockhöhlen – wird jedenfalls in der aktuellen Bewertung der Erdbebengefahr durch die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien (ZAMG, 2015) den Zonen 1–2 („leichte Gebäudeschäden" bis „vereinzelt größere Gebäudeschäden") zugerechnet. Das letzte größere lokale Erdbeben wurde im Raum Pregarten (OÖ) am 17. 6. 1972 (Magnitude 3,6; Europäische makroseismische Skala 6–7 [Gebäudeschäden]) registriert. Die Karte der registrierten Beben weist im Bereich Mühlviertel-Waldviertel zwar keine den bekannten österreichischen Erdebenzonen vergleichbare, doch immerhin eine merkliche Dichte auf (ZAMG, 2015). Ob auch (post)glaziale, durch isostatische Ausgleichsbewegungen induzierte Erdbeben signifikant auf die Gestaltung der Granithöhlen im südböhmischen Kristallin Einfluss genommen haben, wie dies für Teile von Skandinavien postuliert wird (Mörner, 2003), muss aufgrund der Datenlage vorerst unbeantwortet bleiben.

GRANITVERWITTERUNG

Die chemisch-physikalische Verwitterung von Granit ist in der unterschiedlichen Resistenz der Granitbestandteile begründet. Quarz ist der härteste und chemisch resistenteste Bestandteil, er ist in nennenswerter Menge nur bei hohen pH-Werten löslich. Die Feldspäte im Weinsberger Granit, der den bedeutendsten Typ für die Granithöhlen in Österreich darstellt, liegen in Form von Mikroklin (K-Al-Silikat) sowie Plagioklas (Na-Ca-Al-Silikat) vor. Sie sind merklich weniger hart und deutlich weniger verwitterungsresistent und stellen quantitativ die Hauptmenge des Granits dar.

Kurat (1965) gibt als durchschnittliche Zusammensetzung der Hauptbestandteile des Weinsberger Granits an: 35–37 % Mikroklin, 33–35 % Plagioklas, 19–22 % Quarz und 9–13 % Biotit.

Die chemische Verwitterung von Feldspäten verläuft – am Beispiel des Mikroklins – wie folgt

$$2\ KAlSi_3O_8 + 2\ H_2CO_3 + H_2O \longrightarrow Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 4\ SiO_2 + 2\ K^+ + 2\ HCO_3^-$$

Bei pH-Werten über 9 beginnt SiO_2 merklich in Lösung zu gehen; der Gehalt an gelöstem SiO_2 (meist zwischen 1 und 10 mg/l) ist in den Kristallingebieten deutlich höher als in Karbonatgesteinen (meist <1 mg/l), das entstehende gelöste HCO_3^- liegt indessen mengenmäßig meist um den Faktor 5–10 unter jenem der alpinen Karstwässer (siehe Daten im Abschnitt über die Hinterbergerbach-Schwinde).

Glimmer, im Weinsberger Granit vertreten durch Biotit (ein Schichtsilikat mit variablen Anteilen von K, Mg, Fe, Mn, Al sowie OH-Gruppen), ist noch weniger hart als Feldspat und verwittert relativ leicht unter Bildung von Eisenoxiden und Tonmineralen.

SINTERBILDUNGEN IN GRANITHÖHLEN

Die internationale Literatur über Sinterbildungen (Speläotheme) aus Opal-A in Granithöhlen ist erstaunlich reichhaltig. Opal-A, also amorphes SiO_2, kommt nicht nur in Granithöhlen, sondern unter anderem auch in Höhlen in quarzreichen Sandsteinen vor. Ein solches Beispiel aus Venezuela (Aubrecht et al., 2008), bei dem Spinnweben als Ausgangspunkt für die Bildung für „Biospeläothemen“ („cobweb stalactites“) nachgewiesen wurden, könnte auch für ähnliche, in österreichischen Granithöhlen beobachtete Erscheinungen relevant sein. Ohne hier auf die umfangreiche Literatur über Opal-Speläotheme im Detail eingehen zu können, wird auf den Überblick bei Hill & Forti (1997) verwiesen.

Opal-A ($SiO_2 \cdot 15H_2O$) – polymorphe Kieselsäure – entsteht bei der Auflösung von Si-haltigen Mineralen unter biochemischer Mitwirkung (durch Algen, Pilze, Flechten und Bakterien) sowie Wiederausfällung des Hydrogels durch Verdunstung an den Höhlenwänden (Vidal Romaní et al., 2015a). Verschiedene Mikroorganismen sind am Aufbau der entstehenden Sinterformen beteiligt, ohne dabei allerdings quantitativ eine dominierende Rolle zu spielen (Vidal Romaní et al., 2015b). Ebenso können angelagerte Gesteinspartikel zum Aufbau der Sinter beitragen. Dieser physikalische Prozess unter entscheidender Mitwirkung von Kapillareffekten, Oberflächenspannung, Adhäsion sowie biologischen Prozessen (Vidal Romaní et al., 2015c) unterscheidet sich weitgehend von der klassischen Tropfsteinbildung im Karst, obschon die entstehenden Formen mitunter ähnlich sind. Aufgrund der biogenen Mitwirkung bei der Gesteinslösung, aber auch bei der Sinterbildung kann man von „Biospeläothemen“ sprechen (Vidal Romaní et al., 2014).

Die Literatur über den zweiten in Österreich gefundenen Speläothem-Typ, der aus amorphem Alumo-Gel besteht, ist spärlicher. Es handelt sich um Pigotit (Johnston, 1840), der zuerst in einigen Höhlen Cornwalls beobachtet wurde (Creighton, 1894). Obgleich dieses „Mineraloid“ (da es kein Kristallgitter besitzt, ist

Abb. 3: Eingang zum Pfaffenhaus bei Kollerschlag (OÖ).
Fig. 3: Entrance to Pfaffenhaus near Kollerschlag (Upper Austria).
Foto: Rudolf Pavuza

es streng genommen kein Mineral) bereits im 19. Jahrhundert aus Höhlen in England in der chemischen Literatur beschrieben wurde, finden sich bei Hill & Forti (1997) nur einige wenige Zeilen zu diesem Thema, wobei die Entstehung in Granit- und Sandsteingebieten unter Mitwirkung organischen Materials im sauren Milieu erwähnt wird.
Eine mineralogische Datenbank (MINDAT, 2015) gibt für Pigotit die Summenformel $Al_4C_6H_5O_{10} \cdot 13H_2O$ (jedoch mit „?“ angegeben) an. Der Erstbeschreiber (Johnston, 1840) ordnete die Verbindung einer merkwürdigen organischen Säure („Mudesige Säure“) zu, eine neuere chemische Untersuchung dieser Substanzen erfolgte nach unserem Wissen seither nicht. Man nimmt heute an, dass sich dieses im Röntgendiffraktometer nicht identifizierbare Alumo-Gel unter Einwirkung organischer Verbindungen der überlagernden Bodenschichten aus Feldspäten und deren Zersetzungsprodukten unter Mitwirkung von Mikroorganismen bildet. Es fällt auf, dass häufig Wurzeln in der unmittelbaren Umgebung der Vorkommen zu finden sind. Das meist rötlich braune Mineraloid bildet oft winzige kaskadenförmige Sinterwülste und -becken („Microgours“), die manchen – dort meist deutlich größeren – Bildungen in Karsthöhlen nicht unähnlich sind. Morphologisch sehr ähnliche Formen, die jedoch ausschließlich aus detritischem Material unter Mitwirkung von Mikroorganismen aufgebaut sind und keine Mineralneubildung aufweisen, werden aus einer polnischen Sandsteinhöhle berichtet (Gradziński et al., 2010).
Weiters fanden sich in einigen der untersuchten Objekte winzige excentriqueähnliche Formen, die sich möglicherweise unter Einbeziehung von Spinnfäden bilden, sowie dunkelbraune, flächige Überzüge, die zumeist im Schwankungsbereich der Höhlenbäche auftreten. Über die Genese dieser Bildungen ist noch sehr wenig bekannt.
Sinterbildungen, die den bisher in österreichischen Granithöhlen beobachteten offenbar grundsätzlich entsprechen (Opal-A, Pigotit sowie braune, noch nicht identifizierte Beläge in Überflutungsbereichen), jedoch wesentlich größer sind, werden in diesem Heft auch aus einer der größten Granithöhlen der Welt, der Gobholo-Höhle in Swasiland (Bauer et al., 2015) beschrieben.

ÜBERSICHT ÜBER DIE ÖSTERREICHISCHEN FUNDORTE

Pfaffenhaus (6841/1)

In dieser 9 m langen, mannshohen Halbhöhle 6 km SE Kollerschlag (nordwestliches Mühlviertel) im Weinsberger Granit (Abb. 3) wurden am 17.8.2011 in einer Nische dunkelfarbige, knollige Sinterbildungen von bis zu 1 cm Größe vorgefunden (Abb. 4). Untersuchungen mittels Rasterelektronenmikroskop und energiedispersiver Röntgenanalytik (abgekürzt als REM-EDS), Univ. La Coruña, Spanien, Tab. 1 und Röntgendiffraktometrie ergaben als Bestandteile einerseits amorphes SiO_2 in Form von Opal-A, andererseits untergeordnet detritische Produkte der Muttergesteinsverwitterung (v.a. Glimmer, daneben auch Quarz und Feldspäte), die offenbar an den Opal angelagert wurden. Ferner konnten auch Reste verschiedener Mikroorganismen wie Schalenamöben (Gonzáles López at al., 2013), Algen, Bakterien, und Pilze beobachtet werden, die beim Aufbau der Strukturen mengenmäßig allerdings keine maßgebliche Rolle spielen dürften (Abb. 5 und 6). Daneben konnte auch als Mineralneubildung Smithsonit ($ZnCO_3$) mittels REM-EDS festgestellt werden. Zu den bisherigen Beobachtungszeitpunkten war in dieser Höhle keine Tropftätigkeit oder sonstige auffallende Feuchtigkeit festzustellen.

Abb. 4: Opalsinter aus dem Pfaffenhaus.
Fig. 4: Opal speleothem from Pfaffenhaus. Foto: Heiner Thaler

Element	Gewichts-Prozent
Si	57,0
O	15,2
Fe	13,7
Al	6,6
Cu	4,1
Ca	1,9
K	1,6

Tabelle 1: REM-EDS -Analyse des Sinters aus dem Pfaffenhaus.
Table 1: SEM/EDS analysis of the speleothem from Pfaffenhaus.

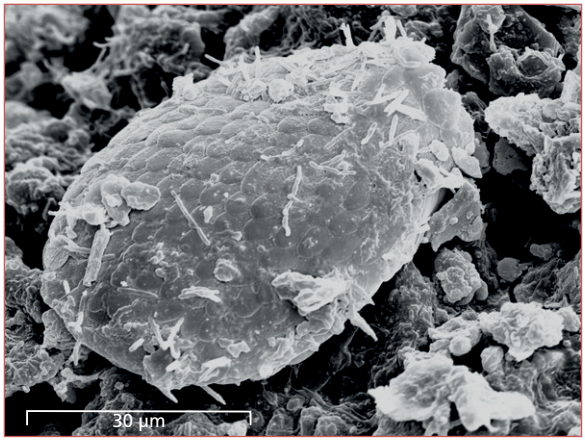

Abb. 5: Amöbenreste auf Opal-A-Sinter aus dem Pfaffenhaus (Rasterelektronenmikroskopieaufnahme).
Fig. 5: Remains of amoeba on opal-A speleothem from Pfaffenhaus (scanning electron micrograph).
Foto: Juan Ramón Vidal Romaní

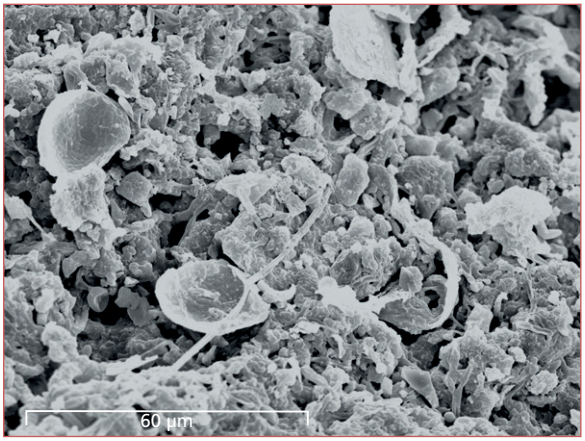

Abb. 6: Schalenamöbe *Euglypha strigosa* auf Opal-A-Sinter aus dem Pfaffenhaus (Rasterelektronenmikroskopieaufnahme).
Fig. 6: Testate amoeba Euglypha strigosa on opal-A speleothem from Pfaffenhaus (scanning electron micrograph).
Foto: Juan Ramón Vidal Romaní

Hinterbergerbach-Schwinde (6844/14)

Die Hinterbergerbach-Schwinde liegt in großem Blockwerk aus grobkörnigem Weinsberger Granit, das auf einige hundert Meter das Tal im Unterlauf des Hinterbergerbaches 6 km SW von St. Thomas am Blasenstein erfüllt (Abb. 7). Sie ist bis dato nicht vermessen, die befahrbaren Abschnitte des Blocklabyrinths dürften jedoch rund 100 m Ganglänge ergeben. Die Überlagerung beträgt bereichsweise über 10 m, die meisten Höhlenteile sind dabei vollkommen lichtlos.
Es konnten markante Auskolkungen als Hinweis auf eine zeitweise beträchtliche und erosiv wirksame Wasserführung dokumentiert werden. Es gelang sogar der einmalige fotografische Nachweis eines Bachsaiblings *(Salvelinus fontinalis)* am 25.10.2012 im aphotischen Bereich. An mehreren Stellen, vor allem im bachaufwärtigen, teilweise relativ großräumigen Teil dieser Höhle (Abb. 8), wurden flächige, braune Sinterbildungen in Form winziger Sinterwülste und -becken (*microgours*) an den Höhlenwänden gefunden (Abb. 9 und 10).
In einigen Fällen tritt das Tropfwasser dabei direkt aus dem überlagernden Blockwerk in den Höhlenraum ein, an zwei Stellen fällt jedoch ein üppiges, langgezogenes, hellbraunes Wurzelgeflecht im Umfeld der Sinterbildungen auf (Abb. 11).
Unter langwelligem UV-Licht zeigten die weißlichen Ränder der winzigen Sinterbecken vor Ort randlich eine deutliche grüne Fluoreszenz, deren Ursache noch

Abb. 7: Unterer Eingang der Hinterbergerbach-Schwinde.
Fig. 7: Lower entrance to Hinterbergerbach-Schwinde.
Foto: Heiner Thaler

Abb. 8: Im größten Raum der Hinterbergerbach-Schwinde.
Fig. 8: Largest chamber of Hinterbergerbach-Schwinde.
Foto: Heiner Thaler

nicht geklärt ist. Bei einem weiteren Besuch am 17.4.2014 waren einige Stellen deutlich degeneriert (Erosion durch Hochwasser?) und durch winzige Kondenswassertropfen bereichsweise nur schwer erkennbar.

Eine Wasseranalyse der Wassertropfen an den Sintern vom 17.4.2014 ergab einen Gehalt von 7,3 mg/l gelöster Kieselsäure (als SiO_2) sowie von 45 mg/l HCO_3^- bei einem pH-Wert von 8,7. Die Leitfähigkeit betrug 93 µS/cm, Nitrat war nicht nachweisbar. Am 12.11. 2012 wurde eine Leitfähigkeit von 108 µS/cm registriert. Diese Werte sind deutlich höher, als Lösungstests von Weinsberger Granit in destilliertem Wasser (Einwirkungszeit 12 Monate) ergaben (SiO_2: 4,3 mg/l, HCO_3: 12 mg/l, pH: 7,3). Die Daten sind ein Hinweis auf einen in diesem Bereich deutlich erhöhten CO_2-Gehalt

Abb. 9: Sinterbildungen in der Hinterbergerbach-Schwinde.
Fig. 9: Speleothems in Hinterbergerbach-Schwinde.
Foto: Rudolf Pavuza

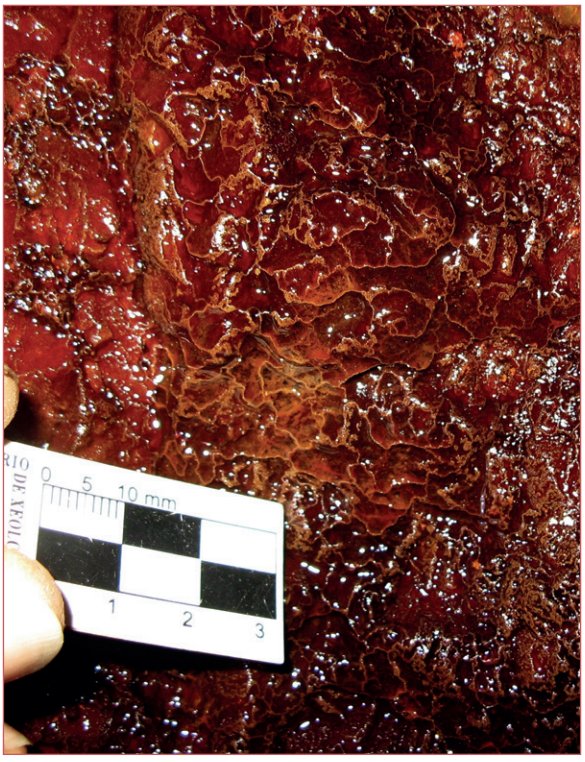

Abb. 10: Sinterbildungen größtenteils aus „Pigotit" in der Hinterbergerbach-Schwinde. Foto: Rudolf Pavuza
Fig. 10: „Pigotite"-speleothems in Hinterbergerbach-Schwinde.

Abb. 11: Wurzelbildungen im Umfeld der Sinterbildungen in der Hinterbergerbach-Schwinde.
Fig. 11: Roots adjacent to speleothems in Hinterbergerbach-Schwinde. Foto: Rudolf Pavuza

und möglicherweise auf organische Säuren im Sickerwasser aus Bodenbildungen und Wurzelbereichen. Die röntgenographischen Untersuchungen brachten – erwartungsgemäß – nur Hinweise auf angelagerte detritische Anteile der Gesteinsverwitterung in Form von Glimmer sowie auch auf Calcit (Neubildung?). Die REM-EDS-Untersuchung des braunen Sinters ergab indessen eine Zusammensetzung, die jener des Pigotits entspricht, es dominieren Al, C und O in diesem Alumo-Gel (Tab. 2).

Die Zusammensetzung der grün fluoreszierenden, weißlichen Ränder der Sinterbildungen ist noch nicht untersucht worden. Eventuell handelt es sich um Calcit, der röntgenographisch – jedoch in der Sammelprobe – nachgewiesen wurde.

Ein mikrobiologischer Kulturansatz des Tropfwassers

Element	Gewichts-Prozent
O	42,4
C	34,8
Al	22,8

Tabelle 2: REM-EDS-Analyse des „Pigotits" aus der Hinterbergerbach-Schwinde.
Table 2: SEM/EDS analysis of the "Pigotite"-speleothem from Hinterbergerbach-Schwinde.

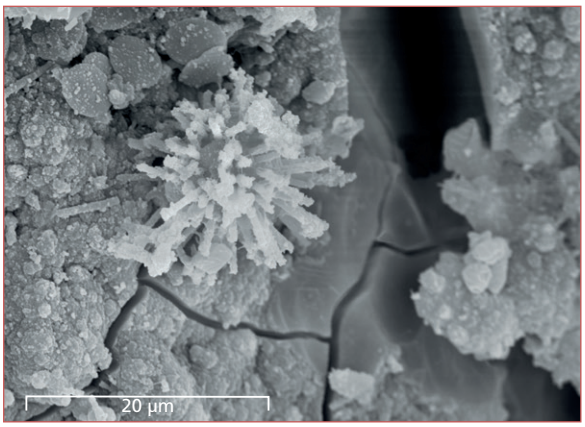

Abb. 12: Rasterelektronenmikroskopieaufnahme des Alumogels/Pigotitsinter mit Cyanobakterien in der Hinterbergerbach-Schwinde.
Fig. 12: Scanning electron micrograph of "pigotit"-alumogel with blue green algae from Hinterbergerbach-Schwinde.
Foto: Juan Ramón Vidal Romaní

der Sinter aufgetragen auf Nutrient-Agar (Merck), einem Nähragar zur Detektion anspruchsloser heterotropher aerober Bakterien, sowie auf Gauze-Agar zur Selektion von Actinomyceten, zeigte keinen dominanten Typus von Mikroorganismen. Vielmehr entsprach das mikrobiologische Spektrum jenem eines oberirdischen Bodeneluats, allerdings mit äußerst geringer Keimzahl. Elektronenmikroskopisch konnten auf der Oberfläche des Sinters mittels REM noch Reste von Schalenamöben, Cyanobakterien und nicht näher identifizierbare Filamente von Mikroorganismen (Abb. 12) detektiert werden.

Über das Höhlenklima gibt es noch keine längerfristigen Aufzeichnungen. Am 12.11.2012 wurden im großen Raum des flussaufwärtigen Höhlenabschnittes, wo sich die meisten Sinterbildungen befinden, Werte für ^{222}Rn von rund 600 Bq/m^3 und jene der Radon-Folgeprodukte (EEC) von lediglich 20 Bq/m^3 gemessen – es war also jedenfalls zu dieser Zeit ein reger Luftaustausch gegeben.

Drachenhöhle (6844/14)

Im Oberlauf des Hinterbergerbaches, bereits im „Naturpark Mühlviertel", rund 1,2 km NW und 130 m höher gelegen als die Hinterbergerbach-Schwinde, liegt die Drachenhöhle. Sie ist ebenfalls in grobblockigem Weinsberger Granit angelegt. Das Tal ist jedoch hier weniger eingetieft und die Blockansammlung insgesamt geringer mächtig. Dadurch ergeben sich in diesem ca. 100 m langen, noch unvermessenen Objekt (Abb. 13) immer wieder lichterfüllte Bereiche, was den Höhleneindruck im Ganzen weniger ausgeprägt erscheinen lässt. In dieser bereichsweise durchaus

Abb. 13. Unterer Eingang zur Drachenhöhle.
Fig. 13: Lower entrance to Drachenhöhle.
Foto: Heiner Thaler

Abb. 14: Knolliger Sinter – vermutlich Opal-A – in der Drachenhöhle.
Fig. 14: Nodular speleothem – probably Opal-A – in Drachenhöhle.
Foto: Rudolf Pavuza

Abb. 15: Sinterformen (Microgours) in der Drachenhöhle.
Fig. 15: Microgours in Drachenhöhle.
Foto: Rudolf Pavuza

geräumigen Höhle konnten Vorkommen sowohl von Opal-A als auch von ansehnlichen, pigotitähnlichen Sinterbildungen mit feinem Kristallbesatz – vermutlich aus Calcit – festgestellt werden (Abb. 14 und 15). Darüber hinaus fanden sich aber auch merkwürdige Sinterbildungen an der Unterseite von Blöcken im Eingangsbereich und in anderen noch lichterfüllten Bereichen der Höhle, die vorher noch in keiner anderen von uns untersuchten Granithöhle gefunden wurden. Diese Speläotheme sind teilweise relativ klobige, maximal einige mm lange und oft von Spinnfäden behangene, excentriques-ähnliche Formen (Abb. 16), deren Oberfläche bei der ersten Betrachtung unter der Lupe einen kristallinen Charakter vortäuschte, sich in der röntgenographischen Untersuchung aber nur als

Abb. 16: „Bioexcentriques" in der Drachenhöhle.
Fig. 16: „Bio-helictites " in Drachenhöhle.
Foto: Rudolf Pavuza

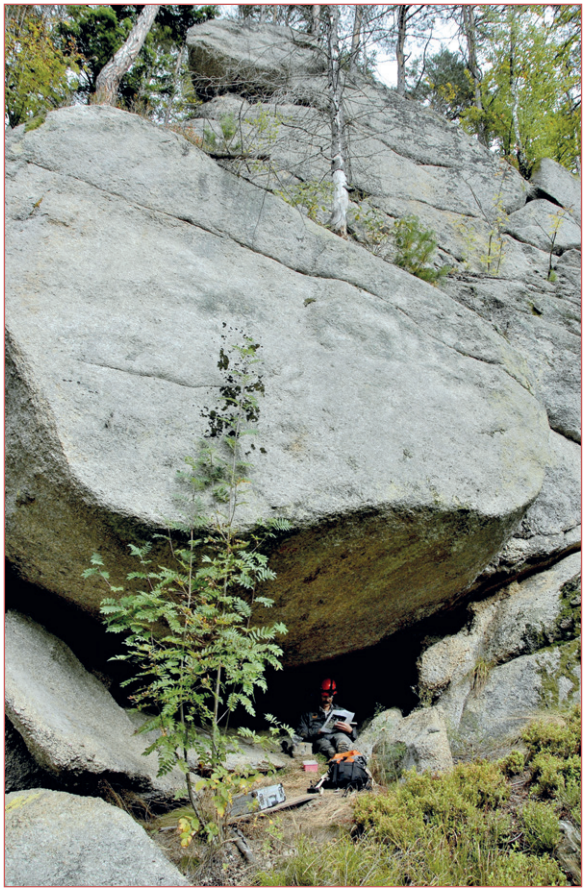

Abb. 17: Eingang zur Goldenes-Herz-Kluft (6845/217).
Fig. 17: Entrance to Goldenes-Herz-Kluft (6845/217).
Foto: Heiner Thaler

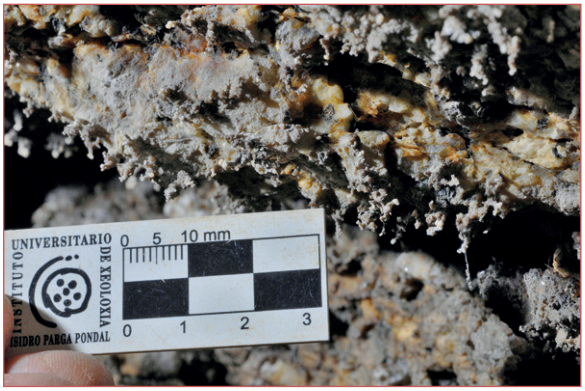

Abb. 18: „Bioexcentriques" in der Goldenes-Herz-Kluft.
Fig. 18: „Bio-helictites" in Goldenes-Herz-Kluft.
Foto: Heiner Thaler

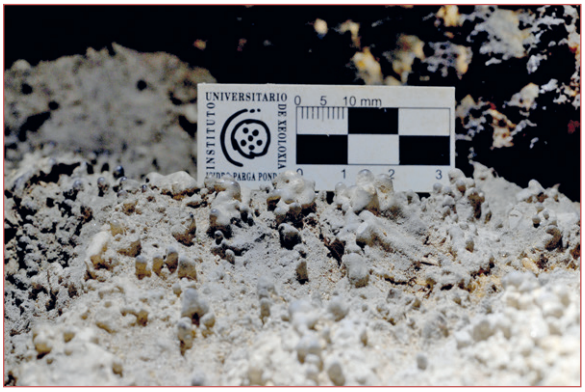

Abb. 19: Opal-A Speläotheme in der Goldenes-Herz-Kluft.
Fig. 19: Opal-A-speleothems in Goldenes-Herz-Kluft.
Foto: Heiner Thaler

detritischer Quarz herausstellte. Aufgrund der Vergleiche mit analogen Formen in venezolanischen Sandsteinhöhlen (Aubrecht et al., 2008) erscheint eine Genese unter Einbeziehung von Spinnfäden sowie die Bildung von Opal-A mit Anlagerung von detritischen Quarzkörnern vorerst am wahrscheinlichsten, obgleich auch Kapillareffekte für die Genese solcher Formen verantwortlich gemacht werden können (Vidal Romaní et al., 2015c). Im Eingangsbereich der Drachenhöhle war auf der Unterseite des riesigen, den Eingang überdeckenden Felsblockes eine größere Zone mit diffusem Feuchtigkeitsaustritt zu erkennen. Die beschriebenen Sinterformen bleiben auf diesen Bereich beschränkt.

Goldenes-Herz-Kluft (6845/217)

Von Friedrich Volkmann (Wien), der die Höhle bearbeitet und vermessen hat, wurden wir im Herbst 2013 auf Sinterbildungen in dieser 14 m langen, teilweise kluftgebundenen Höhle im Weinsberger Granit (Abb. 17) aufmerksam gemacht. Es stellte sich heraus, dass die Formen an der Decke einer kleinen Nische jenen der „Bioexcentriques" der Drachenhöhle entsprechen (Abb. 18), die darunter auf dem Boden gewachsenen Speläotheme hingegen den knolligen Formen aus Opal-A, wie sie im Pfaffenhaus sowie in der Drachenhöhle gefunden wurden, ähneln (Abb. 19).

Zwergentunnel (6845/230)

Im August 2014 entdeckte Friedrich Volkmann im Bereich des Mandlsteins in mittelkörnigen Eisgarner Granit, 7 km NW von Weitra (NÖ), in dem von ihm bearbeiteten 13 m langen Zwergentunnel, knollige, teilweise aber auch elongierte, mitunter pilzförmige Sinterbildungen (Volkmann, 2015), die höchstwahrscheinlich ebenfalls aus Opal-A aufgebaut sind (Abb. 20). Weitere Untersuchungen stehen noch aus.

Weitere Hinweise

Auf älteren Fotos aus der Gießenbachversickerung (6844/1) nordöstlich von Grein (OÖ) heben sich brau-

ne Ablagerungen an den Höhlenwänden deutlich vom Weinsberger Granit ab. Eine Verifizierung er-folgte noch nicht. In der Oberen und der Unteren Saubachlhöhle (6845/127, 128), den derzeit längsten Granithöhlen (bisher vermessen 311 m bzw. 95 m, große Teile noch unvermessen) Österreichs, im südwestlichen Waldviertel im Weinsberger Granit gelegen, stehen ebenfalls Untersuchungen noch aus. Auf Fotos des Saubachtunnels (6845/130) sind indessen mögliche Ansätze von Sinterbildungen zu erkennen. In der Winklbachschwinde (6844/7) bei Rechberg (OÖ) sowie in der Etzelsteinhöhle (1874/4) bei Neustadt (NÖ) südlich der Donau – beide im Weinsberger Granit- konnten bislang nur äußerst winzige knollige Sinterformen, vermutlich aus Opal-A, beobachtet werden.

Abb. 20: Sinterbildungen – wahrscheinlich aus Opal-A – im Zwergentunnel.
Fig. 20: Speleothems – probably composed of opal-A – in Zwergentunnel. Foto: Friedrich Volkmann

AUSBLICK

Die Beschreibung der Höhlen in den österreichischen Granitgebieten, vor allem aber die Untersuchung ihres Höhleninhalts steht im Vergleich zu den alpinen Karsthöhlen erst am Anfang. Viele Fragen wurden bisher allenfalls gestreift. Einige mögliche zukünftige Schwerpunkte der Forschung wären:

- Suche nach weiteren Überdeckungs- bzw. Blockhöhlen v.a. im Mühlviertel und im westlichen Waldviertel,
- Vermessung von neuen und auch von bereits bekannten Objekten (v.a. im Mühlviertel),
- botanisch-bodenkundliche Kartierungen im Bereich der Höhlen,
- Kartierung der Raumformen und des Höhleninhaltes (Strudeltöpfe, Fließfacetten, Sedimente, Sinterbildungen)
- Aufzeigen der Unterschiede zwischen grob- und feinkörnigen Graniten aus speläogenetischer Sicht;
- weitere chemisch-physikalische, mikromorphologische und biologische Untersuchungen an den unterschiedlichen Mineral- und Sinterbildungen und Sedimenten,
- Versuch einer Altersbestimmung der Sinter (z.B. ^{14}C an Pigotitsinter, U-Th an Opal-A) und Sedimente (OSL),
- Formulierung von Modellen zur Genese der Höhlen (vgl. Vaqueiro-Rodríguez et al., 2015),
- Hydrochemie der Sickerwässer an den Sinterbildungen,
- Untersuchung der Bewetterung und des Höhlenklimas der Blockhöhlen,
- Einfluss von (Paläo)Erdbeben,
- Abgrenzung zum „Karst“ – vgl. dazu auch Willems et al. (2002).

Die Autoren hoffen, dass diese erste Vorstellung dieser kleinen, jedoch aus der Nähe durchaus reizvollen Sinterbildungen auch die Neugierde anderer Granithöhlenbesucher weckt und „das Auge schärft“ – ganz so, wie es uns selbst erst durch den Besuch der spanischen Granithöhlen ergangen ist.

DANK

Wir sind unseren Höhlenforscherkollegen Heiner Thaler (Fotos), Walter Greger und Erhard Fritsch (Geländearbeiten), Friedrich Volkmann (eigene Beobachtungen) sowie Vera Hammer (NHM-Wien, Röntgenuntersuchungen), Maria Heinrich (Geologische Bundesanstalt, Granitverbreitungskarte) und Anna Bieniok (Universität Salzburg, kritische Durchsicht des Manuskriptes) zu Dank für die uneigennützige Unterstützung verpflichtet. Teilweise wurden die Geländearbeiten durch das BMLFUW finanziell unterstützt.

LITERATUR

Aubrecht, R., Brewer-Carías, Ch., Šmida, B., Audy, M. & Ková ik, L . (2008): Anatomy of biologically mediated opal speleothems in the World's largest sandstone cave: Cueva Charles Brewer, Chimantá Plateau, Venezuela. – Sedimentary Geology, 203: 181–195.

Bauer, H., Exel, T., Oberender, P., Sjöberg, R., Lundberg, J. & Scheuerer, M. (2015): Die Gobholo-Höhle in Swasiland (Afrika) – Expedition in eine der längsten Granithöhlen der Welt. – Die Höhle, 66: 27–42.

Creighton, J.K. (1894): On the occurence of pigotite in the caves near Porthcurnow, St. Levan, Cornwall. – Geol. Magazine, 1: 223–225.

Fritsch, E. (1987): Die Höhlen des kristallinen Grundgebirges in Oberösterreich – 1.Teil. – Mitt. Landesverein f. Höhlenkunde in OÖ, 33(1): 3–28.

Fritsch, E. (1988): Die Höhlen des kristallinen Grundgebirges in Oberösterreich – 2.Teil. – Mitt. Landesverein f. Höhlenkunde in OÖ, 34(2): 25–31.

Gonzáles López, L., Vidal-Romaní, J.R., López Galindo, M., Vaqeuiro Rodríguez, M. & Sanjurjo Sánchez, J. (2013): First data on testate amoebae in speleothems of caves in igneous rocks. – Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe, Coruña, 37: 37–56.

Gradziński, M., Chmiel, M.J., Lewandowska, A. & Michalska-Kasperkiewicz, B. (2010): Siliciclastic mikrostromatolithes in a sandstone cave: role of trapping and binding of detrital particles in formation of cave deposits. – Ann. Soc. Geol. Poloniae, 80: 303–314.

Hartmann, W. & Hartmann, H. (Red., 1985): Die Höhlen Niederösterreichs. Band 3. – Die Höhle, Beiheft 30.

Hartmann, W. & Hartmann, H. (Red., 1990): Die Höhlen Niederösterreichs. Band 4. – Die Höhle, Beiheft 37.

Hartmann, W. & Hartmann, H. (Red., 2000): Die Höhlen Niederösterreichs. Band 5. – Die Höhle, Beiheft 54.

Hill, C. & Forti, P.(1997): Cave minerals of the world.- National Speleological Society.

Johnston, J.F.W. (1840): On the constitution of Pigotite and on the Mudesous and Mudesic Acids. – Phil. Trans. of the Royal Society of London, 4 (1837-1843): 239–241.

Knobloch, G. (1990): Die Saubachlhöhlen im Yspertal (6845/127 u. 128). – Höhlenkundliche Mitt. Wien, 46(4): 115–117.

Kohl, H. (2000): Das Eiszeitalter in Oberösterreich – Abriss einer Quartärgeologie von Oberösterreich. – Schriftenreihe OÖ. Musealverein, 17.

Kurat, G. (1965): Der Weinsberger Granit im südlichen österreichischen Moldanubikum. – Tschermaks min. petr. Mitt., 9(3): 202–227.

Lundberg, J., Brewer-Carias, C., McFarlane, D.A. (2010): Preliminary results from U-Th dating of glacial-interglacial deposition cycles in a silica speleothem from Venezuela. – Quaternary Research, 74(1): 113-120.

Mais, K. & Pavuza, R.(1988): Höhlen im österreichischen Anteil des südböhmischen Kristallins und des östlich anschließenden Gebietes. – Vortragsheft 3. Pseudokarst-Symposium (Königstein, DDR): 1–3

MINDAT (2015): Pigotite.- (http://www.mindat.org/min-3211.html, Abfrage 10.4.2015)

Mörner, N.-A. (2003): Paleoseismicity of Sweden – a novel paradigm. – Subcomm. Paleoseismology INQUA, Paleogeophysics & Geodynamics, Stockholm Univ.

Oberender, P. (2012): Klassifikation von Höhlen in unterschiedlichen Gesteinen in Niederösterreich. – Unveröff. Dipl. Arb. Rhein. Friedrich-Wilhelms-Univ. Bonn.

Vaqueiro Rodríguez, M., Costas Suárez, R., & Vidal Romaní, J.R. (2015): Geomorphological mapping of the seismotectonic cave system of A Trapa, Ribadelouro, Tui (Galicia, Spain). – UIS Pseudokarst Comm. Newsletter, 25: 34–41.

Vidal Romaní, J.R., Gonzáles López, L., Vaqueiro, M., Sanjurjo Sánchez, J. (2014): Bioweathering related to groundwater circulation in cavities of magmatic rock massifs. – Environ. Earth Sciences. 73:2997–3010.

Vidal Romaní, J.R., Vaqueiro Rodríguez, M., Sánchez, J.S., López Galindo, M.J., Gonzáles López, L., (2015a): Mineralogy of speleothems in magmatic rock caves. – UIS Pseudokarst Comm. Newsletter, 25: 14–19.

Vidal Romaní, J.R., Gonzáles López, L., López Galindo, M.J., Sánchez, J.S., Vaqueiro-Rodríguez, M.(2015b): Speleothems in magmatic rock caves and associated microorganisms. – UIS Pseudokarst Comm. Newsletter, 25: 8–13.

Vidal Romaní, J.R., Vaqueiro Rodríguez, M., Sánchez, J.S., López Galindo, M.J., Gonzáles López, L., (2015c): Morphologic types of speleothems in magmatic rock caves. – UIS Pseudokarst Comm. Newsletter, 25: 20–26

Volkmann, F. (2015): Neue Höhlen bei Heinrichs bei Weitra. – Höhlenk. Mitt. Wien, 71(3/4): 45–48.

Willems, L., Compére, Ph., Hatert, F.M., Pouclet, A., Vicat, J.P., Ek, C. & Boulvain, F. (2002): Karst in granitic rocks, South Cameroon: cave genesis and silica and taranakite speleothems. – Terra Nova, 14(5): 355–362.

ZAMG (2015): Erdbebengefahr in Oberösterreich.- www.zamg.ac.at/cms/de/geophysik/erdbeben/erdbeben-in-esterreich/uebersicht_neu/oberoesterreich, (Abfrage 10.4.2015)

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Die Höhle

Jahr/Year: 2015

Band/Volume: 66

Autor(en)/Author(s): Pavuza Rudolf

Artikel/Article: Sinterbildungen in österreichischen Granithöhlen – erste Hinweise 15-26