

Morphologie der Pool-Fingers in der Riesenberghöhle (Süntel, Niedersachsen)

ZUSAMMENFASSUNG

Die 2009 entdeckten, postglazial entstandenen *Pool-Finger*-Vorkommen und biogenen Sinter im Riesenberg-Höhlensystem werden beschrieben und deren Genese diskutiert. Es handelt sich dabei um das bisher weltweit am nördlichsten gelegene Vorkommen dieser Art von Speläothemen. *Pool-Fingers* sind biogene Sinter, deren Bildung auf Mikroorganismen (Bakterien) zurückzuführen ist. Zwei zusammen mit den *Pool-Fingers* vorkommende, morphologisch gut zu unterscheidende Höhlenkorallen-Typen werden beschrieben und deren durch Bakterien beeinflusste Entstehung dargestellt. Erstmals wird ein *U-Loop* zwischen Kristallen von Beckenrandsinter (*shelfstone*) spezifiziert. Mikroskopisch untersuchte Sinterbecken-Proben (*Pool-Fingers*, Beckenrandsinter) mit fossilen, netzartigen und gerippten Bakterienfilamenten sowie kugelförmige Zellen werden dokumentiert und in Aufnahmen mit dem Rasterelektronenmikroskop dargestellt. Auf die Bedeutung eines Initial-Biofilms zur Bildung von *Pool-Fingers* wird eingegangen.

Es werden alle *Pool-Finger*-Vorkommen in Deutschland angeführt, die bis Ende 2014 bekannt geworden sind und weitere in den letzten Jahren bekannt gewordene Vorkommen in der Schweiz, Österreich und Frankreich in exemplarischer Form. Durch die ersten Funde von beweglichen, *Pool-Finger*-ähnlichen Bildungen in Sinterbecken des Herbstlabyrinth-Adventhöhle-Systems (Hessen) wird die Einteilung in fossile und lebende *Pool-Fingers* vorgeschlagen. Auf ähnliche biogene Bildungen in Bergwerken, die *Snottiten*, und Ablagerungen vom „Abwasserpilz“ (Fadenbakterien) wird kurz eingegangen.

ABSTRACT

Morphology of *pool fingers* in Riesenberghöhle (Süntel, Lower Saxony)

Holocene *pool finger* deposits and biogenic speleothems, which were discovered in the Riesenberg cave system in 2009, are described and discussed. These speleothems belong to the world's northernmost deposits of their kind. *Pool fingers* are biogenic speleothems, whose development is caused by microorganisms (bacteria). Two cave coral types are described, which can be morphologically distinguished from *pool fingers* and are also formed by bacterial activity. For the first time, a *U-loop* between crystals of the *shelfstone* is described. Cave pool samples (*pool fingers*, *shelfstone*) with reticulate and ribbed bacteria filaments and spherical cells are documented. The importance of initial biofilms in the formation of *pool fingers* is also discussed. All known *pool finger* deposits in Germany until early 2014 are listed as well as occurrences in Switzerland, Austria and France.

Considering the first discoveries of mobile *pool finger*-like formations in pools of the Herbstlabyrinth-Adventhöhle-System (Hessen), a separation of fossil and living *pool fingers* is suggested. Similar biogenic calcite formations in mines, referred to as *snottites*, and the deposition of a "sewage fungus" are briefly discussed.

Stefan Meyer

Höhlengruppe Nord e.V.,
Arbeitsgemeinschaft für Karstkunde Harz e.V., Speläologen-Bund Hildesheim
Kirchfeld 14, 31171 Nordstemmen/Barnten
Deutschland
androniscus@web.de

Leslie Melim

Western Illinois University, Department of
Geology, 1 University Circle, Macomb
IL 61455, USA
LA-Melim@wiu.edu

Denis Scholz

Arbeitsgruppe Speläothemforschung,
Institut für Geowissenschaften,
Johannes-Gutenberg-Universität Mainz
Johann-Joachim-Becher-Weg 21
55128 Mainz
Deutschland
scholz@uni-mainz.de

eingelangt: 25.9.2014
angenommen: 22.6.2015

EINLEITUNG

Pool-Fingers sind eine derzeit genauer untersuchte Sinterform, die deshalb auf größeres Interesse stößt, da es sich um biogene Bildungen handelt, im Gegensatz etwa zu Stalaktiten, die rein abiogen, d.h. ohne aktive Beteiligung von Organismen entstehen. Die Erforschung dieser faszinierenden Formen aus lebender und toter Materie ist ein noch junges Forschungsfeld, hat seinen Ursprung in den USA und ist ein Betätigungsfeld für Biologen und Geologen gleichermaßen. *Pool-Fingers* sind im deutschsprachigen Raum kaum bekannt und wurden deshalb bisher oft nicht als solche erkannt. Seit der Vorstellung der ersten *Pool-Finger*-Vorkommen in zwei deutschen Höhlen (Meyer & Plan, 2010) konnten diese ungewöhnlichen biogenen Sinterformen mittlerweile in fünf weiteren Höhlen nachgewiesen werden. Neben der Riesenberghöhle und dem Herbstlabyrinth-Adventhöhle-System konnten auch Nachweise aus der Blauhöhle (Schwäbische Alb), der Lohberghöhle bei Schönwind, der Hermanshöhle (Harz), der Mäanderhöhle (Fränkische Schweiz) und der Bleißberghöhle (Thüringer Wald) dokumentiert werden. In den zwei zuletzt aufgeführten Höhlen wurden keulenförmige *Pool-Fingers* dokumentiert. Diese weichen stark von der eigentlichen *Pool-Finger*-Morphologie ab und ihr biogener Ursprung ist noch nicht nachgewiesen (Meyer, 2014). 2014 entdeckte Vorkommen in der Zoolithenhöhle und fragliche Vorkommen in der Sophienhöhle bedürfen noch einer näheren Untersuchung. Während in Deutschland noch wenige Höhlen mit *Pool-Finger*-Vorkommen bekannt sind, nimmt die Häufigkeit dieser Sinterform nach Südwesten zu. So sind in der Schweiz (z.B. Bärenschacht, Sinterfall-

schacht Z2, Kreuzloch Unteriberg, Pomeranzenhöhle, Grotte Vallorbe) und in Südfrankreich (z.B. Grotte de Vitalis, Grotte de Sourbettes, Grotte de Fontbriouse, Borne aux Cassots, Antre de Venus, Trou des Vents d'Ange) die als *Baguettes de gours* bezeichneten *Pool-Fingers* keine Seltenheit. In Österreich wurden bisher in fünf Höhlen *Pool-Fingers* nachgewiesen: Gassel-Tropfsteinhöhle (1618/3), Odelsteinhöhle (1722/1), Schachernhöhle (1866/9), Schneckenloch (1126/1) und Fledermaushöhle (2131/5). Fast alle liegen auf über 1000 m Seehöhe. Diese Häufung muss nicht unbedingt dem natürlichen Verbreitungsgebiet von *Pool-Fingers* entsprechen und ist in Abhängigkeit der vorhandenen Karstgebiete / Höhlen vor allem durch Forschungslücken geprägt, denn *Pool-Fingers* wurden im deutschsprachigen Raum erst seit 2009 als solche erkannt und dokumentiert. Meyer & Plan (2010) vermuten eine postglaziale Entstehung, wobei die Formen in der Bleißberghöhle und der Mäanderhöhle aufgrund der Mächtigkeit der Kalzitablagerungen vermutlich vor der letzten Eiszeit gebildet wurden. Ob es wirklich ein Nord-Süd-Gefälle in der Häufigkeit der *Pool-Finger*-Vorkommen gibt und ob dieses eventuell klimatisch bedingt ist, müssen die weiteren Forschungen klären.

2009 wurden weltweit die ersten beweglichen, nicht versinterten und nachweislich lebenden *Pool-Fingers* im Herbstlabyrinth-Adventhöhle-System (Abb. 1; Meyer & Plan, 2010; Meyer, 2012, 2013, 2014) und weitere ähnliche Vorkommen 2013 in der Blauhöhle entdeckt. Dabei ist nicht geklärt, ob der Kalzit aktiv z.B. durch Bakterien oder eher passiv durch physikalische und / oder chemische Vorgänge, d.h. abiogen, gebildet

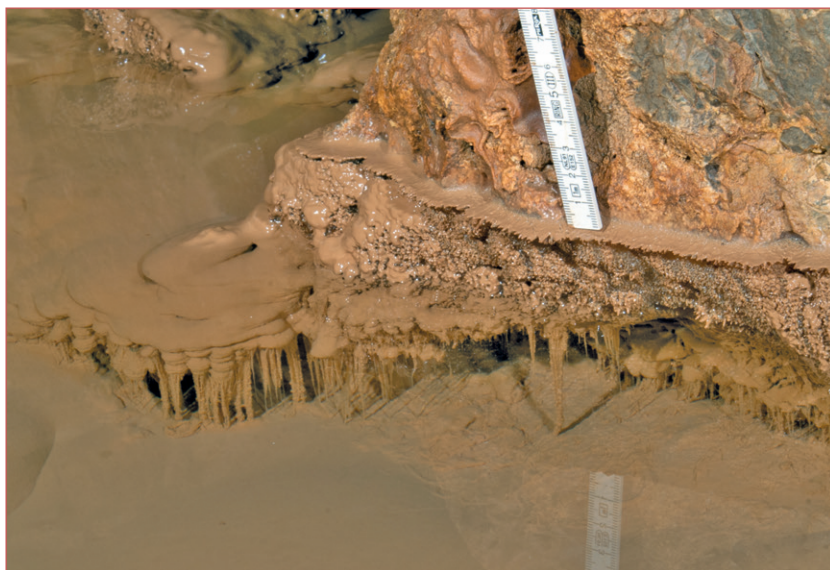


Abb. 1: Lebende *Pool-Fingers* in der Rätselhalle des Herbstlabyrinth-Adventhöhle-Systems, Hessen (D).

Fig. 1: Living pool fingers in the Rätselhalle of the Herbstlabyrinth-Adventhöhle-System, Hesse, Germany. Foto: Stefan Meyer

wird. Mikroorganismen, die an der Erdoberfläche Sedimente produzieren, sind aus einigen Regionen der Welt schon dokumentiert. Auch von Bakterienarten aus der Abteilung der *Firmicutes* oder von den bekannteren Stromatolithen (Cyanobakterien) ist bekannt, dass sie aktiv Kalzit abscheiden (z.B. Reitner et al., 2008; Jain et al., 2010). Auch aus Höhlen wurden schon Anfang des letzten Jahrhunderts biogene Kalksinterbildungen beschrieben (Dudich, 1932; Magdeburg, 1933). Bei den hier beschriebenen „Höhlen-Pflanzen“ handelte es sich um Cyanobakterien (Blualgen). Eine Übersicht über das Vorkommen von Mikroorganismen im Zusammenhang mit Speläothemen findet sich bei Northup et al. (1997).

Bakterien sind weder Tiere noch Pflanzen, zusammen mit den *Archaea* gehören sie zu den *Prokaryoten* (Lebewesen ohne Zellkern). Tiere und Pflanzen haben Zellkerne, sie sind sogenannte *Eukaryoten*. Die Einteilung der Natur in Tier-, Pflanzen- und Mineralreich beruht auf einer wegweisenden Veröffentlichung von Linné (1785). Sie ist nach über 200 Jahren biologischer Forschung längst nicht mehr ausreichend. Um sämtliche Organismengruppen, insbesondere auch der Mikroorganismen, taxonomisch einzuordnen, wurde daher die Einteilung der Lebewesen besonders während der letzten 20 Jahre immer wieder den neuesten Erkenntnissen angepasst. Dem Mineralreich stehen heute die zwei „Domänen“ der Lebewesen, Prokaryoten und Eukaryoten, mit jeweils etlichen „Reichen“ gegenüber. Zu den Eukaryoten gehören u.a. die Reiche der Tiere (*Animalia*), Pflanzen (*Plantae*) und Pilze (*Fungi*) (Cavalier-Schmith, 1998).

BIOGENE SINTER

Pool-Fingers sind nur eine von mittlerweile mehreren verschiedener Sinterformen, an deren Bildung Mikroorganismen, meist Bakterien, beteiligt sind (z.B. *Pool-Meringue*, *Drips*, *U-Loops* und *Webbulite*; Melim et al., 2011). Aufgrund ihrer typischen Morphologie können diese Formen gut auch untertage bereits bestimmt werden. Lebensraum und Grundlage dieser Mikroorganismen sind bzw. waren Wasseransammlungen und Wasserfilme mit den darin gelösten Nährstoffen. Es ist somit auch davon auszugehen, dass die Sickerwässer für die Verbreitung und Besiedelung der Mikroorganismen von besonderer Bedeutung sind. Vor allem Sinterbecken stellen aufgrund ihrer konstanten Bedingungen über lange Zeiträume einen optimalen Lebensraum dar. Somit verwundert es nicht, dass gerade in den Sinterbecken die meisten biogenen Sinter beschrieben wurden (Melim et al., 2011, 2013). Fossile Mikroorganismen finden sich aber auch in anderen

Die umgangssprachlich von Höhlenforschern verwendete Aufteilung in Höhlenfauna und -flora erwies sich in der Vergangenheit als sehr praktisch und ist in der Forschung weiterhin weit verbreitet. Es stellt sich heute aber die Frage, wo Mikroben bzw. Bakterien einzuordnen sind.

Wie die den lebenden *Pool-Fingers* ähnelnden Formen des sogenannten „Abwasserpilzes“ (Sammelbegriff einer Lebensgemeinschaft aus diversen Bakterienarten aus der Gruppe der *Actinobacteria*) in der Blauhöhle und der Syrauer Drachenhöhle einzuordnen sind, muss noch untersucht werden. In diesem Zusammenhang sind auch die Biofilme und Schleimfäden in der von Siedlungsabwässern durchflossenen Hessianhöhle zu nennen. Inwieweit hier die Bakterien *Sphaerotilus natans* oder *Escherichia coli* involviert sind, wie Bohnert et al. (2014) vermuten, müssen weitere Untersuchungen klären.

Eine auf den ersten Blick ähnliche Morphologie zeigen die *Snottiten* (Macalady et al., 2007; Ziegler et al., 2009, 2013; Jones et al., 2012). Bei den *Snottiten* – übersetzt etwa „Rotz-Stalaktiten“ – handelt es sich um Ansammlungen von eisenoxidierenden Bakterien, die sich aber außerhalb von Wasseransammlungen als schleimartige Stalaktiten bilden. In den teilweise glasklaren Endtropfen dieser Snottiten sind weiße Schlieren zu erkennen.

Pool-Finger-ähnliche Versinterungen finden sich auch in wasserführenden Stollen und Bergwerken, wobei diese erstmals aus dem Büchenberg bei Werningerode (Harz) beschrieben wurden (Meyer, 2013b; Knolle et al., 2013).

Sinterformen, wie z.B. in Höhlenperlen (Gradzinski, 2003; Melim et al., 2008) oder Beckenrandsintern (*shelfstone*). Doch auch lebende Mikroorganismen wurden schon im Inneren von Sintern beobachtet (pers. Mitt. D.E. Northup). Nach neueren Untersuchungen sind auch die berühmten korallenartigen Höhlenblumen in der Asperge-Grotte im Süden Frankreichs nur mit Hilfe von Bakterien und Pilzen entstanden (Schmid, 2012).

Mikroorganismen sind ein bedeutender, aber noch kaum beachteter Bestandteil der „Höhlenflora“ bzw. der Höhlenorganismen. Da Bakterien wie auch Pilze wissenschaftlich weder zu den Pflanzen noch zu den Tieren gestellt werden (z.B. Wurmbach, 1989), sollte dafür besser die Bezeichnung *Höhlen-Mikrobiom* bzw. *Pool-Mikrobiom* verwendet werden. Dieser hinsichtlich des Lebensraumes Höhle erweiterte Begriff aus der Humanbiologie soll die Gesamtheit von Mikro-

organismen (*Bacteria, Archaea, Protozoa, Fungi* usw.) bezeichnen, die in einer Höhle oder in einem Sinterbecken leben. Er umfasst unter anderem die Lebewesen, die nicht in die klassische Einteilung in Höhlenfauna und Höhlenflora eingeordnet werden können. Mit der Untersuchung von DNA-Sequenzen ist eine Ermittlung der Arten und Artengemeinschaften möglich. Erste Untersuchungen erfolgten in den Carlsbad Caverns (USA). Die Bestimmung der Arten wird

auch die Entdeckung neuer Arten nach sich ziehen. Wie bei den höheren Lebensformen, finden sich auch bei den Höhlen-Mikroorganismen endemische, speziell an den Lebensraum angepasste Arten (pers. Mitt. D.E. Northup 2011). Die Besonderheit dieser Lebewesen, passiv und / oder aktiv bei der Bildung von Sinterformen mitzuwirken, zeigt den enormen Einfluss dieses sonst mit dem menschlichen Auge nicht sichtbaren Lebens.

DIE RIESENBERGHÖHLE

Das 1127 m lange Riesenberg-Höhlensystem, bestehend aus der Langenfelder- und der Riesenberghöhle, liegt 35 km westlich von Hannover im Süntel in einem vorwiegend aus Kalken des Jura aufgebauten Gebirgszug des Weserberglandes (Abb. 2). Die Höhlenbildung ist an die Fossilschicht im Unteren Korallenoolith des Oberen Jura gebunden (Kaiser, 1978). Als typische Schichtfugenhöhle folgt diese dem flachen, 5° Schicht-einfallen Richtung NW. Höher gelegene bzw. tiefer liegende Höhlengänge sind nicht bekannt. Trotz der Öffnung der Höhlen 1953 bzw. 1969 durch den regionalen Gesteinsabbau und die damit verbundenen

Zerstörung konnte ein Großteil des sinterreichen Höhlensystems unter Schutz gestellt werden (Schillat, 1959, 1996). Vor allem die Riesenberghöhle zeigt sich in fast allen Bereichen noch wie am Tag ihrer Entdeckung. Weitere Angaben zu Morphologie und Genese des Riesenberg-Höhlensystems finden sich bei Fabisch (1996), Meyer & Dorsten (2009), Meyer (2009) sowie Scholz et al. (2014). Die fossilen *Pool-Fingers* in der Riesenberghöhle sind postglazial entstandene biogene Sinter, die bisher nur in einem Höhlenteil mit zwei separaten Vorkommen, im sogenannten *Weißer Teil*, entdeckt wurden.

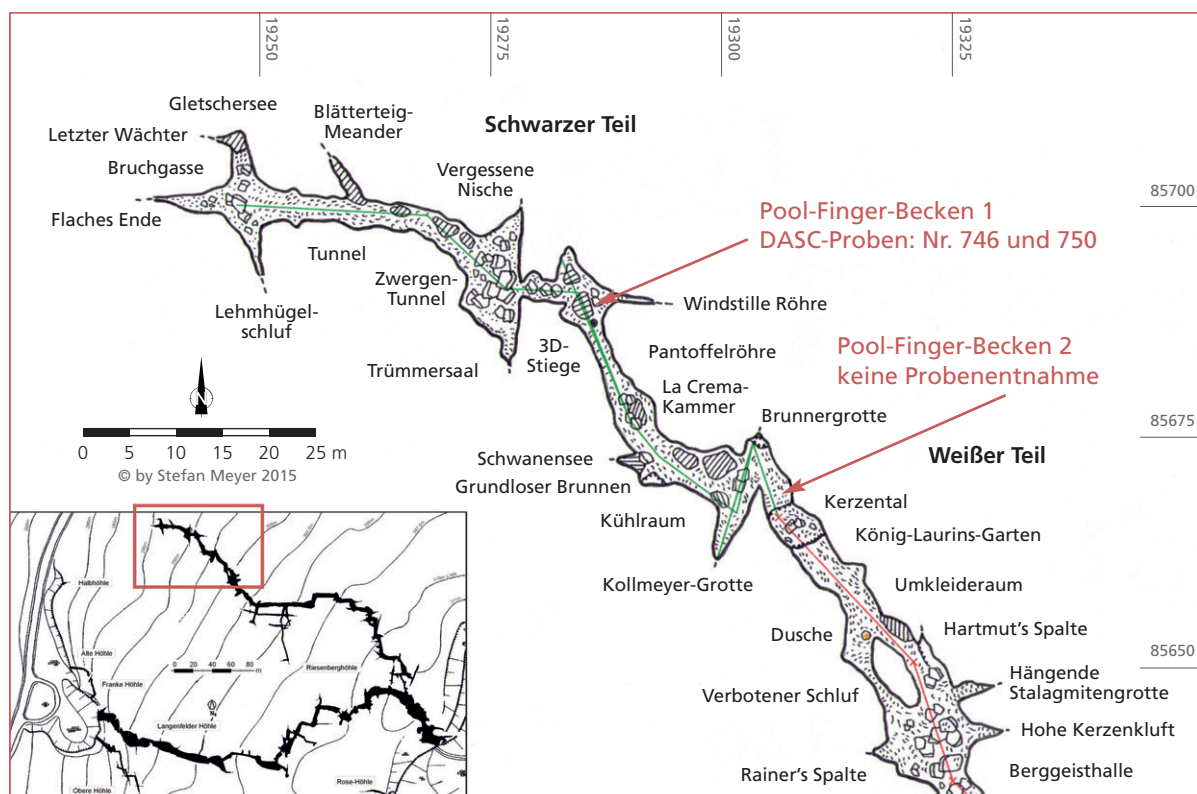


Abb. 2: Detailplan vom Nordteil des Riesenberg-Höhlensystems u. a. mit den *Pool-Finger*-Vorkommen im *Weißer Teil*. Links unten: Übersichtsplan des Riesenberg-Höhlensystems im Süntel, Niedersachsen (D) mit den beschriebenen *Pool-Finger*-Vorkommen. Fig. 2: Detailed map of the northern part of the Riesenberg cave system, with the pool finger-deposits in the *Weißer Teil*. Bottom left: overview map of the Riesenberg cave system in Süntel, Lower Saxony, Germany, with the described pool finger-deposits. Plan: Stefan von Boguslawski & Stefan Meyer, 2008; siehe auch Meyer & Dorsten, 2009: 89

POOL-FINGER-VORKOMMEN 1

Die Entdeckung bzw. die Bestimmung der ersten *Pool-Fingers* in Deutschland erfolgte nicht, wie allgemein üblich, in der betreffenden Höhle selbst, sondern bei den Bildstudien zu einer allgemeinen Veröffentlichung durch den Redakteur Lukas Plan (Meyer & Dorsten, 2009). Das Sinterbecken mit den spaghetti-artigen „Stalaktiten“ unter dem Beckenrand war schon kurz nach der Höhlenentdeckung 1969 bekannt und ein beliebtes Fotomotiv (Abb. 3). Auffällig in diesem Becken sind aber nicht nur die *Pool-Fingers*, sondern insbesondere die kugelförmigen Höhlenkorallen (*cave corals*) in der Beckenmitte. Sie entstehen nach heutigem Wissenstand durch Verdunstung (Hill & Forti, 1997). Einige der über 20 cm großen Höhlenkorallen der Riesenberghöhle zeigen neben der grobkristallinen Struktur (*dogtooth crystals*) auch faserige Äste (Abb. 4). Neben der Größe ist auch die sehr gleichmäßige Kugelform auffallend, die selten in Höhlen anzutreffen ist (vgl. Splide et. al., 2005; Cabrol & Mangin, 2000; Hill & Forti, 1997). Den Autoren sind ähnliche Vorkommen aus Aragonit in einem ehemals wassergefüllten Gangabschnitt der Grotte di Toirano bei Genua, Norditalien, und aus der Grotte de Clamouse in Frankreich bekannt. Aufgrund ihrer filigranen Strukturen handelt es

sich hier vermutlich um recht junge Sinterformationen. Zwei Proben von den Korallenspitzen (Deutsches Archiv für Sinterchronologie, DASC-Nr. 753 und 756) wurden an der Universität Mainz mit der Thorium-Uran-Methode auf ca. 1000 Jahre datiert. Eine präzise Datierung der Höhlenkorallen war nicht möglich, da die Proben wenig Uran und gleichzeitig viel detritisches ^{232}Th enthielten. Aus der entsprechenden Korrektur resultieren zusätzliche Unsicherheiten. Die Ergebnisse der Thorium-Uran-Datierungen werden in Tabelle 1 gezeigt. Alle Alter beziehen sich auf das Jahr 2013, in dem die Datierungen durchgeführt wurden. Dass die Riesenberg-Korallen aus Kalzit bestehen (faserige und körnige Variante), konnte von Tobias Häger und Simon Mischel mittels Raman-Spektroskopie an der Universität Mainz bestätigt werden. Höhlenkorallen zählen nicht zu den biogenen Sintern, doch können die hier dokumentierten Altersangaben vermutlich auch für die im selben Sinterbecken befindlichen *Pool-Fingers* angenommen werden (Abb. 5).

Im nördlichsten Teil der Riesenberghöhle (Abb. 6; Detailplan) auf 269,3 m NHN (Normalhöhennull, Boden-MP 5106) im sogenannten *Kindergarten* liegt das *Pool-Finger*-Vorkommen 1 (r: 3.519.285 / h: 5.785.690,



Abb. 3: Das *Pool-Finger*-Vorkommen 1 im Weißen Teil der Riesenberghöhle, Blickrichtung SE in die Pantoffelröhre.
Fig. 3: *Pool finger* deposit #1 in the Weißer Teil of Riesenberghöhle, looking south-east into the Pantoffelröhre.

Foto: Stefan Meyer

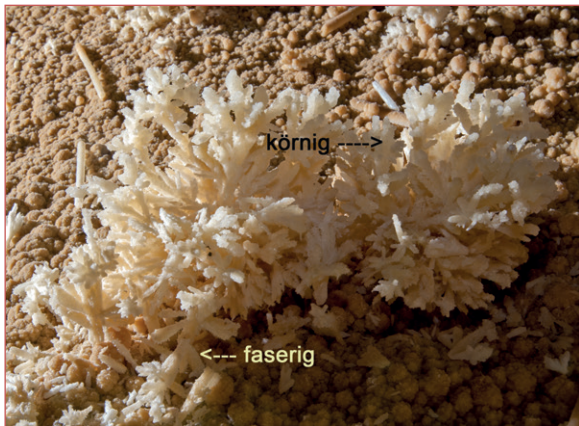


Abb. 4: Die Höhlenkorallen im Sinterbecken des *Pool-Finger*-Vorkommen 1. Erkennbar sind die unterschiedlich ausgeprägten faserigen und körnigen Äste. Beide Formen bestehen aus Kalzit.

Fig. 4: Cave corals in the pool of the pool finger deposit #1 showing fibrous and granular branches. Both forms consist of calcite.

Foto: Stefan Meyer



Abb. 5: Detailsicht der *Pool-Fingers* und Höhlenkorallen im Vorkommen Nr. 1. Maßstab Zentimereinteilung.

Fig. 5: Detailed view of the pool fingers and cave corals in deposit #1. The scale is given in cm.

Foto: Stefan Meyer

Probe	²³⁸ U [µg/g]	±	²³² Th [ng/g]	±	(²³⁴ U/ ²³⁸ U)	±	(²³⁰ Th/ ²³⁸ U)	±	Alter uncorr. [Jahre]	±	Alter korr. [Jahre]	±
DASC 753	0,1295	0,0008	3,32	0,03	1,2372	0,0036	0,0138	0,0035	1821	80	1220	320
DASC 756	0,1120	0,0007	10,10	0,10	1,2594	0,0041	0,0110	0,0120	3050	120	970	940

Tabelle 1: Ergebnisse der Thorium-Uran-Datierungen von Höhlenkorallen aus der Riesenberghöhle.

Table 1: Results of ²³⁰Th/U-dating of the cave corals from Riesenberghöhle.

Gauß-Krüger-Koordinaten). Hierbei handelt es sich um den am stärksten versinterterten Höhlenbereich des Riesenberg-Höhleysystems. Boden und Wände sind reich und vielfältig versinterter. Aufgrund des umsichtigen Verhaltens der Entdecker Bodo Schillat und Rolf Stahl zeigt sich dieser Höhlenteil fast unversehrt. Das Wechseln der Kleidung und Schuhe war von Anfang an Pflicht. Waren in den Anfangsjahren noch Führungen vor allem für Entscheidungsträger aus Politik, Forst- und Steinbruchgewerbe zum Schutz des eigentlichen Riesenberg-Höhleysystems nötig, wird dieser Höhlenteil heute nur noch sehr selten befahren.

Das Sinterbecken mit den *Pool-Fingers* hat eine Länge von 3,14 m, eine maximale Breite von 1,70 m und einen mehr als 20 cm überhängenden, baumpilzartigen Sinterrand (*shelfstone*) (Abb. 7). Der Grund des 32 cm tiefen Beckens ist gleichmäßig mit halbkugeligen Aggregaten von *Pool-Spar* bedeckt, auf welchem sich die Höhlenkorallen befinden (Abb. 8, Aufriss oben). Trotz des starken Tropfenfalls ist das Becken auch im Frühjahr zur Schneeschmelze nicht mit Wasser gefüllt. Von der sonst dynamischen Bewetterung des Höhlensystems ist hier nichts zu spüren, stellt doch dieser Höhlenteil zusammen mit dem anschließenden *Schwarzen Teil* einen „Sack“ ohne bewetterte Klüfte dar (Boguslawski & Meyer, 2013).

Die über 10 cm langen *Pool-Fingers* befinden sich mit einer Ausnahme nur auf der Ostseite, unter einem weit in das Becken hineinreichenden Beckenrandsinter (Abb. 9). Sie hängen hier dicht gedrängt und erinnern aufgrund ihrer körnigen Oberfläche nur entfernt an kleine Stalaktiten (Abb. 10). Zwischen diesen befinden sich kleine schlaufenartige Verbindungen, die sogenannten U-Schleifen oder *U-Loops* (Abb. 11). Ihre Entstehung ist auf Bakterienfilamente zurückzuführen, die durch Wasserbewegungen zwischen den schon teilweise kalzitisierten *Pool-Fingers* hängengeblieben sind. Sie sind ein sicheres Bestimmungsmerkmal für *Pool-Fingers* bzw. ehemalige Bakterienbesiedlung. Innerhalb des Beckens gibt es auf der Nordseite einen kleinen Versatz, an dessen Rändern sich kleinste *Pool-Fingers* und *Drips* gebildet haben. In ihrer gesamten Morphologie gleichen die *Pool-Fingers* der Riesenberghöhle den von Rainer Straub 2013 entdeckten *Pool-Fingers* in der *Apokalypse* der Blauhöhle.

Das Hauptsinterbecken ist von einigen sehr kleinen Sinterbecken umgeben, die auf der Westseite an die Höhlenwand reichen. In einzelnen dieser Kleinstbecken (20 x 10 cm Durchmesser) finden sich kristalline weißliche *Pool-Fingers* mit einem anderen Erscheinungsbild. Neben der helleren Färbung sind sie kaum länger als 20 mm und mit 5–7 mm Dicke ähnlich stark

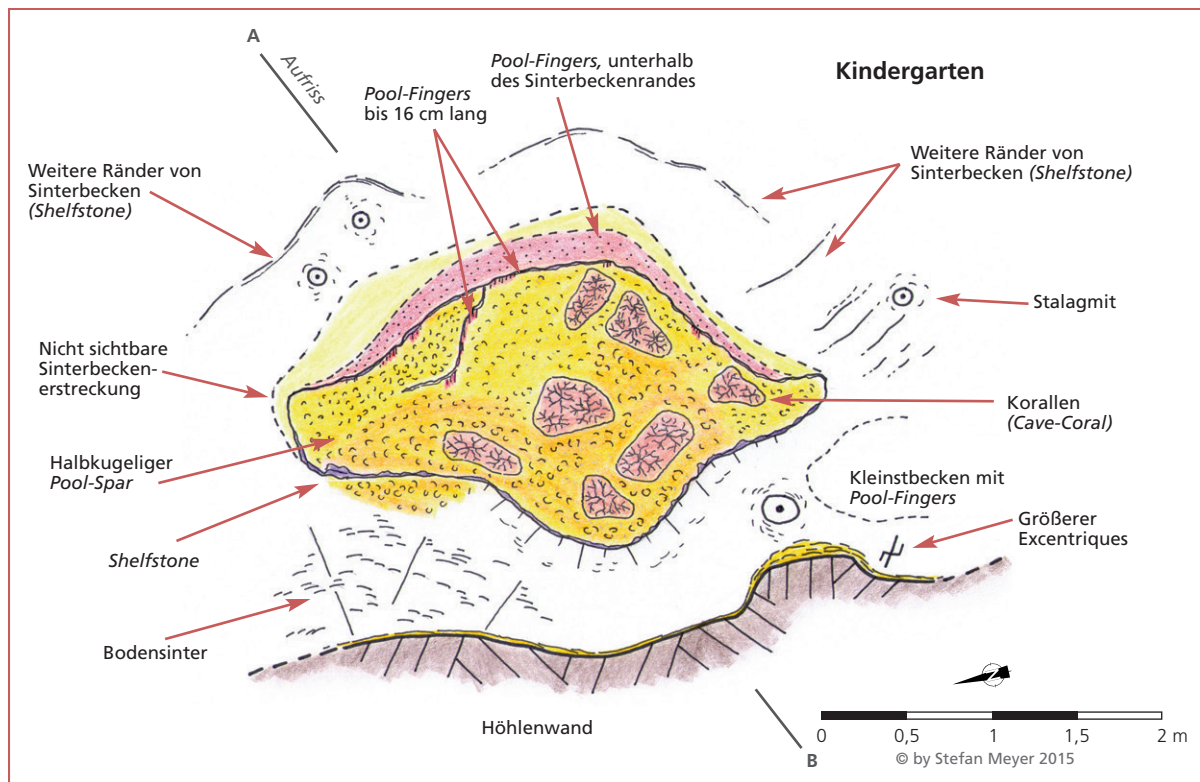


Abb. 6: Grundriss des Pool-Finger-Vorkommens 1.
Fig. 6: Plan view of pool finger deposit #1.



Abb. 7: Blick unter den Sinterbeckenrand auf die Pool-Fingers des Vorkommens Nr. 1. Der Boden wird von Pool-Spar und Höhlenkorallen (rechts im Bild) bedeckt.
Fig. 7: View beneath the shelfstone to the pool fingers of deposit #1. The bottom is covered by pool spar and cave corals (right).
Foto: Stefan Meyer

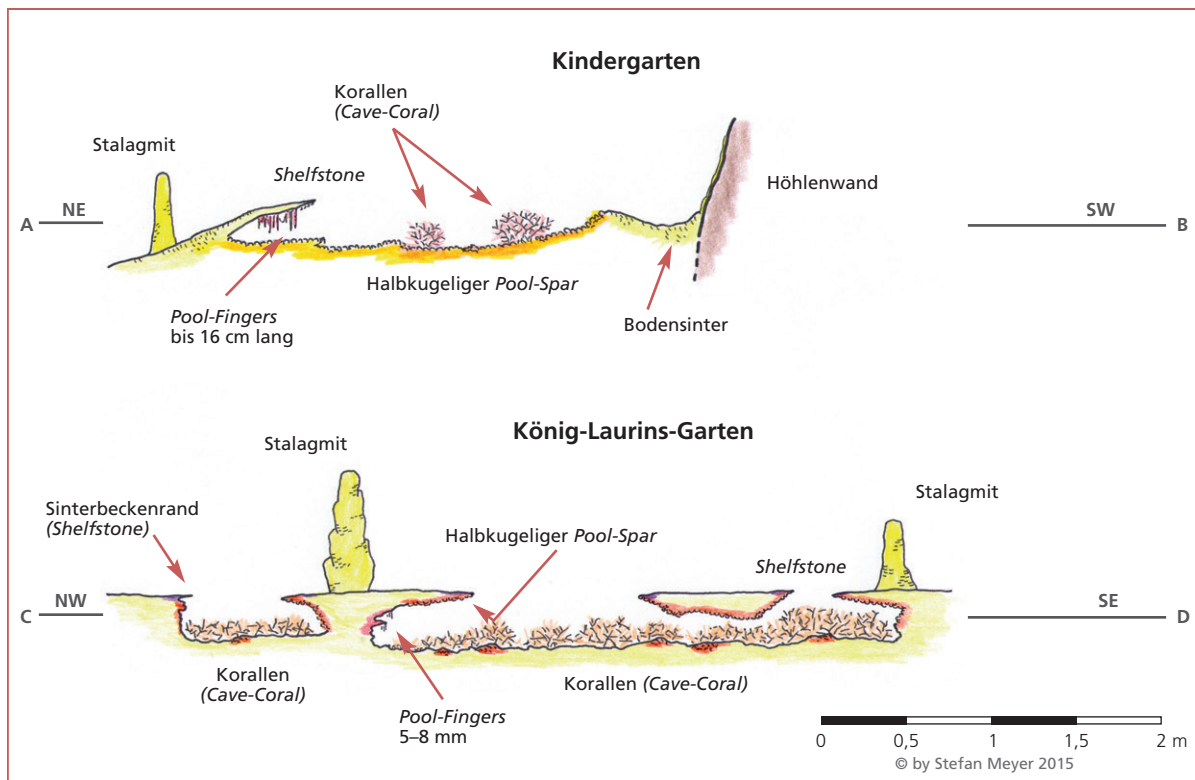


Abb. 8: Aufrisse der Pool-Finger-Becken (Vorkommen Nr. 1 und 2) im Weißen Teil der Riesenberghöhle.
 Fig. 8: Profile of the pool finger pools (deposits #1 and 2) in the Weißer Teil of Riesenberghöhle.



Abb. 9: Teilansicht des Pool-Finger-Vorkommens Nr. 1.
 Fig. 9: Partial view of pool finger deposit #1.

Foto: Stefan Meyer

wie jene im Hauptbecken (Abb. 12). Auch die einzelnen Kristalle sind hell-durchscheinend. An einigen Exemplaren finden sich auch *Drips* (Abb. 13). Warum sich diese *Pool-Fingers* anders entwickelten als die im Hauptbecken, kann bisher nicht gesagt werden. Ein wichtiger Unterschied zum immer trockenen Hauptbecken ist das hier vorhandene Wasser in den Wintermonaten bzw. zur Schneeschmelze, welches vermutlich eine längere Kristallbildung ermöglicht.

Einige Sinterproben aus dem großen Sinterbecken, die im Deutschen Archiv für Sinterchronologie (DASC) archiviert wurden, sind in den USA an der Western Illinois University mit Dünnschliffen und unter dem Rasterelektronenmikroskop (REM) untersucht worden. Dabei handelte es sich um die Proben DASC-Nr. 746 (*Pool-Finger* mit *U-Loop*) und DASC-Nr. 750 (Beckenrandsinter / *shelfstone*).

Alle *Pool-Finger*-Proben haben eine ähnliche Petrographie. Sie bestehen aus unzähligen gleichförmigen (skalenoedrischen) Kristallen von 0,5 mm Länge und 0,1 bis 0,2 mm Breite. Diese sogenannten „Hundezahn-Kristalle“ (*dogtooth crystals*) haben sich strahlenförmig von der Mitte des *Pool-Fingers* auf deren gesamter Länge gleichmäßig gebildet. Dieser Befund unterstützt die Theorie der „Keimbildung“ um einen im Wasser hängenden Biofilm. Ein solcher „Initial-



Abb. 10: Halbkugeliger Pool-Spar bedeckt den unebenen Grund des trockenen Pool-Finger-Beckens Nr. 1. Selbst am Pool-Spar (rechts im Bild) finden sich kleinste Pool-Fingers und Drips, Maßstab 10 cm.

Fig. 10: Hemispheric pool spar covers the uneven bottom of the dry pool finger basin #1. Small pool fingers and drips are also present on pool spar (on the right). Scale 10 cm.

Foto: Stefan Meyer

Biofilm“ wurde aber bisher noch nie in einem der untersuchten *Pool-Fingers* entdeckt. In den von den Proben angefertigten Dünnschliffen wurde eine Vielzahl von $<30\ \mu\text{m}$ großen Einschlüssen im Kalzit entdeckt, die mittels REM untersucht wurden (Abb. 14, 15). Dabei fanden sich zwischen den Kristallen, aber auch innerhalb der Kristalle, mit Tonpartikeln verunreinigte Biofilme. Teilweise sind netzartige Fäden (Abb. 15) zu erkennen, die den fossilen Filamenten aus *Pool-Fingers*-Proben der Carlsbad Caverns, der Lechuguilla Cave (beide New Mexiko, USA) und dem Herbstlabyrinth-Adventhöhle-System (D) ähneln.

Zuerst wurde davon ausgegangen, dass nur *Pool-Fingers* Bakterien-Fossilien enthalten würden. Dies stellte sich aber als falsch heraus. Sie wurden auch in anderen Becken-Speläothemen entdeckt, wie z.B. im *Pool-Spar* und im Beckenrandsinter. Auch in der Beckenrandsinter-Probe aus der Riesenberghöhle wurden sie nachgewiesen (Abb. 16). Diese Probe besteht aus Hundezahn-Kristallen, allerdings in einer anderen Anordnung. Die flache Oberseite besteht aus weniger gut ausgebildeten Kristallen. Der untere Teil der Beckenrandsinter-Probe setzt sich aus größeren Kristallen mit gut entwickelten Formen zusammen.

Auch der Wachstumsbereich, welcher unter der ursprünglichen Wasserlinie lag, lässt keine Beeinflussungen von benachbarten Kristallen erkennen. Die Kristallisation begann an der Wasseroberfläche, entweder von einer Kante aus oder als Kalzit-Insel (Sinterhäutchen). Diese wuchsen zu einer festen Schicht zusammen, und das Kristallwachstum erfolgte weiter nach unten in das Sinterbecken hinein. Nach dem Anätzen der Probenoberflächen mit verdünnter Salzsäure (HCl) wurden einerseits Tonpartikeln, andererseits diverse organische Strukturen, meist Biofilme, unter dem REM gefunden und deren chemische Zusammensetzung mittels energiedispersiver Röntgenanalyse untersucht (Abb. 14, 15). Bei höherer Vergrößerung fanden sich neben netzartigen Filamenten auch ungewöhnliche Formen mit gerippten Seiten. Während beide Formen zwar in unterschiedlicher Verteilung auch in den *Pool-Finger*-Proben nachgewiesen werden konnten, fand sich nur in der Beckenrandsinter-Probe eine seltene kugelförmige „Zelle“ (Abb. 16). Diese kugeligen, als „Kokken“ bezeichneten Bakterienformen fanden sich auch in Eisen- und Mangan-Ablagerungen der Lechuguilla und der Spider Cave (Guadalupe Mountains, USA) sowie vereinzelt in



Abb. 11: Detailsicht aus Abb. 10. Ein eindeutiges Merkmal für den biogenen Ursprung: U-Loops. Vorkommen Nr. 1 im Kindergarten des Weißen Teils der Riesenberghöhle.
 Fig. 11: Detailed view of Fig. 10. U-loops are a clear indication of a biogenic origin. Deposit #1, in the Kindergarten of the Weißer Teil of Riesenberghöhle. Foto: Stefan Meyer

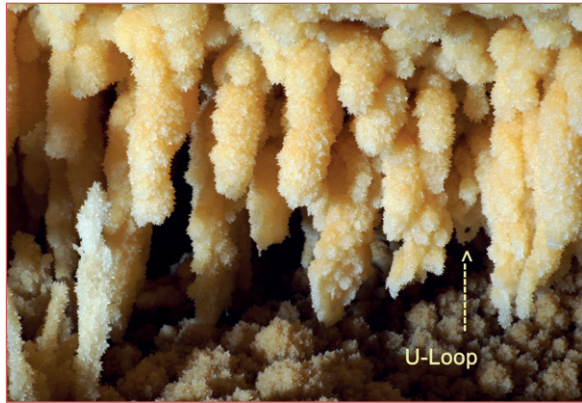


Abb. 12: Makroaufnahme der bis zu 20 mm langen Pool-Fingers mit U-Loops und Drips im Kleinstsinterbecken unweit vom Pool-Finger-Becken 1.
 Fig. 12: Close-up of the up to 20 mm long pool fingers with U-loops and drips in the tiny pool near pool finger deposit #1. Foto: Stefan Meyer

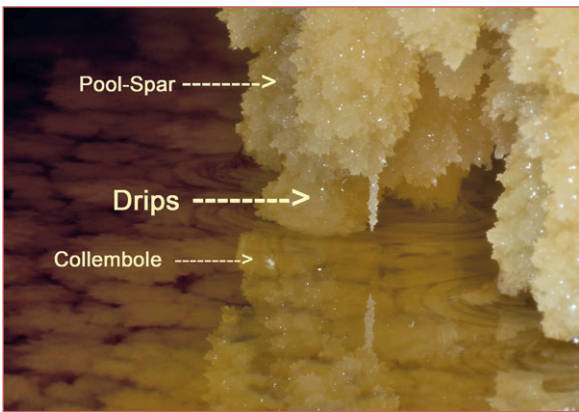


Abb. 13: Makroaufnahme eines Pool-Fingers mit einem 5 mm langen Drip im Kleinstsinterbecken unweit vom Pool-Finger-Becken 1.
 Fig. 13: Close-up of a pool finger with a 5 mm-long drip in the tiny pool near pool finger deposit #1. Foto: Stefan Meyer

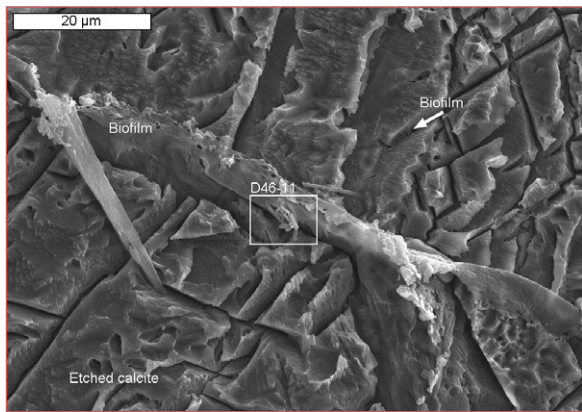


Abb. 14: REM-Aufnahme der Pool-Finger-Probe 746 mit Biofilmen. Die Probe wurde mit verdünnter Salzsäure angeätzt.
 Fig. 14: Scanning electron micrograph of pool finger sample #746 with biofilms. The sample was etched with dilute hydrochloric acid. Foto: Leslie Melim

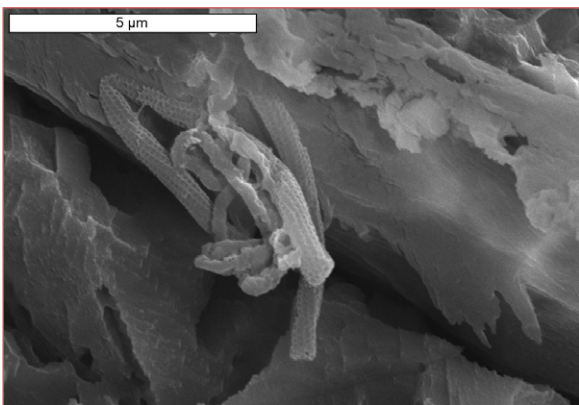


Abb. 15: Diese Vergrößerung aus Abb. 14 zeigt typische Bakterienfilamente mit netzartigen Strukturen, die u. a. auch aus den Carlsbad Caverns (USA) und dem Herbstlabyrinth (D) bekannt sind.
 Fig. 15: Enlarged view of Fig. 14 showing typical bacterial filaments with net-like structures, which are also known from Carlsbad Caverns (USA) and Herbstlabyrinth (D). Foto: Leslie Melim

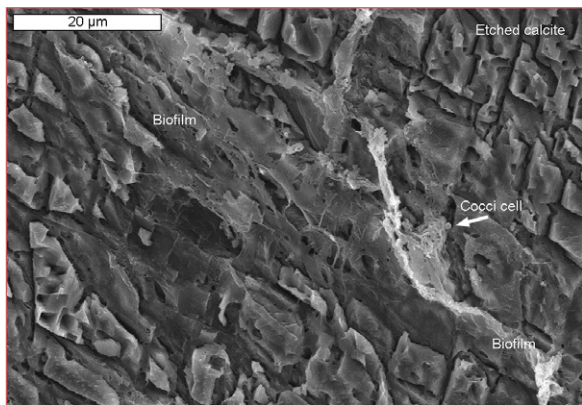


Abb. 16: REM-Aufnahme der Beckenrandsinter-Probe 750 mit einer sehr seltenen kugeligen Zelle in einem Biofilm.
 Fig. 16: Scanning electron micrograph of shelfstone sample #750 with a very rare spherical cell in a biofilm. Foto: Leslie Melim



Abb. 17: Die lehmigen lebenden *Pool-Fingers* im *Herbstlabyrinth* können als Initial-Biofilm bzw. Vorstufe kristalliner *Pool-Fingers* gedeutet werden.

Fig. 17: The loamy, living pool fingers in *Herbstlabyrinth* can be interpreted as the initial biofilm or the precursor of crystalline pool fingers. Foto: Stefan Meyer

Lavahöhlen (Spilde et. al., 2005). In lebenden Systemen sind diese Kokken-Formen nicht selten, durchaus aber ihre fossilen Überbleibsel in Gesteinen.

Im *Kühlraum*, einem flachen Gangabschnitt zwischen den *Pool-Finger*-Vorkommen 1 und 2, konnte ein *U-Loop* zwischen zwei Kalzitkristallen im *Shelfstone* eines Sinterbeckens dokumentiert werden. Auch dieser kann als versintertes Bakterienfilament gedeutet werden. Das Vorhandensein von fossilen Bakterien in weiteren *Pool*-Sintern bedeutet nicht, dass auch diese durch Bakterien gebildet oder beeinflusst wurden. Es zeigt vielmehr, dass diese Sinterbecken früher voller Mikroorganismen waren und letztere wahrscheinlich

durch das Wachsen der Kalzitkristalle verdrängt wurden. Es zeigt aber auch, dass die bloße Anwesenheit von Fossilien in *Pool-Fingers* kein Beweis für deren biogenen Ursprung ist. Im Fall der Riesenberghöhle bietet das Wachstumsbild der *Pool-Fingers* – einheitliche Größe und gleichmäßige Verteilung der Kristalle über die gesamte Länge des *Pool-Fingers* – einen Anhaltspunkt für den Biofilm-Kern. Dieser initiale Biofilm wurde in fossilen *Pool-Fingers* bisher noch nicht gefunden. Beobachtungen an den in den letzten Jahren dokumentierten *Pool-Finger*-Formen im *Herbstlabyrinth*-*Adventhöhle*-System bestätigen jedoch diese Vermutungen (Abb. 17; Meyer, 2014).

POOL-FINGER-VORKOMMEN 2

Auch das zweite Vorkommen liegt im *Weißten Teil*, gut 35 m südöstlich des ersten Vorkommens auf 268,8 m NHN (Boden-MP 5101/BT52, h. 5758660 / r. 3519310; Abb. 2 und 18). Der nur 1 m hohe Gang wurde aufgrund der üppigen, schönen Versinterungen und unzähliger Makkaronis von den Entdeckern *König-Laurins-Garten* benannt. Sein völlig ebener Boden wird zum größten Teil aus Sinterbeckenrändern gebildet, die bis auf wenige Unterbrechungen zusammengewachsen sind. Hierauf haben sich wiederum einige massive Stalagmiten gebildet (Abb. 8, Aufriss unten).

Dieser Bereich ist nur mit äußerster Vorsicht zu passieren, da immer wieder die Gefahr besteht, in die kaum mehr zu erkennenden Sinterbecken einzubrechen. Der Grund dieser zugewachsenen, über 30 cm tief einsehbaren Becken besteht aus seltsam zerbrochenen Höhlenkorallen (Abb. 19). Sie sind nach ihrer Struktur nicht mit den Höhlenkorallen im *Kindergarten* vergleichbar. Die einzelnen Äste sind von einer eigenartigen Sinterschicht überzogen, die der biogenen *Pool-Meringue* ähnelt. Vermutlich wurden die Höhlenkorallen von Bakterienfilamenten überwach-

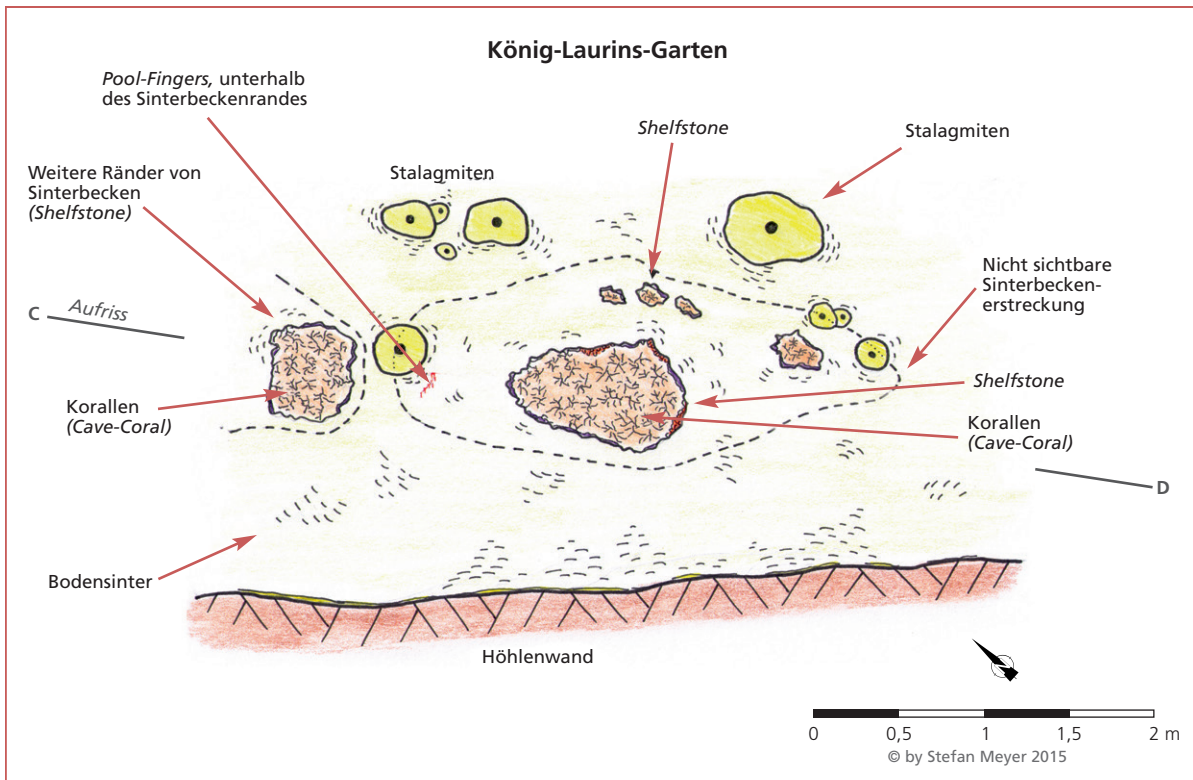


Abb. 18: Grundriss des zweiten Pool-Finger-Vorkommens im Weißen Teil (König-Laurins-Garten) der Riesenberghöhle.
 Fig. 18: Plan view of pool finger deposit #2 in the Weißer Teil (König-Laurins-Garten) of Riesenberghöhle.

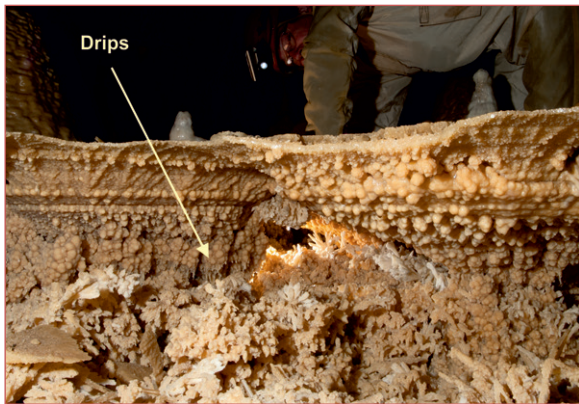


Abb. 19: Das Sinterbecken mit dem zweiten Pool-Finger-Vorkommen in König-Laurins-Garten. Mit Pool-Spar unter den Sinterbeckenrändern und mit Pool-Meringue „überwachsene“ Höhlenkorallen.
 Fig. 19: Pool with pool finger deposit #2 in the König-Laurins-Garten. With pool spar under the shelfstone and with pool meringue „overgrown“ cave corals covered by pool spar.
 Foto: Stefan Meyer

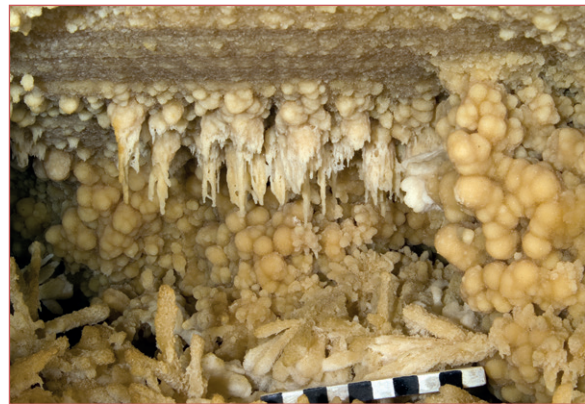


Abb. 20: Mit einem Tele-Makro-Objektiv fotografierte, gut 6 mm lange Pool-Fingers und U-Loops unter einem 50 cm überhängenden Sinterbeckenrand im König-Laurins-Garten.
 Fig. 20: About 6 mm-long pool fingers and U-loops under a 50 cm overhanging shelfstone in König-Laurins-Garten. The picture was taken using a telephoto macro lens.
 Foto: Stefan Meyer

sen bzw. verfangen sich diese im Geäst der Korallen. Irgendwann wurde die Biomasse mit ihren Kalkausscheidungen so stark, dass die Höhlenkorallen dem Gewicht nicht mehr standhielten und zusammenbrachen – gefördert durch unterschiedliche Wasserstände bzw. das Trockenfallen des Sinterbeckens. Dass es sich hier wirklich um biogenen Sinter handelt, zei-

gen die vereinzelt *Drips* an den gebrochenen Höhlenkorallen (Abb. 19). Heute zeigen sich die Becken im *König-Laurins-Garten* meist ohne Wasser. Nur bei extremen Niederschlägen findet sich ein niedriger Wasserstand von wenigen Zentimetern. Im Zuge der intensiven *Pool-Finger*-Suche im Riesenberg-Höhleensystem wurden

auch diese Becken untersucht. Nur durch Zufall fanden sich in einem der Becken kleine *Pool-Fingers* unter einem 50 cm tiefen Sinterbeckenrand (Abb. 20). Diese sind nicht länger als 6 mm, zeigen aber typische *U-Loops*.

Im Gegensatz zu den Bakterienfilamenten im Vorkommen 1, die sich unter dem Sinterrand zu *Pool-Fingers* bildeten, finden sich in den Becken im *König-Laurins-Garten* nur sehr kleine Formen. Trotz der vorhandenen Sinterränder haben sich hier die Bakterienfilamente nicht zu klassischen Formen weiterentwickelt, sondern nutzten als „Substrat“ die Höhlenkorallen mit den oben beschriebenen Folgen. Einer der Gründe kann sein, dass bei der Bildung der *Pool-Fingers* im Vorkommen 1 noch keine Höhlenkorallen vorhanden

waren. Immerhin erscheinen die Korallen mit ihren vielen Verzweigungen und der rauen Oberfläche geradezu dafür geschaffen zu sein, dass sich Bakterienfilamente in ihnen festsetzen. Auch sind die Böden der Becken im *König-Laurins-Garten* vollständig mit den Höhlenkorallen „bewachsen“, welche ein freies, ungehindertes Längenwachstum der *Pool-Fingers* behindert hätte.

Im Vorkommen 1 geschah dies nicht. Vermutlich sind die wenige tausend Jahre alten Höhlenkorallen hier erst nach der Besiedelung des Beckens mit Bakterien und der eigentlichen *Pool-Fingers*-Bildung entstanden. Trotz der vielen Variablen geben die *Pool-Finger*-Vorkommen erste Einblicke in die Genese der Sinterbecken im Riesenberg.

DISKUSSION – DAS HÖHLEN-MIKROBIOM

Lebende *Pool-Fingers* in der Riesenberghöhle?

Trotz intensiver Suche nach sichtbaren lebenden Bakterienfilamenten, wie sie im Herbstlabyrinth-Adventhöhle-System und der Blauhöhle nachgewiesen wurden, konnten diese in den Sinterbecken mit den bekannten *Pool-Finger*-Vorkommen in der Riesenberghöhle nicht festgestellt werden. Dies hängt unter anderem vermutlich mit der geringen Wasserführung der Becken zusammen. Nur in den Wintermonaten bzw. im Frühjahr zur Schneeschmelze sind einige Becken mit Wasser gefüllt. Bedingt durch die geringen Schneehöhen der letzten Jahre füllten sich die Becken nicht bis zum Überlaufen. Die langen Trockenzeiten verhindern so die Ansammlung, Vermehrung und Verklumpung von Bakterien. Trotzdem finden sich kleinste versinterter Filamente im Beckenrandsinter. Sie lassen vermuten, dass es sich hier um sehr junge Versinterungen handelt (wenige Jahrzehnte?), da ältere Filamente durch das weitere Wachstum der Kristalle des Beckenrandsinters im Kalzit eingebunden werden und so mit dem bloßen Auge nicht mehr erkennbar sind. Dies beweisen auch die Untersuchungen der DASC-Probe Nr. 750 (Sinterbeckenrandstück), in der viele fossile Bakterienfilamente nachgewiesen werden konnten (siehe oben).

Der *Weißer Teil* war durch die starken Versinterungen mehr oder weniger von der Außenwelt abgeschnitten – ein entsprechender Nährstoffeintrag über das Tropfwasser selbst für Mikroorganismen somit sehr gering. Das Mikrobiom, die Gesamtheit aller Mikroorganismen, in der Riesenberghöhle war somit einem besonderen Konkurrenzkampf um Nährstoffe unterworfen. Eine stärkere Bewetterung (anthropogen verursacht) und somit auch ein neuer Nährstoffeintrag erfolgten

vermutlich erst durch die Öffnung des Höhlensystems im Zuge des Gesteinsabbaus. Noch heute handelt es sich bei dem *Weißer Teil* um den Bereich mit der kontinuierlich höchsten Luftfeuchte im System. Veränderungen werden aber immer deutlicher. Aus den Eingangsbereichen des Systems sind schon „Pilzüberszüge“ dokumentiert und erste „Staub(?)“-Vermikulationen auf Stalagmiten beschrieben worden (Petersen et. al., 2005; Boguslawski & Meyer, 2013). Vermikulationen sind hieroglyphenartige Ablagerungen von Tonpartikeln an Höhlenwänden. Eine Besiedlung mit Mikroorganismen ist häufig. Im *Weißer Teil* konnten Auswertungen von Makroaufnahmen einen flächigen Partikeleintrag auf den Kalzitkristallflächen belegen. Auf den hellen Sinterflächen fallen die Kotreste der wenigen im Höhlensystem überwinterten Fledermäuse deutlich auf, die nicht nur für Bakterien eine Nahrungsgrundlage darstellen.

Weitere Forschungen

Sinterbecken in Höhlen enthalten nicht nur interessante Ablagerungen, sie waren und sind auch ein ungewöhnlicher Lebensraum. Höhlenflohkrebe, Käfer und Springschwänze sind hier die Riesen unter den Lebewesen. Mit einer durchschnittlichen Größe von nur 0,6–1,0 µm sind die Bakterien für das menschliche Auge nicht sichtbar. Die Bestimmung der Arten ist sehr aufwändig. Aufgrund von geringen morphologischen Merkmalen und der Tatsache, dass viele dieser Mikroorganismen nicht im Labor nachgezüchtet werden können, war eine Artbestimmung in der Vergangenheit fast unmöglich. Erst mit DNA-Untersuchungen (ribosomale DNA) wurden hier in den letzten Jahren große Fortschritte erzielt. Es können so Übersichten

der mikrobiellen Lebensgemeinschaften erstellt werden, welche die Bakterien-Abteilungen eines Lebensraumes wiedergeben (z.B. Sattler et al., 2013).

Mittels REM können Mikroorganismen als fossile Fragmente in Speläothemen nachgewiesen werden. Eine taxonomische Bestimmung dieser Organismenreste ist jedoch ohne DNA-Untersuchungen nicht möglich. Doch wie sind die Bakterien eigentlich in die Speläotheme gekommen? Sind sie eher aktiv oder passiv an der Entstehung von Speläothemen beteiligt? Hierbei ist die von White (1994) gestellte Frage aktueller denn je: „*Are the minerals there because of the microorganisms or are the microorganisms there because of the minerals?*“ („Sind die Minerale aufgrund der Mikroorganismen da oder die Mikroorganismen aufgrund der Minerale?“). Wie viele Bakterienformen und in welchen Arten besiedeln diese die heutigen Sinterbecken? Gibt es Unterschiede zu denen an der Oberfläche oder gar endemische Arten? Unterscheiden sich die damaligen Lebensgemeinschaften von den heutigen – und ist das überhaupt feststellbar? Findet die *Pool-Finger*-Bildung auch noch rezent statt? Und inwieweit sind Mikroorganismen daran wirklich beteiligt? Wird von diesen Kalzit aktiv ausgeschieden oder handelt es sich eher um einen abiogenen Prozess, d.h. die Mikroorganismen haben darauf keinen Einfluss? Fragen, die meist nur sehr individuell für eine Höhle oder sogar nur für ein einzelnes Sinterbecken geklärt werden können. Weitere Untersuchungen in der Riesenberghöhle und an weiteren *Pool-Finger*-Vorkommen sind vorgesehen. Hier sind wir aber auf die Mitarbeit weiterer interessierter Mikrobiologen angewiesen.

Mit der Entdeckung der lebenden und der juvenilen *Pool-Fingers* im Herbstlabyrinth-Adventhöhle-System können zum ersten Mal die Entstehungsbedingungen und die Biologie dieser Speläotheme in Sinterbecken erforscht werden. Da in allen weltweit untersuchten fossilen *Pool-Fingers*, einschließlich derer in der Riesenberghöhle, der Initial-Biofilm (Bakterienfilament) nie direkt nachgewiesen werden konnte, kommt den mittlerweile sechs Formen von *Pool-Fingers* im Herbstlabyrinth-Adventhöhle-System eine besondere Bedeutung zu (Meyer, 2013a-b, 2014).

DANK

Auch wenn sich nicht jeder Hinweis als neues *Pool-Finger*-Vorkommen bzw. als biogener Sinter erwies, möchten wir uns an dieser Stelle für die vielen Meldungen bedanken: Helmut Olwig (Barsinghausen), Ingo Dorsten (Breitscheid), Friedhart Knolle und Siegfried Wielert (Goslar), Ernst Schuhose (Bad Ganders-

Pool-Fingers und Astrobiologie

Mit dem Zeitungsbericht „Die NASA blickt auf Breitscheid“ gelangten die Forschungen an den sonst eher unscheinbaren *Pool-Finger*-Formen des Herbstlabyrinth-Adventhöhle-Systems erstmals an die Öffentlichkeit (Eckel, 2012). Aber so ungewöhnlich es klingt, die Suche nach außerirdischem Leben jenseits unseres Planeten ist im vollen Gange. Doch wie könnte dieses aussehen, und/oder welche Spuren hat es hinterlassen? Hier kommt den „primitiven“ Bakterien eine Schlüsselrolle zu. Handelt es sich doch um sehr wandelfähige Mikroorganismen, die auch scheinbar lebensfeindliche Lebensräume sowie ökologische Nischen besiedeln und ihr Umfeld verändern (Boston et al. 2001; Fairèn et al. 2005; Northup & Boston 2010).

Sie sind Überlebenskünstler und haben auf unserem Planeten fast alle Bereiche erobert, vom Packeis bis hin zu unterseeischen Schlammvulkanen. Wenn überhaupt Leben außerhalb unseres Planeten gefunden werden kann, dann am wahrscheinlichsten in Gestalt bakterienähnlicher Organismen, deren Fossilien oder Ausscheidungen in Höhlen (siehe auch Päch, 2007; Marwan, 2008). Können wir fossile Mikroorganismen in außerirdischen Gesteinen überhaupt deuten? Die fossilen Nachweise von Mikroorganismen in biogenen Sintern können somit als Vergleichsmaterial für Gesteinsproben und Analysen von anderen Planeten dienen.

Vor allem der Mars steht im Fokus der Astrobiologen. Am NASA Goddard Space Flight Center in Greenbelt/Washington (USA) arbeiten im Team des Mars Science Laboratory Projekts auch Astrobiologen, die versuchen, Herkunft, Veränderung und die Konservierung organischer Moleküle in Gesteinen der Erde und des Mars zu verstehen.

Es gibt auch sehr umstrittene Hinweise auf Bakterienfossilien in Meteoriten. Der 1984 in der Antarktis entdeckte Mars-Meteorit *Allen Hills 84001* zeigte unter dem REM Strukturen, die von McKay et al. (1996) als versteinerte Bakterien gedeutet wurden. Der Meteorit fand seinerzeit viel Beachtung, aber ein endgültiger Beweis steht noch aus (McKay et al. 1996, Bogdanov & Bogdanov 2009).

heim), Uwe Fricke (Bad Harzburg), Rainer Straub (Stuttgart), Sven Bauer (Leipzig), Oliver Heil (Weilburg-Kubach), Martin Harder (Nürnberg), Salvatore Bologna und Jörg Fischer (Hildesheim), Ferdinand Leja (Röthenbach), Stephan Lang (Nürnberg), Henning Harzer (Leipzig), Lukas Plan (Wien). Für Hinweise zu

Pool-Finger-Vorkommen in der Schweiz danke ich Miryam Widmer, Luc Funcken, Richard Graf, Philipp Häuselmann und Rolf Siegenthaler sowie zu Funden in Frankreich Baudoin Lismonde und V. Schneider. Weiterhin danken wir Klaus Peter Jochum und Meinrat

O. Andrae vom Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz, für die Unterstützung bei der Altersbestimmung der Höhlenkorallen. Tobias Häger sind wir dankbar für die Durchführung der Raman-Spektroskopie.

LITERATUR

- Bogdanov, I. & Bogdanov, G. (2009): Wir sind nicht allein! Leben im Universum. – Stuttgart (Konrad Theis Verlag).
- Boguslawski v., S. & Meyer, S. (2013): Tätigkeitsbericht der Höhlengruppe Nord e.V. 2011. – Mitt. Arbeitsgem. Karstkunde Harz 2013 (3): 22–28.
- Bohnert, J., Müller, T., Ufrecht, W., Goldschneider, N., & Lauber, U. (2014): Expedition Hessenhau. Vorstoß in die Höhle ohne Ende. – Arbeitsgemeinschaft Blaukarst e. V., Berghülen.
- Boston, P. J., Spilde, M. N., Northup, D. E., Melim, L. A., Soroka, D. S., Kleina, L. G., Lavoie, K. H., Hose, L. D., Malory, L. M., Dahm, C. N., Grossey, L. J. & Schelble, R. T. (2001): Cave biosignature suites: microbes, minerals, and Mars. – *Astrobiologie* 1: 25–55.
- Cabrol, P. & Mangin, A. (2000): Fleurs de pierre – Les plus belles concrétions des grottes de France. Delachaux et Niestle. Lausanne / Paris.
- Cavalier-Smith, T. (1998): A revised six-kingdom system of life. – *Biol. Review* 73: 203–66.
- Dudich, E. (1932): Biologie der Aggteleker Tropfsteinhöhle „Baradla“ in Ungarn. – *Speläol. Monograph.*, Bd. 13. Wien.
- Eckel, T. (2012): Die NASA blickt auf Breitscheid. „Herbstlabyrinth“ Wissenschaftler untersuchen weltweit einmalige Bakterien-Ansammlungen. – *Herborner Tageblatt* 26.10.2012: 17.
- Fabisch, R. (1996): Höhlen im Süntel und Wesergebirge. – *Beih. Ber. Naturhist. Ges. Hannover* Heft 12, 78.
- Fairén, A.G., Dohm, J. M., Uceda, E. R., Rodriguez, A. P., Baker, V. R., Rernández-Remolar, D., Schulze-Makuch, D. & Amils, R. (2005): Prime candidate sites for astrobiological exploration through the hydrogeological history of Mars. – *Planetary and Space Sci.*, 53: 1355–1375.
- Gradzinski, M. (2003): Role of micro-organisms in cave pearls formation. – *J. Conference Abstr.* 4: 924.
- Hill, C. & Forti, P. (1997): *Cave Minerals of the World*. 2. Aufl. – Huntsville (Nat. Speleol. Society).
- Jain, S.K., Kahn, A.A. & Rai M.K. (2010): *Geomicrobiology*. – Enfield, New Hampshire (Science Publishers).
- Jones, D. S., Albrecht, H. L., Dawson, K. S., Schaperdoth, I., Freemann, K. J., Pi, J., Pearson, A. & Macalady, J. L. (2012): Community genomic analysis of an extremely acidophilic sulfur-oxidizing biofilm. – *The ISME Journal* 6: 158–170.
- Kaiser, C. (1978): Geologische Kartierung im Gebiet des Hohensteins (Süntel) unter besonderer Berücksichtigung der Oberjura-Stratigraphie. – Unveröff. Diplomarbeit, Westfälische Wilhelms-Universität Münster.
- Knolle, E., Westermann, A., Ohlendorf, B. & S. Meyer (2013): 7. Der Büchenberg und seine Bedeutung für GeoPark, Denkmal- und Naturschutz. – In: Schilling, W. (Hrsg.): *Grube Büchenberg Eiserner Schatz im Harz*. – Harzdruckerei Wernigerode: 246–257.
- Linné, C. v. (1758): *Systema Naturae*. 10. Aufl. – Stockholm (Lars Salvius).
- Macalady, J. L., Jones, D. S. & Lyon E. H. (2007): Extremely acidic, pendulous cave wall biofilms from the Frasassi cave system, Italy. – *Environmental Microbiol.* 9: 1402–1414.
- Magdeburg, P. (1933): Organogene Kalkkonkretionen in Höhlen. – *Sitzber. Naturf. Ges. Leipzig* 59: 14–26.
- Marwan, N. (2008): Zum Beitrag „Die von Höhlenforschern vorausgesagten Marshöhlen gefunden“ (Verbandsmitteilungen 2007 (3): 89). – *Mitt. Verb. dt. Höhlen- und Karstforscher*, 54(1): 30.
- Mckay, D. S., Gibson, E. K., Thomas-Keprata, K. L., Vali, H., Romanek, C. S., Clemett, S. J., Chillier, X. D. F., Maechling, C. R. & Zare, R. N. (1996): Search for Life on Mars: Possible relic biogenic activity in martian meteorite ALH 84001. – *Science*, 273: 924–930.
- Melim, L., Plan, L., Boguslawski von, S. & Meyer, S. (2011): Terminologie biogener Beckensinter in Höhlen. – *Mitt. Verb. dt. Höhlen- u. Karstforscher* 57(4): 110–114.
- Melim, L., Plan, L., Boguslawski von, S. & Meyer, S. (2013): Biogene Beckensinter in Höhlen – ein neues Forschungsfeld und seine Begriffe. – *Mitt. Arbeitsgem. Karstkunde Harz*, 2013(1-2): 3–8.
- Melim, L.A., Northup, D. E., Spilde, M., Jones, B., Bosten, R. J. & Bixby (2008): Reticulated filaments in cave pool speleothems: microbe or mineral? – *J. Cave Karst Studies*, 70: 135–141.
- Meyer, S. & Dorsten, I. (2009): Die Riesenberghöhle – Norddeutschlands größtes Höhlensystem in Jurakalken. – *Die Höhle*, 60: 88–93.
- Meyer, S. & Plan, L. (2010): Pool-Fingers – eine kaum bekannte Sinterform biogenen Ursprungs. – *Mitt. Verb. dt. Höhlen- u. Karstforscher*, 56(4): 104–108.
- Meyer, S. (2009): Die Morphologie der Riesenberghöhle (Kat.-Nr. 3721/001), Teil 3 (Fortsetzung aus ArGeKH-Mitt. 1+2/2007). – *Mitt. Arbeitsgem. Karstkunde Harz* 2009(1-2): 3–24.
- Meyer, S. (2013a): Neue Pool-Finger-Funde im Herbstlabyrinth-Adventhöhle-System bei Breitscheid / Hessen. – *Mitt. Arbeitsgem. Karstkunde Harz*, 2013(4): 21–29.
- Meyer, S. (2013b): Biogener Sinter im Bergbaurevier Büchenberg bei Elbingerode/Harz. – *Mitt. Arbeitsgem. Karstkunde Harz*, 2013(1-2): 30–38.
- Meyer, S. (2014): Neues zu den Pool-Finger-Vorkommen im Herbstlabyrinth-Adventhöhle-System, Hessen. – *Mitt. Verb. dt. Höhlen- u. Karstforscher*, 60(2): 42–49.
- Meyer, S. (2015): Befahrungsbericht Erdbach-Tunnel und Nordwest-Passage (Herbstlabyrinth-Adventhöhle-System, Hessen) vom 9./10. August 2014. – *Mitt. Arbeitsgem. Karstkunde Harz*, 2015(1-2): 31–39.
- Northup, D. E. & Boston, P. J. (2010): Biosignatures in Pleistocene cave pool speleothems. –

- Astrobiology Science Conference 2010: Online:
<http://www.lpi.usra.edu/meetings/abscicon2010/pdf/5347.pdf>
- Northup, D. E., Reysenbach, A.-L. & Pace, N. R. (1997): Microorganisms and Speleothems. In: Hill, C. & Forti, P. (Hrsg.): *Cave Minerals of the World*. 2. Aufl. – Huntsville (National Speleol. Soc.): 261–266.
- Päch, S. (2007): Die von Höhlenforschern vorausgesagten Marshöhlen gefunden. – *Verb. dt. Höhlen- u. Karstforscher*, 53(3): 89.
- Petersen, K., Fritz, U., Kunzmann, W., Schwager, A. & Thomé, A. (2005): Untersuchung der Riesenberghöhle auf bakteriellen Befall. Darstellung der aktuellen Schadenssituation / Beurteilung des Befundes. Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim und der Universität Oldenburg:
http://hgnord.de/projekte/pro_riesenberghoehle.html.
- Reitner, J., Queric, N.-V. & Reich, M. (2008): Geobiologie of Stromatolites. International Kalkowsky-Symposium, Göttingen, October 4-11, 2008. – Abstract Vol. and Field Guide to Excursions. Universitätsdrucke Göttingen.
- Sattler, B., Larch, P., Rambacher, J. & Spötl C. (2013): Das Eis der Hundsalz Eis- und Tropfsteinhöhle als Lebensraum für mikrobielle Gemeinschaften. – *Die Höhle*, 64: 15–24.
- Schillat, B. (1959): In den Höhlen des Weser-Berglandes. – *Der Aufschluss*, 1959(2): 29–31.
- Schillat, B. (1996): Höhlengruppe Nord e.V. – In: Fabisch, R. (Hrsg.): *Höhlen im Süntel und Wesergebirge*. – *Beih. Ber. Naturhist. Ges. Hannover*, 12: 1–78.
- Schmid, S. (2012): Wissen: Lebendiges Gestein. Höhlenblumen existieren nur an wenigen Orten. – *Neue Züricher Zeitung*, 25.11.2012: 69.
- Scholz, D., Tolzmann, J., Hoffmann, D. L., Jochum, K. P., Spötl, C. & Riechelmann, D. F. C. (2014): Diagenesis of speleothems and its effect on the accuracy of ²³⁰Th/U-ages. – *Chem. Geology*, 387: 74–86.
- Spilde, M. N., Northup, D. E., Boston, P. J., Schelble, R. T., Dano, K. E., Crossey, L. J., Dahm, C. N. (2005): Geomicrobiology of cave ferromanganese deposits: A field and laboratory investigation. – *Geomicrobiol. J.*, 22: 99–116.
- White, W. B. (1994): Thermodynamic equilibrium, kinetics, activation barriers, and reaction mechanisms for chemical reactions mechanisms for chemical reactions in Karst Terrains. – In: Sasowsky, I. D. & Palmer, M. V. (Hrsg.): *Breakthroughs in karst geomicrobiology and redox geochemistry*. – Abstracts and field-trip guide, Colorado Springs, Co., Feb. 16-19, Karst Waters Inst., Spec. Pub. 1: 74–75.
- Wurmbach, H. (1989): *Grundzüge einer speziellen Zoologie*. – Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York.
- Ziegler, S., Ackermann, S., Majzlan, J. & Gescher, J. (2009): Matrix composition and community structure analysis of a novel bacterial pyrite leaching community. – *Environm. Microbiol.*, 11(9): 2329–2338.
- Ziegler, S., Dolch, K., Geiger, K., Krause, S., Asskamp, M., Eusterhues, K., Kriews, M., Wilhelms-Dick, D., Goettlicher, J., Majzlan, J. & Gescher, J. (2013): Oxygen-dependent niche formation of a pyrite-dependent acidophilic consortium built by archaea and bacteria. – *The ISME Journal*, 7: 1725–1737.