

STEFAN MEYER | Barnten

Fotodokumentation der Aragonit-Excentriques im Windloch bei Engelskirchen am 06. August 2022 mit Anmerkungen zur Genese

Einleitung

Die Entdeckung des Windloches im Mühlenberg bei Engelskirchen unweit des Ortsteils Ränderoth in Nordrhein-Westfalen 2019 durch Mitglieder des Arbeitskreis Kluterthöhle e. V. war eine der größten Höhlenentdeckungen der letzten Jahre. Nicht nur die in relativ kurzer Zeit dokumentierte Gesamtganglänge (GGL) von aktuell 8.453 m war beeindruckend, sondern vor allem die große Formenvielfalt von Aragonit-Excentriques in für Deutschland bisher unbekanntem Größen (Arbeitskreis Kluterthöhle e. V. 2019, Voigt et al. 2020). Die Bildungen im Windloch sind vermutlich auch in Europa einzigartig. Vergleichbare Vorkommen von weißen Aragonit-Excentriques finden sich selten. Die Bildungen in der *Rivière Souterraine de Malaval* (F) und in der *Ochtiná Aragonithöhle* (SVK) kommen diesen noch am nächsten, erreichen aber nicht die Größe und Formenvielfalt der Windloch-Aragonit-Excentriques. Auch die bekannten blauen Aragonit-Excentriques in der *Grotte de l'Asperge* (F) und die grünen Aragonit-Excentriques in der *Verte du Mout Marcoux* (F) scheinen nicht größer zu sein. Eine Einschätzung ist aber schwierig, da dem Autor diese Vorkommen nicht persönlich bekannt sind und konkrete Größenangaben in der Literatur kaum zu finden sind (Prevot & Renda 2015, Cabrol & Mangin 2000, Driesen 2021).

Durch die gute und offensive Informationspolitik der Höhlenforscher des Arbeitskreis Kluterthöhle e. V. konnten auch „Nichthöhlenforscher“ an den neuen Entdeckungen zeitnah teilnehmen. Allen voran berichtete Stefan Voigt als 1. Vorsitzender in unzähligen Vorträgen von den neuesten Entdeckungen und Radio- und TV-Sender griffen die Sensation schnell auf. Das ZDF produzierte umgehend eine neue Folge aus der Sendereihe Terra X – Faszination Erde mit dem Titel: *Im Sog der Unterwelt* mit Dirk Steffens.

Forschungsziel

Ziel war es im August 2022, das große Aragonit-Excentriques-Vorkommen intensiv fotografisch zu erfassen. Dabei orientierten wir uns an den schon vorhandenen Film- und Fotoaufnahmen. Vor allem die Fotografien von Ulrich Brämer & Gero Steffens (u. a. in Wegener 2019, 2020) waren hervorragend und inspirierten zu weiteren Detailaufnahmen. Hierzu verfolgten wir zwei Vorgehensweisen. Salvatore Bologna fotografierte mit einer Nikon D7500, zwei Wechselobjektiven (18–200 & 10–20 mm) und hohen ISO-Einstellungen, sowie dem vorhandenen Licht der Höhlenforscher.

Der Autor arbeitete mit einer Sony $\alpha 7$ IV Vollformatkamera mit einem FE 24–105 mm F/4.0G OSS und zwei Yongnuo YN560 III Blitzen. Ausgelöst wurden die Blitze mit der Yongnuo Steuereinheit YN560-TX. Die Vorteile der Vollformat-Fotografie ist unter anderem, dass in die Aufnahmen sehr weit hinein gezoomt werden kann und auch kleinere Bildausschnitte eine enorme Detailfülle zeigen (u. a. Abb. 3–7). Die Kameraeinstellungen werden bei den Abbildungen mit angegeben.

Die Bilder von S. Bologna finden sich in seinem umfangreichen Befahrungsbericht (Bologna 2022). In diesem werden die von S. Voigt benannten Aragonit-Excentriques-Formationen „*Bäume des Glücks*“ weiter unterteilt in „*Deutsche Eiche*“ und „*Baobab*“ (u. a. Abb. 1, 8). Weitere benannte Aragonit-Excentriques-Ansammlungen sind die „*Hydra*“ und die „*Krause Klucke*“ sowie rundliche, als „*Igel*“ bezeichnete Formen.

Die Filmsequenzen einer mitgeführten GoPro und der $\alpha 7$ wurden von Jörg Fischer und Claus Blaut (Hildesheim) zu einem 12 minütigen, vertonten Film zusammengeschnitten. Alle Fotos, Filme und Berichte stehen für weitere Forschungen und Recherchen zur Verfügung und können beim Autor abgerufen werden. Eine Zitierung des jeweiligen Autors bei der Verwendung ist natürlich selbstverständlich.

Doch was sind Excentriques eigentlich?

Sind die Aragonit-Excentriques vergleichbar mit den klassischen Kalzitformen? Oder sollte man lieber doch den alten Namen Eisenblüte verwenden, wohlwissentlich das Aragonit wie auch der Kalzit nur „Spielarten“ des Calciumcarbonat sind und beide mit dem Element Eisen nichts zu tun haben! Beide chemisch identisch aber in verschiedenen Kristall-

systemen kristallisierend: Aragonit ist *rhombisch*, Kalzit *triklin*. Der Begriff triklin bezieht sich darauf, dass im triklinen Gittersystem alle drei Achsen jeweils mit einem Winkel ungleich 90° gegeneinander geneigt sein können. Aragonitkristalle sind lang und nadelig (*acicular*), wohingegen Kalzitkristalle eher stummelig sind oder sogenannte „Hundezahn-*Calcite*“ bilden. Aragonit bildet sich bevorzugt an Erzgängen bzw. dolomitisierten Gesteinspartien, daher der ungewöhnliche Name Eisenblüte (Bergbau-Terminologie). Dabei sind, wie bei der bekannteren Aragonit-Genese (hydrothermal), keine hohen Temperaturen erforderlich! Eines ist aber klar – Eisenblüte oder Excentriques – sie sind alles nur nicht gerade geformt!

Exzentrisch, extravagant, ausgefallen... die zweite Bezeichnung für diese Sinter aber könnte sprachlich nicht treffender sein. Frei und nicht schwerkraftorientiert wachsen diese Sintergebilde aus den Höhlenwänden, oft in korkenzieherartigen Drehungen und mit winkelartigen Richtungswechselln. Aufgrund ihrer unterschiedlichen Wuchsformen wurden sie von Hill & Forti 1997 in vier Basistypen eingeteilt: fadenförmige (*filiforme*, 1), perlschnurartige (*beaded*, 2), wurmartige (*vermiforme*, 3) und geweihartige (*remilles*, 4) Excentriques. Die Aragonit-Excentriques aus dem Windloch bilden alle vier Formen!

Oft wird auch der Begriff Helaktite/Heliktiten/*helicite* (meist englischsprachige Literatur) für diese Sinter verwendet und Wisshak & Barton (2022) beschreiben aus der Lechuguilla Cave weitere Excentriques-Formen, wie zum Beispiel die „*snake dancer helicitite*“ (S. 90/91). Auch diese Form findet sich im Windloch ... nette Übersetzung: Schlangentänzer-Excentriques!

Ob nun Eisenblüte, Helaktite oder Excentriques, sie sind von bezaubernder, sehr fragiler Schönheit und der Betrachter steht meist fragend davor wie es denn nur sein kann, dass diese „kleinen“ Kunstwerke der Natur entstehen können. Dabei ist ihre Genese seit Ende des letzten Jahrhunderts gut erforscht und mit der „erweiterten Kapillarthorie“ von Merrill (1894), Audrieux (1965), Reinboth & Göbel (1975) und Göbel & Reinboth (1992) belegt. Trotz dieser und vieler weiterer Arbeiten wird die Genese der aus Kalzit bestehen Excentriques unter Höhlenforschern und Mineralogen weiterhin intensiv diskutiert. Oftmals ohne die oben genannten Arbeiten zu kennen. Leider liefern auch populärwissenschaftliche Bücher zur Höhlenkunde oft nur wenige konkrete Informationen.

Gelegentlich werden auch ähnliche Erscheinungsformen aus anderen Mineralien als solche bezeichnet, deren Genese nicht unbedingt mit der der klassischen Excentriques identisch sein muss, was zu weiteren Diskussionen führt. So werden auch die „excentriques-ähnlichen Bildungen“ aus Aragonit von einigen Forschern gesondert betrachtet. Also doch eher der Begriff „Eisenblüte“? Fest steht, dass bei einigen Aragonit-Excentriques-Vorkommen die Beteiligung von Mikroorganismen nachgewiesen werden konnte (Schmid 2012, Monteux et al. 2013, Tisato et al. 2015). Die Frage ist aber, ob zur Bildung von Aragonit-Excentriques die Anwesenheit von Mikroorganismen zwingend notwendig ist? Leider gibt es hier zu wenige Forschungsergebnisse über einzelne Vorkommen, um die Ergebnisse von Tisato et al. 2015 auf alle Aragonit-Excentriques-Bildungen zu beziehen. Dennoch sind diese Forschungsergebnisse wegweisend.

Genese

Alle (Kalzit-)Excentriques besitzen einen charakteristischen Zentralkanal beziehungsweise eine Kapillare von weniger als 0,5 mm Durchmesser. Das Wachstum dieser Sinter ist sehr langsam und erreicht selten 0,04 mm pro Jahr (Kempe & Spaeth 1977). Für das Längenwachstum ist die Lösungszufuhr über die Kapillare verantwortlich (Kristallflächenanlagerung), wobei das Dickenwachstum über die sogenannte Spreizung erfolgt. Unter Spreizung versteht man die Ausbreitung eines monomolekularen Wasserfilms auf der Oberfläche der Excentriques. An der Austrittsöffnung der Kapillare, den Wachstumskappen, entstehen Grenz- und Oberflächenspannungen die in Abhängigkeit der Randwinkel die Kalzitablagerung beeinflussen. Nur in diesem physikalischen Zusammenspiel bilden sie die uns auf den Sinterflächen auffallenden skurrilen Wuchsformen. Wenn kalzitgesättigtes Wasser über millimeterbreite Gesteinsklüfte in einen Höhlenraum eintritt bilden sich aufgrund von Kalzitausfällungen Makkaronis und Stalaktiten. Die Ausbildung von feinsten Kapillaren ist unter diesen Voraussetzungen unmöglich. Ebenso unwahrscheinlich ist die Excentriques-Bildung auf dem sonst wasserundurchlässigen, festen Grundgestein. Die Anfangsbildung eines Excentriques wird von Platzek & Bernardo 1980 daher auf Osmose zurückgeführt. Hierzu tritt Wasser über feinste Haarrisse im Kristallaufbau der Wandsinter und Stalaktiten aus und trifft auf den Wasserfilm, welcher den Sinter „herabfließt“. Auslöser zur Bildung eines sogenannten Excentriques-Schlauches ist der unterschiedliche Kalzit- (Salz-) Gehalt der Wässer. Das bestätigt, dass Excentriques fast nur auf solchen Sinterschichten gefunden werden. Dieses könnte ein bedeutender Unterschied zu den Aragonit-Excentriques sein, da diese sich auf dem ersten Blick direkt aus dem anstehenden Gestein entwickeln. Doch bei genauerem Hinsehen ist die Höhlenwand, aus der die Windloch-Aragonit-Excentriques zu wachsen scheinen, überall leicht versintert (Abb. 3, 24).

Um das schon so nur schwer nachzuvollziehende Wachstum von Excentriques zu verstehen, finden sich unter diesen „exzentrischen“ Sintern gelegentlich wieder Exemplare die der Schwerkraft folgen und einen Makkaroni bilden! Auch hier zeigen die Aragonit-Bildungen keinen Unterschied. Die „*Bäume des Glücks*“ sind da ein schönes Beispiel. Mehr noch, sie toppen es, in dem aus Stalagmiten zweigartige Bildungen wachsen, die dem Betrachter die Illusion von Bäumen geben.

Proben

Die Aragonit-Excentriques des Windloches sind teilweise so lang und groß, dass sie aufgrund der Schwerkraft abbrechen. So finden sich unter allen Bildungen auch mehr oder weniger viele Bruchstücke auf dem Höhlenboden. Dieses ist ein Phänomen, welches ich in einem solchem Umfang bei Kalzit-Excentriques noch nie beobachten konnte. Eventuell ist dieses auf die Struktur des Aragonits selbst und auf das schnellere Wachstum zurück zu führen.

Obwohl schon einige Proben dieser Bruchstücke zur Untersuchung dem Geologischen Dienst in Krefeld (Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen) vorliegen (Immenhauser et al. 2022, Mueller et al. 2023), durfte ich mir für meine Forschungen einige Bruchstücke mitnehmen. Schon in der Höhle konnte man beobachten, dass nicht alle Aragonit-Excentriques weiß waren. Einige hatten leicht bräunliche, durchgehende Verfärbungen und selbst reinweiß erscheinende Aragonit-Excentriques zeigen zum Teil kleinste, bräunliche Flecken. Unter dem Binokular zeigte sich dann auch noch ein ganz anderer Unterschied: die Oberflächenstruktur. Ein Probestück ist weiß und glatt und hat nur wenige Anhaftungen, während ein recht ähnliches Bruchstück eine längsgeschuppte Oberfläche mit mehr bräunlichen Anhaftungen hat. Über die Verfärbungen kann derzeit nur spekuliert werden. Derzeit gehe ich davon aus, dass diese über die Luft an die Oberflächen der Aragonit-Sinter gelangen und die geschuppten Formen auf Grund ihrer Morphologie mehr Partikel „einfangen“ können. Dieses ist ein fortschreitender Prozess, der zur vollständigen Verfärbung führt/führte. Heute ist in den Höhlenräumen kaum Wetter vorhanden. Dieses könnte in der Vergangenheit aber anders gewesen sein, welches dann zu den intensiveren Braunfärbungen führte.

Warum es geschuppte und glatte Bildungen in einer Aragonit-Excentriques-Bildung gibt, ist mir bisher noch unbekannt. Eventuell könnte es etwas mit dem „inneren“ Wassergehalt und der Besiedelung von Mikroorganismen zu tun haben. Eine normale Trocknung führte zu keinerlei Veränderung der Oberflächenstruktur.

Biogene Genese

Ob die Genese der Windloch-Aragonit-Excentriques auch durch Mikroorganismen beeinflusst wird, wie von Bologna 2022 vermutet oder wie von Tisato et al. (2015) für die Aragonit-Excentriques in der *Grotte de l'Asperge* nachgewiesen, konnte bisher nicht geklärt werden. Hier könnten unter anderem REM-Aufnahmen erste Einblicke geben. Sehr interessant wäre hier der Nachweis oder Ausschluss der für Pool-Finger typischen genetzten (retikulierten) Mikroben-Filamente (Abb. 43). Diese sind derzeit nur aus unterirdischen Lebensräumen bekannt. Vermutlich handelt es sich um eine noch unbekanntere größere Gruppe von Mikroorganismen, vielleicht sogar um einen eigenen Stamm, der sich auf unterirdische bzw. dunkle Lebensräume spezialisiert hat. Sie konnten in vielen unterirdischen Lebensräumen und Sintern weltweit nachgewiesen werden. Auf Beziehungsweise in Aragonit-Sintern sind sie bisher nicht dokumentiert. Grundsätzlich sollten biogene Pool-Sinter-Bildungen nicht gleich gesetzt werden mit biogen beeinflussten Aragonit-Excentriques-Bildungen. Der „Vergleich“ von Tisato et al. (2015) auf S. 4 zu U-Loops in Pool-Finger-Vorkommen ist etwas weit hergeholt, zumal die Entstehung der U-Loops durch kalzifizierende Mikroorganismen-Filamenten bei leichten Wasserstands-Schwankungen in Sinterbecken erfolgt (Meyer & Plan 2010, Straub et al. 2018).

Da die biogene Bildung von Aragonit-Excentriques von Tisato et al. (2015) sehr intensiv untersucht und plausibel dargelegt wurde, soll hier ein kurzer Überblick gegeben werden. In den blauen Aragonit-Excentriques (*Blue Gallery Speläotheme*, BGS) wurden mittels einer RNA-Sequenzanalyse eine umfangreiche mikrobielle Lebensgemeinschaft (Mikrobiom) aus *Proteobakterien*, *Acidobakterien* und *Actinobakterien* dokumentiert. Dieses Mikrobiom scheidet ähnlich wie bei der Pool-Finger-Genese Kalzit aus, welches innerhalb der Aragonit-Proben nachgewiesen werden konnte. Es wird vermutet, dass ein charakteristischer Mikroorganismus (*Myxococcales* – Verwandtschaft?) oder Biomineralisationsprozesse für das ungewöhnliche Wachstumsverhalten der Aragonit-Excentriques verantwortlich sind. Die von Kempe & Spaeth 1977 dafür u. a. verantwortlich gemachte Spreizung (siehe oben) wird danach durch einen mikrobiell beeinflussten Mineralisierungsprozess von Biofilmen ersetzt oder erweitert. Die Biofilme sind somit Keimbildungsorte für Ca-Karbonat. Im Allgemeinen verursachen die Stoffwechselreaktionen dieser Mikroben einen lokalen Anstieg des pH-Wertes und der Alkalinität, was eine Übersättigung mit Ca-Karbonat zur Folge hat. Darüber hinaus wirken die von Mikroben produzierten und den Biofilm bildenden extrazellulären polymeren Substanzen (EPS) bevorzugte Nukleationsstellen (siehe auch Abb. 30; Straub et al. 2018).

Mit dem biologischen Wachstum erfolgt eine zufällige (?) Wachstumsrichtung, die die charakteristische Morphologie der Aragonit-Excentriques einschließlich der Kurven, Brücken, Buchten und Haken erklärt. Da die Kalzit-Abscheidung für die Mikroorganismen nicht unproblematisch ist, wird bei den Aktivitäten des Biofilms auch eine anspruchsvollere Rolle vermutet um ökologische Vorteile zu erlangen. Als Beispiel sei hier das wieder zur Höhlendecke erfolgende Wachstum genannt, um Nährstoffquellen zu erschließen bzw. dem Kalzit zu „entfliehen“. Es wird vermutet, dass die Mikroorganismen einen noch zu definierenden Vorteil von der Umwandlung von Aragonit zu Kalzit erhalten.

Literatur

- Audrieux, C. (1965): Morphogenese des helictites monocristallines. *Bull. Soc. Fr. Miner. Crist.* 88: 163–171.
- Arbeitskreis Kluterhöhle e. V. (2019): Das Windloch im Mühlenberg – eine Jahrhundertentdeckung wird erforscht. (www.akk.de).
- Hill, C. & Forti, P. (1997): *Cave minerals of the world*. Second edition, National Speleological Society, Bologna, S. (2022): Das Windloch und die Bäume des Glücks, 6. August 2022. Befahrungsbericht. 46 S., unveröffentlicht.
- Cabrol, P. & Mangin, A. (2000): Fleurs de pierre. Les plus belles concrétions des grottes de France. De-la-chaux et Niestle.
- Driesen, E. (2021): Les vertes du Grand Aven du Mont Marcou. *Het groene wonder. Spelerpes* 44/2 Verbond van Vlaamse Speleologen: 21–25.
- Göbel, F. & Reinboth, F. (1992): Excentriques, eine wenig bekannte Form des Calcits. *Der Aufschluss* 23: 112–124.
- Immenhauser, A., Hoffmann, R., Riechelmann, S., Mueller, M., Scholtz, D., Voigt, S., Niggemann, S., Buhl, D., Dornseif, M. & Platte, A. (2022): Petrographic and geochemical constraints on the formation of gravity-defying speleothems. *The Depositional Record* 9: 413–436.
- Kempe, S. & Spaeth, C. (1977): Eccentrics: Their capillaries and growth rates. *Proc. 7th Int. Speleol. Congr. Sheffield* 1977: 259–262.
- Meyer, S. & Plan, L. (2010): Pool-Fingers – eine kaum bekannte Sinterform biogenen Ursprungs. *Mitt. Verb. Dt. Höhlen- und Karstforscher* 56: 104–108.
- Merrill, P. M. (1894): On the formation of stalactites and gypsum incrustations in caves. *Proc. U.S. Nat. Mus.* 17: 77–81.
- Monteux, S., Tisato, N., Bontognali, T. R. R., Torriani, S., Tavagna M. L., Chailloux, D., Renda, M. & Eglinton, T. I. (2013): Hints towards a biogenic origin of Asperge Cave speleothems. 11th Swiss Geoscience Meeting, Lausanne 2013.
- Mueller, M., Hoffmann, S., Riechelmann, S., Scholz, D., Voigt, S., Niggemann, S., Buhl, D., Dornseif, M. & A. Platte (2023): Petrographische und geochemische Eigenschaften von Excentriques (Eisenblüten) im Windloch, der Dechenhöhle und der Hüttenbläser Höhle. *Antiberg (Mitt. Karst- und Höhlenkunde Nordrhein-Westfalen)* 81: 7–38.
- Platzeck, A. & Bernardo, C. (1980): Excentriques (Entstehung in Höhlen, Wachstum, Synthese). *Carintha II*. 170: 181–189.
- Reinboth, F. & Göbel, F. (1975): Bemerkungen zum Excentriquesproblem. *Die Höhle* 26: 123–130.
- Prevot, R. & Renda, M. (2016): La salle bleue in de Grotte de l'Asperge. *Uren kijken naar blauw aragoniet. Spelerpes* 38: 12–16.
- Schmid, S. (2012): Lebendes Gestein. Höhlenblumen existieren nur an wenigen Orten. Forscher der ETH Zürich haben nun erste Hinweise darauf, dass die spektakulären Mineralien-Gebilde von Lebewesen geschaffen wurden. *NZZ am Sonntag*, 25. Nov. 2012.
- Straub, R., Meyer, S. & Melim, L. A. (2018): Vom Bakterienfilament zum versinterten Pool-Finger – Erste Untersuchungsergebnisse an Pool-Fingers aus der Blautopfhöhle (Schwäbische Alb). *Laichinger Höhlenfreund* 53: 3–14.
- Tisato, N., Torriani, S. F. F., Monteux, S., Sauro, F., De Waele, J., Tavagna, M. L., D'Angeli, I. M., Chalilux, D., Renda, M., Eglinton T. I. & Bontognali, T. R. R. (2015): Microbial mediation of complex subterranean mineral structures. *Scientific Reports* 5: 15525, DOI: 10.1038/srep15525.
- Voigt, S., Dornseif, M. & Ebenau, C. (2020): Das Windloch im Mühlenberg bei Engelskirchen-Ründoroth – Bericht zur ersten Forschungssaison 2019. *Mitt. Verb. Dt. Höhlen- Karstforscher* 66: 3–9.
- Wegener, D. (2019): Die Erstbefahrung im Windloch. *Antiberg (Mitt. Karst- und Höhlenkunde Nordrhein-Westfalen)* 73: 1 + 53–57.
- Wegener, D. (2020): Sensationsentdeckung im Windloch. *Antiberg (Mitt. Karst- und Höhlenkunde Nordrhein-Westfalen)* 75: 17–19.
- Wisshak, M. & Barton, H. A. (2022): *Lechuguilla cave – discoveries in a hidden splendor*. Speleo-photo Editions.



Abb. 1 Der Entdecker hinter der „Deutschen Eiche“, einem der „Bäume des Glücks“ (F/14, 1/60 Sek., ISO-100, 59 mm).



Abb. 2 Die über einen Meter hohe „Deutschen Eiche“, einem der „Bäume des Glücks“ im Gegenlicht. Oben im Bild die Kontaktstellen zur Felswand, unten Bruchstücke und Stalagmiten-Topf, (F/13, 1/60 Sek., ISO-100, 68 mm).



Abb. 3 Der übersinterte Höhlendeckenbereich über der „Deutschen Eiche“. Oben rechts fadenförmige (filiforme) Excentriques, links das Verwachsen von Excentriques der „Deutschen Eiche“ und aus der Decke wachsende Excentriques (Bildausschnitt). In der Bildmitte oben wächst ein völlig andersfarbiger Excentriques. Wieso ist nur dieser braun gefärbt? Ist dieser älter als die weißen Excentriques?



Abb. 4 Ein nur leicht übersinteter Höhlendeckenbereich mit wenigen Decken-Excentriques über der „Deutschen Eiche“. Oben links eine Erzader (eine von mehreren möglichen Bildungsvoraussetzungen von Aragonit). Unten die Spitzen der fadenförmigen (filiforme) Excentriques der „Deutschen Eiche“ (auf der Suche nach „Nahrung“ oder „Flucht“ vor dem Kalzit?) (Bildausschnitt).



Abb. 5 Kronenansatz der „Deutschen Eiche“. Aus dem Stamm (Stalagmit) streben faden- (filiforme) und wurmartige (vermiforme) Excentriques chaotisch und planlos (?) in den Höhlenraum, (Bildausschnitt). Nur in der Mitte befindet sich ein bräunlich verfärbter Ast.



Abb. 6 Der Stamm (Stalagmit) und Kronenansatz der „Deutschen Eiche“. Rechts, durch die Schwerkraft abgebrochene Excentriques und ein Stalagmiten-Topf (Bildausschnitt).

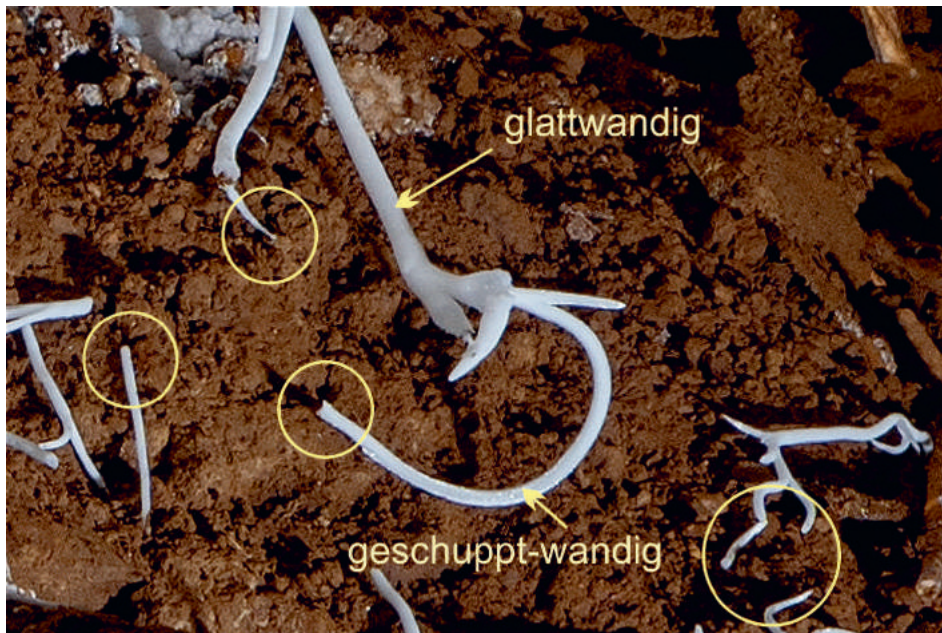


Abb. 7 Wachsen die abgebrochenen Excentriques weiter? Wie und wodurch? Das mittlere Excentriques-Bruchstück zeigt zwei morphologisch unterschiedliche Oberflächen. Siehe auch Abbildung 26.



Abb. 8 Der gut 60 cm hohe „Baobab“ die zweite Aragonit-Excentriques-Bildung der „Bäume des Glücks“ (F/14, 1/60 Sek., ISO-100, 65 mm).



Abb. 9 Der „Baobab“ im seitlichen Gegenlicht. Im Hintergrund größere Ansammlungen von abgebrochenen, braunen Excentriques. Am Stammfuß rechts eine „igelartige“ Excentriques-Bildung (Bildausschnitt).



Abb. 10 Die „igelartige“ Excentriques-Bildung am Stammfuß des „Baobab“. Der Ausgangspunkt des Wachstums ist nicht klar erkennbar (Stalagmit oder Höhlenwand). Die darüber befindlichen eisklaren, perlschnurartigen (beaded) Excentriques zeigen eine völlig andere Morphologie (Bildausschnitt).



Abb. 11 Die Krone des „Baobab“. Die milchfarbigen, dickeren Excentriques wachsen aus der Stalagmiten-Spitze in zwei bräunliche Stalaktiten. Umgeben von eisclaren, perlschnurartigen (beaded) Excentriques (Bildausschnitt). Diese ähneln sehr kalzitischen Formen.



Abb. 12 Die nähere Umgebung des „Baobab“ im Gegenlicht und Frontblitz. Links weitere, kleinere Excentriques-Bildungen: a.) eine „igelartige“ Bildung und b.) wurmartige (vermiforme) Excentriques (F/4, 1/50 Sek., ISO-12800 (!), 68 mm).



Abb. 13 Wurmartige (vermiforme) Excentriques gegen über dem „Baobab“, links oberhalb der „igelartigen“ Bildung – siehe Abbildung 12 (F/14, 1/60 Sek., ISO-100, 105 mm).



Abb. 14 Die wurmartigen (vermiforme) Excentriques gegen über dem „Baobab“. Die Höhlendecke ist leicht versintert und durch Mineralien (Erze) unterschiedlich gefärbt. Die gelben Pfeile zeigen auf die Ursprungsorte einzelner Excentriques an der Höhlendecke. Der rechte Pfeil zeigt auf einen Excentriques der mit einer schwarzen Linie hervorgehoben wurde. In den orangen Kreisen scheinen die Excentriques-Spitzen wieder in die Höhlenwand zu wachsen. Die zwei grünen Kreise markieren Excentriques-Spitzen die scheinbar zufällig oder gezielt (?) aufeinander zuwachsen. Der blaue Kreis markiert die Neubildung eines Excentriques (Bildausschnitt aus Abb. 13).



Abb. 15 Die „igelartige“ Excentriques-Bildung gegen über dem „Baobab“ mit eisklaren, perlschnurartigen (beaded) Excentriques und typischen Verdickungen („Perlen“) (F/14, 1/60 Sek., ISO-100, 105 mm).



Abb. 16 Dieser Bildausschnitt aus Abb. 15 zeigt die typischen Verdickungen („Perlen“). Handelt es sich um Bildungen nach einer Kapillarverstopfung? Handelt es sich hier um Excentriques aus Kalzit? Siehe auch Cabrol & Mangin 2000, Seite 98.



Abb. 17 Raumaufnahme mit der „Hydra“. Dieses Gebilde ist mit über 1,2 m Durchmesser die größte Aragonit-Excentriques-Bildung im Windloch (F/8, 1/60 Sek., ISO-250, 24 mm).



Abb. 18 Die „Hydra“, oben mittig ein „snake dancer helictite“ beziehungsweise Schlangentänzer-Excentriques (F/11, 1/60 Sek., ISO-800, 40 mm). Abb. 19: Blick ins Zentrum der „Hydra“. Unter rechts ein dichtes Knäuel aus feinsten Excentriques (Bildausschnitt).



Abb. 19 Blick ins Zentrum der „Hydra“. Vor dicht verästelten braunen Excentriques befindet sich zwischen filiformen Excentriques eine ebenfalls aus Excentriques bestehende kugelartige Form (F/9, 1/60 Sek., ISO-100, 34 mm).



Abb. 20 Blick ins Zentrum der „Hydra“. Braune Verfärbungen unbekannter Herkunft auf sonst weißen Excentriques. Sind die braunen Excentriques älter?



Abb. 21 Blick an den Rand der „Hydra“. Stalaktiten umgeben von Excentriques. Zwei Stalaktiten wachsen in einem rechten Winkel weiter (Bildausschnitt aus Abb. 18).



Abb. 22 Blick an den Rand der „Hydra“. Stalaktiten-Gruppe umgeben von Excentriques. Der linke Stalaktit wächst in einem fast rechten Winkel weiter. Oben links einige kleine braune Stalaktiten-Ansätze mit puderartigen Ausblühungen (Bildausschnitt aus Abb. 18).



Abb. 23 Ein Knäul aus feinen Excentriques am Rand der „Hydra“. Links ein geweihartiger (remilles) Excentriques (Bildausschnitt aus Abb. 18).



Abb. 24 Der Höhlendeckenbereich am Rand der „Hydra“. Deutlich sieht man rötliche Verfärbungen, die auf Erze bzw. eisenhaltige Minerale (?) hindeuten können. Die gelben Pfeile deuten auf den Entstehungspunkt einzelner Excentriques. Einer wurde mit einer schwarzen Linie hervorgehoben. Bei dem Bogen ist der Entstehungsort nicht zuzuordnen. Sind hier zwei Excentriques beabsichtigt oder durch Zufall in den mehrere Kubikmeter großen Höhlenraum aneinander geraten! (Bildausschnitt).



Abb. 25 Aus der „Hydra“ streben zwei unterschiedliche Excentriques-Formen parallel zur Höhlendecken mehrere Dezimeter in den Höhlenraum. Unten ein fadenförmiger (filiforme) und darüber ein geweihartiger (remilles) Excentriques (Bildausschnitt).

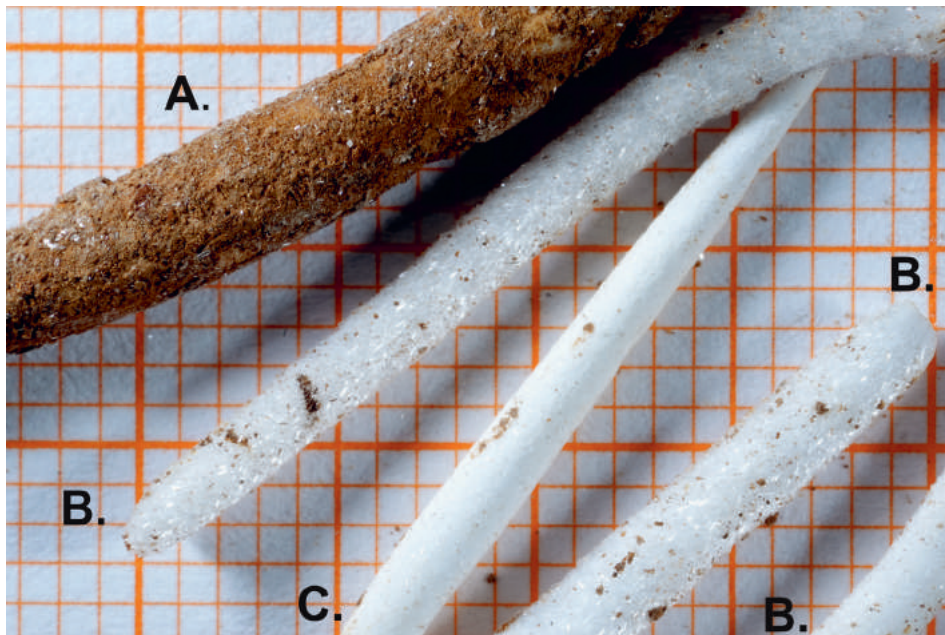


Abb. 26 Verschiedenfarbige Proben von Aragonit-Excentriques, die unter der „Deutschen Eiche“ lagen. Auch die Morphologie ist unterschiedlich (F/18, 1/125 Sek., ISO-250, 90 mm). Form A ist sehr porös und durchgängig braun gefärbt. Auch ist diese doppelt so dick wie die anderen Proben. Form B dieser Excentriques ist weiß mit bräunlichen Partikelanhaftungen und geschuppter Oberfläche. Form C diese Form ist am häufigsten vertreten. Sie ist glatt und schneeweiß, mit wenig bis gar keinen Partikel-Anhaftungen.

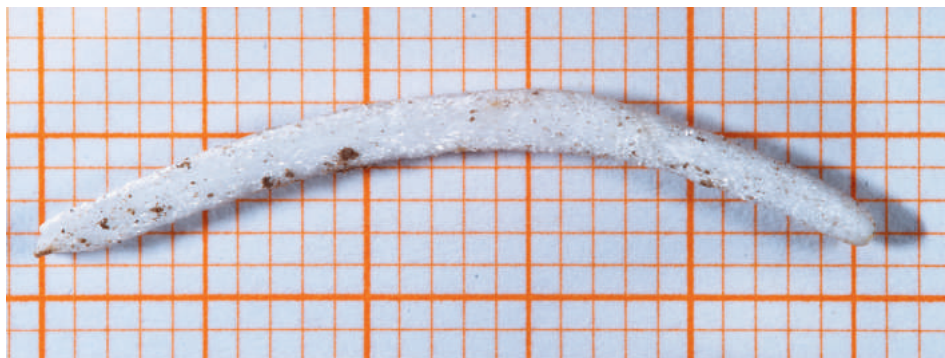


Abb. 27: Einzelner geschuppter Aragonit-Excentriques der Form B (F/18, 1/125 Sek., ISO-250, 90 mm, beschnitten).



Abb. 28 Aufnahme der Partikel in und auf der geschuppten Struktur der Excentriques-Form B, (DinoLite AM 73115 MZT/Digital-Mikroskop).



Abb. 29 Weitere Aufnahme der Partikel in und auf der geschuppten Struktur der Excentriques-Form B, (DinoLite AM 73115 MZT/Digital-Mikroskop).

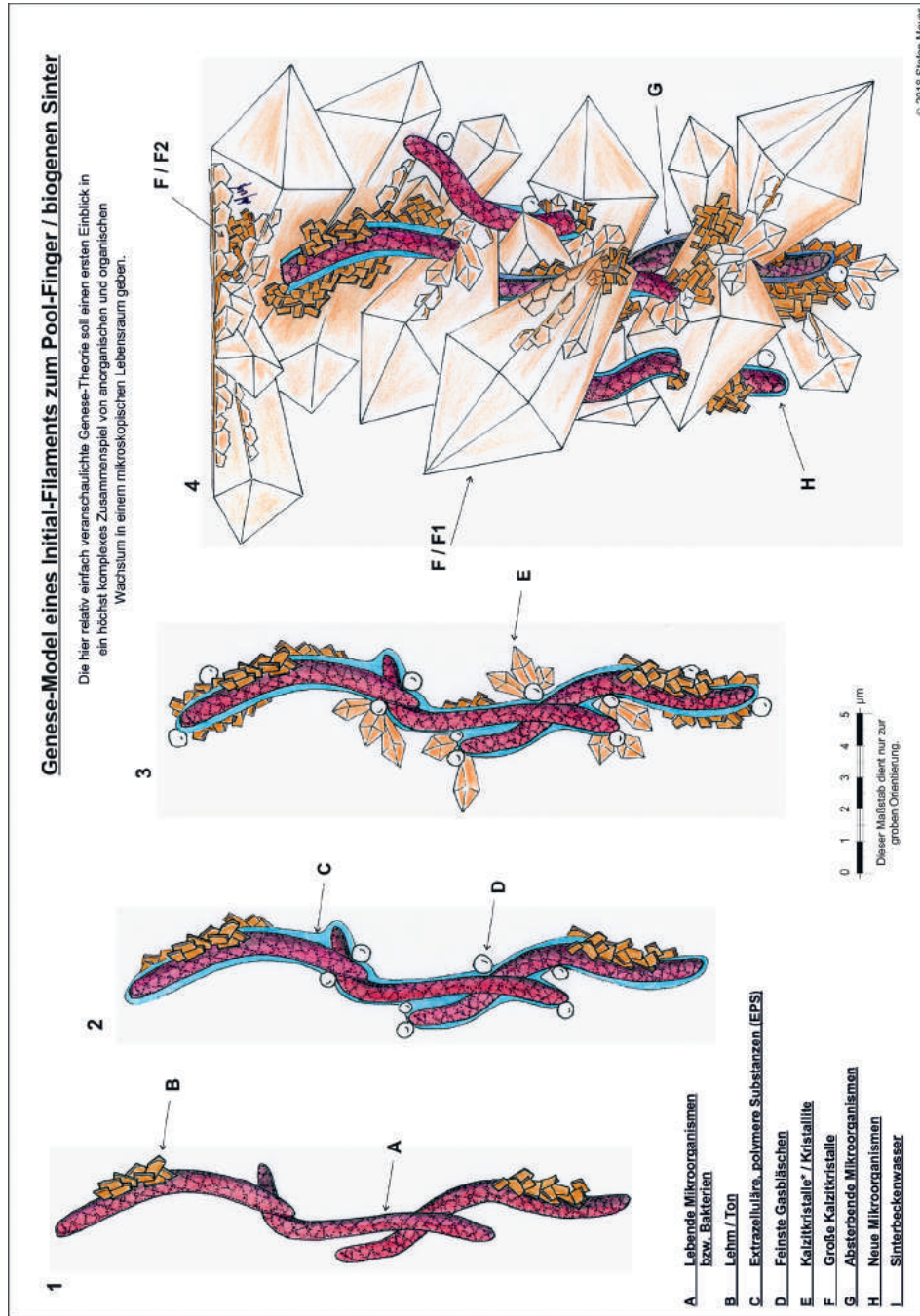


Abb. 30 Das Genese-Model vom Anfang eines biogenen Sinters (Pool-Finger) aus Straub et al. (2018). Ähnlich könnten die Mikroben in den Aragonit-Excentriques Kalzit abscheiden.



Abb. 31 Auge in „Auge“ mit dem Schlangentänzer („snake dancer helictite“). Ein einzelner Excentriques unweit der „Hydra“, F11, 1/60 Sek., ISO-100, 58 mm.



Abb. 32 Neben den „Bäumen des Glücks“ und der „Hydra“ ist die „Krause Klucke“ mit ihren zwei „Igel“ und einer Breite von 60 cm eine eindrucksvolle Erscheinung. Sie befindet sich etwas abseits an der Höhlenwand zwischen „Deutscher Eiche“ und der „Hydra“ (F/10, 1/60 Sek., ISO-100, 27 mm).

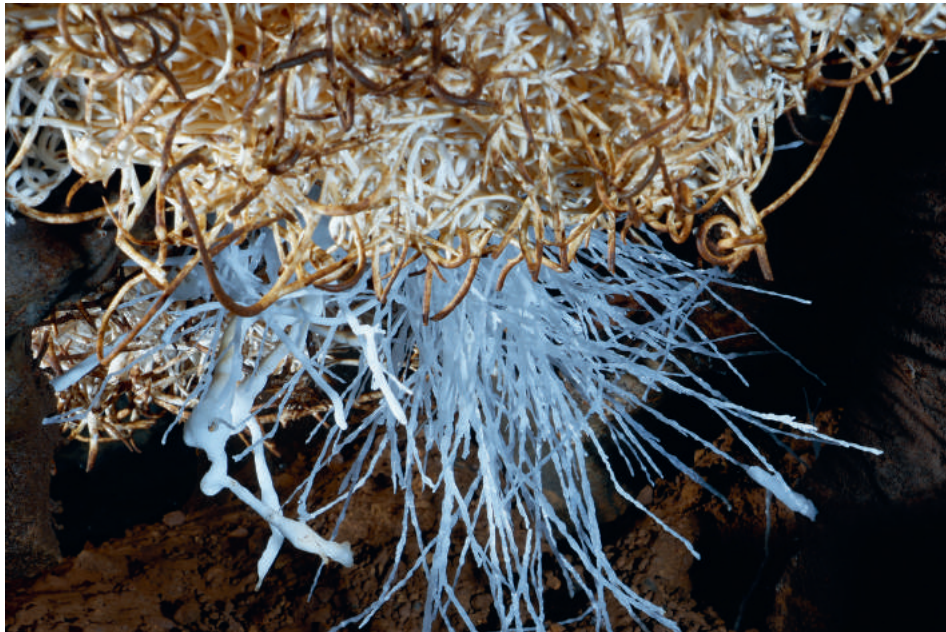


Abb. 33 Oben die cremefarbenen, knäulartig verwachsenen (älteren?) Excentriques der „Krausen Klucke“ und darunter die jüngeren (?), eisfarbenen „Igels“ (Bildausschnitt).



Abb. 34 Die Excentriques-Spitzen der „Igel“ unter der „Krausen Klucke“ berühren fast den Boden. Während von den eisfarbenen Excentriques einige abgebrochene Enden auf dem lehmigen Höhlenboden liegen, finden sich hier keine abgebrochenen Exemplare der cremefarbenen Excentriques! Rechts unten Aragonit-Ausblühungen auf Lehm (Bildausschnitt).



Abb. 35 Eine neue Form!? – der Schweineschwanz-Exentriques (Pig tail – helicitite), Mittig und oben rechts, am unteren Rand der „Krausen Klucke“ (Bildausschnitt). Ob diese Form überhaupt schon einmal beschrieben wurde ist dem Autor nicht bekannt. Es könnte sich hier um eine Erstbeschreibung handeln. Somit wäre das Windloch die Terra typica dieser neuen Form!



Abb. 36 Der perfekte Schweineschwanz-Exentriques (Pig tail – helicitite), dieser bildet einen geschlossenen Ring von mehreren Zentimetern Durchmesser. Eine Naht oder ein anderer Hinweis wo die zwei Excentriques-Enden sich getroffen haben könnten, ist nicht zu erkennen (Bildausschnitt).



Abb. 37 Filigranes Wachstum in den Höhlenraum, aus der senkrechten Höhlenwand unweit des „Baobab“. Das Gebilde aus perlschnur- (*beaded*) und geweihartigen (*remilles*) Excentriques ist gut 30 cm hoch (F/11, 1/60 Sek., ISO-100, 58 mm).



Abb. 38 Perfekter kann ein Perlschnur- (*beaded*) Excentriques nicht ausgebildet sein, (Bildausschnitt aus Abb. 37). Siehe auch Cabrol & Mangin 2000, Seite 93–95.



Abb. 39 Dreckiger geht auch.... Zwei kleine Stalaktiten mit leichten bräunlichen Verfärbungen in mitten von kleinen, wenige Zentimeter langen Aragonit-Excentriques, deren Spitzen tief dunkelbraun verfärbt sind, während die Basis weiterhin schneeweiß erscheint (F/4,5, 1/30 Sek., ISO-800, 55 mm).

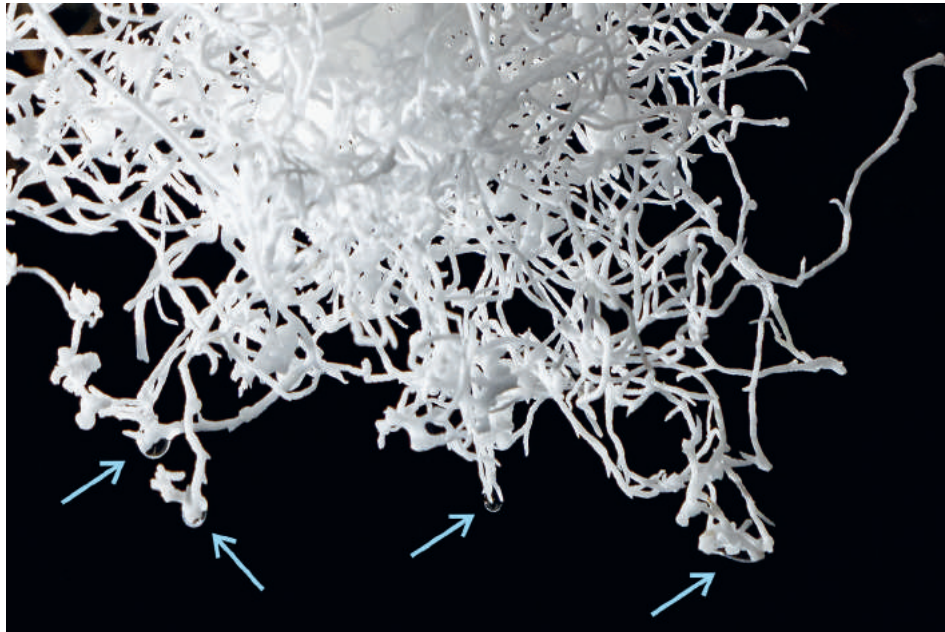


Abb. 40 Wenige Wassertropfen an feinen Excentriques-Enden im Excentriques-Knäul am Rand der „Hydra“, (Bildausschnitt aus Abb. 18). Die blauen Pfeile zeigen auf die einzelnen Wassertropfen, welche teilweise mehrere Excentriques-Enden umschließen – sie bilden einen „Raum der Möglichkeiten“ – ein Mikrobiom? Das Windloch ist aufgrund einer schwer wasserundurchlässigen Gesteinsschicht relativ trocken. Das zeigt sich vor allem an dem wenigen Versinterungen. Eine Ausnahme sind die Aragonit-Bildungen. Doch auch bei diesen Bildungen wurden nur zwei Stellen gefunden an denen sich Wassertropfen bildeten.

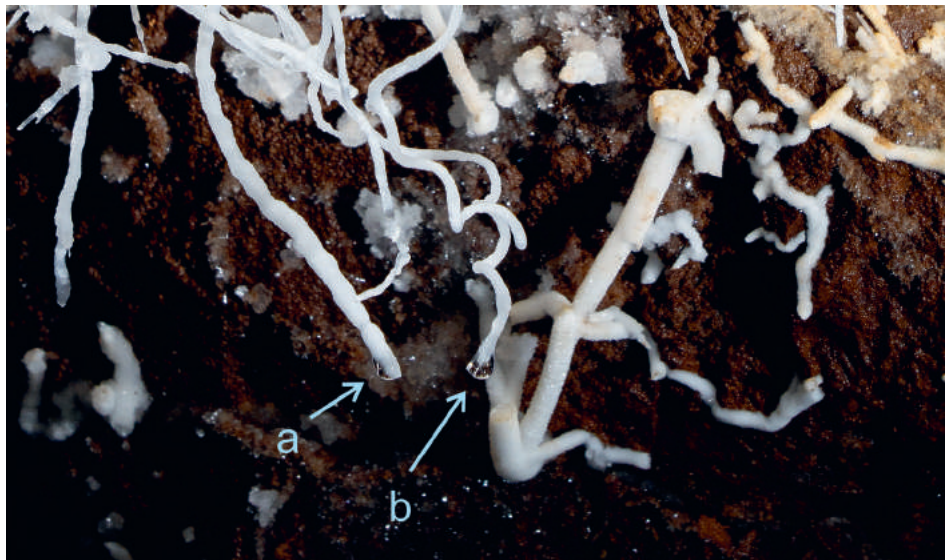


Abb. 41 Wassertropfen an zwei Excentriques unterhalb der „igelartige“ Excentriques-Bildung gegen über dem „Baobab“, (Bildausschnitt). Der Wassertropfen von Excentriques-a richtet sich nicht nach der Schwerkraft aus, sondern nach links! Im Wassertropfen von Excentriques-b finden sich mittig einige Kristallnadeln! Bei Kalzit-Excentriques erfolgt die Kalkablagerung immer am äußeren Rand (Spreizung).



Abb. 42 Bildausschnitt aus Abbildung 41 zeigt die Wassertropfen und die Kristallnadeln im Excentriques-b (rechts).

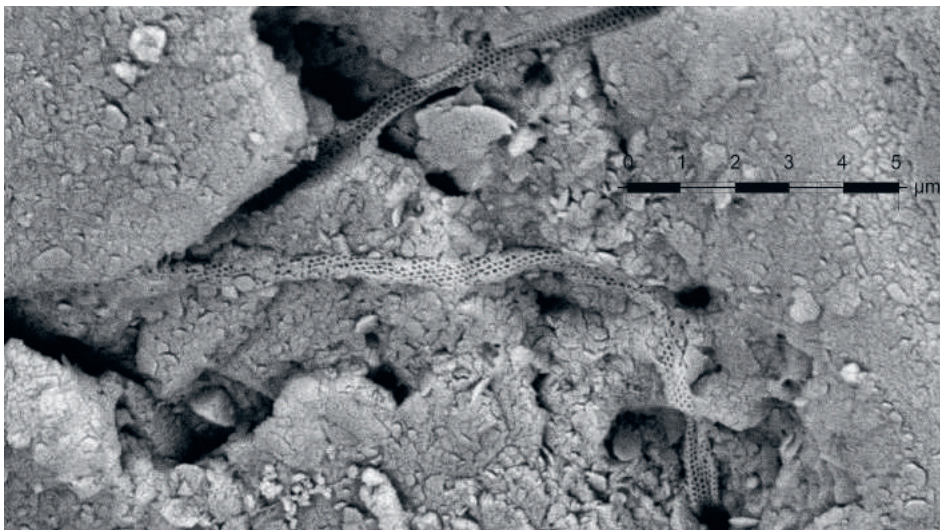


Abb. 43 Die im Text erwähnte, für Pool-Fingers typischen, genetzten (*retikulierten*) Mikroben-Filamente. Hier eine REM-Aufnahme von Max Wisshak, Senckenberg-Museum am Meer (Wilhelmshafen). Sie zeigt fossile Mikroben aus einer Probe von Höhlen-Korallen (*cave-coral*) aus dem Pool-Finger-Pecken 1 der Riesenberghöhle im Süntel/Niedersachsen (BRD). Diese genetzten Mikroben sind derzeit nur aus unterirdischen Lebensräumen bekannt. Vermutlich handelt es sich um eine noch unbekanntere größere Gruppe von Mikroorganismen, vielleicht sogar um einen eigenen Stamm, der sich auf unterirdische bzw. dunkle Lebensräume spezialisiert hat. Sie konnten in vielen unterirdischen Lebensräumen und Sintern weltweit nachgewiesen werden.