

Wurmförmige Excentriques mit ungewöhnlichem Calcitgefüge – Untersuchungen mit der Elektronen-Rückstreu-Beugungs-Methode

ZUSAMMENFASSUNG

Wurmförmige (vermiforme) Excentriques eines inzwischen zerstörten Seitengangs der Großhöhle Breitscheid-Erdbach (Hessen) sind häufig nicht als Calcit-Einkristall aufgebaut, sondern weisen eine polykristalline Calcitstruktur auf. Mit der Elektronen-Rückstreu-Beugungs-Methode (electron backscatter diffraction, EBSD) ergibt sich ein leistenförmiger Aufbau der Calcitkristalle, wobei die c-Achsen annähernd in Längserstreckung der Excentriques orientiert sind. Es zeigt sich ein Gefüge aus in Wachstumsrichtung divergierend angeordneten Fasern, wobei drei in sich divergierend aufgebaute Teilsegmente unterschieden werden können. Die stärkste Abweichung von der Längserstreckung ergibt sich mit 18° im äußeren Bereich in der Mitte der Teilsegmente der Excentriques.

Der komplexe interne Aufbau und die konische äußere Form des Spitzenbereichs der Excentriques unterstreichen für diese Zone eine spezielle externe Calcitanlagerung, wobei die Anwesenheit von Biofilmen angenommen wird.

ABSTRACT

Vermiform excentriques with unusual calcite structure – investigations with the Electron BackScattered Diffraction (EBSD) method

Vermiform helictites (excentriques) from a former side branch of the Breitscheid-Erdbach cave are frequently polycrystalline and not composed of a single calcite crystal. The electron backscatter diffraction (EBSD)-technique reveals a lath-shaped calcite structure with c-axes oriented nearly parallel to the elongation of the helictites. The resulting structure of the helictites is a calcite fibre bundle diverging along the growth direction. Three equivalent symmetrical sectors can be distinguished. The maximum deviation from the elongation is 18° and occurs at the exterior in the centre of the segments of the excentriques. The complex internal structure and the conical shape of the tip of the excentriques suggest a special kind of calcite precipitation, whereby biofilms seem to have played a significant role.

Detlev K. Richter

Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik, Ruhr-Universität-Bochum, D-44801 Bochum
detlev.richter@rub.de

Rolf D. Neuser

Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik, Ruhr-Universität-Bochum, D-44801 Bochum
rolf.neuser@rub.de

Eingelangt: 16.7.2007
Angenommen: 7.8.2007

EINFÜHRUNG

Excentriques (= Helictites sensu Dolley, 1886; Moore, 1954; Onac, 1996 u.a.) sind schwerkraftunabhängig mineralisierte, lang gestreckte (Länge meist einige cm, selten >1 m) Speläotheme, die meist aus Calcit, seltener Aragonit, Gips, Anhydrit oder anderen Mineralen zusammengesetzt sind. Diese Kleinsinterform führt charakteristischerweise einen Zentralkanal bzw. eine Kapillare (Merrill, 1894), die einen Durchmesser < 0,5 mm – meist 0,06-0,08 mm – aufweist (vgl. Göbel & Reinboth, 1972). Nach Hill & Forti (1997) können vier Basistypen unterschieden werden: filiforme (fadenförmige) (1), perlschnurartige (2), vermiforme (wurmartige) (3), und geweihartige (4) Excentriques. Diese Sinterform zeichnet sich durch sehr langsames Wachs-

tum aus – 0,02-0,04 mm pro Jahr nach Kempe & Spaeth (1977). Die Genese der Excentriques wird kontrovers diskutiert, wie es sich aus einer Zusammenstellung bisheriger Theorien von Göbel & Reinboth (1972) ergibt: a. Kapillarthorie, b. Entstehung durch bakterielle bzw. pflanzliche Aktivität, c. Schwebetröpfchentheorie, d. Wachstum durch Oberflächentransport, e. erweiterte Kapillarthorie.

In den meist in kalkigem Gestein gebildeten deutschen Höhlen dominieren calcitische Excentriques, die vorwiegend aus einem Kristall und selten radialcalcitisch ausgebildet sind (Kempe, 1997). Hill & Forti (1997) berichten auch von polykristallinen Helictiten mit parallel orientierten c-Achsen der

Calcitkristalle. Aragonitische Excentriques sind aus der Aggertalhöhle (Bergisches Land/NRW) bekannt (von Holz, 1960: 30 als Büschel aus wenige Millimeter langen aragonitischen Kristallnadeln beschrieben), wo sie sich wohl aufgrund erhöhter Mg/Ca-Verhältnisse der Tropfwässer (teilweise dolomitisch/ankeritisches Wirtsgestein) gebildet haben bzw. noch bilden.

In einer posthum erschienenen Arbeit über Excentriques aus Höhlen in Devonkalken des Rheinischen Schiefergebirges (Emst-Höhle/Letmathe, Alte Höhle/Hemer-Sundwig, Excentrique-Höhle/Hönnetal, Liet-Höhle/Warstein, Mutterstein-Höhle/Finnentrop) werden von Meiburg (2007) rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen an vornehmlich monokristallinen und seltener polykristallinen Calcitformen und ausschließlich polykristallinen Aragonitformen mitgeteilt. Dabei ist das Vorkommen von aragonitischen auf calcitischen Excentriques von besonderem Interesse.

Mit der neuen, an chemo-mechanisch polierten Dünnschliffen anwendbaren Elektronen-Rückstreuungsmethode (Electron Back Scatter Diffraction, EBSD) kann nun die Orientierung des Gitters eines Kristalls über Computerprogramme (Day & Trimby, 2004) genau ermittelt werden. So haben Neuser & Richter (2007) bei Calcitkristallen konvergierende c-Achsen an Stalagmitenbeispielen dolomitbetonter Höhlen und Richter et al. (2007) bei Calcitnadeln in Mondmilchproben („Bergmilch“) faserrichtungsunabhängige c-Achsenorientierungen nachweisen können. In der vorliegenden Studie wird nun erstmals die EBSD-Methode an polykristallin zusammengesetzten vermiformen Calcit-Excentriques angewandt, um die durchlichtmikroskopisch ohne zeitaufwändigen Einsatz eines Universal-Drehtisches nicht nachvollziehbare Kristallorientierung relativ rasch zu ermitteln. Zum Vergleich sind zumeist monokristallin ausgebildete calcitische „Makkaroni“ („Sinterröhrchen“, soda straws) derselben Höhle entsprechend untersucht worden.

MATERIAL UND GEOLOGISCHER ÜBERBLICK

Die Excentriques dieser Studie wurden mit weiterem Speläothemmaterial (Makkaroni, Stalaktiten, Stalagmiten) einem 2002 bereits teilzerstörten, zum Abbau vorgesehenen Höhlengang an der SW-Wand des großen Steinbruchs der Gemarkung „Hohes Feld“ ENE Breitscheid (N-Hessen; Abb. 1) mit Genehmigung der Firma Kalksandsteinwerk Medenbach GmbH entnommen (Koordinaten der Probenlokalität: H5617440, R3444100 – MTB 5315 Herbhorn). Seitdem dienen diese Speläotheme als Anschauungs- und Übungsmaterial der Lehrveranstaltung „Karst- und Höhlenkunde“

des Instituts für Geologie, Mineralogie und Geophysik der Ruhr-Universität Bochum.

Die beprobte Höhle gehörte als N-S gerichteter Seitengang zur bekannten, südlich gelegenen Großhöhle Breitscheid-Erdbach (Herbstlabyrinth-Adventhöhlen-System sensu Grubert (1996) und Hülsmann (1996)) und ist wie diese im oberdevonischen Iberger Kalk von Breitscheid (Kayser, 1907; Krebs, 1966) angelegt worden. Dieses auf einer Vulkanschwelle im rhenoharzynischen Trog des rheinischen Schiefergebirges platzierte Riffvorkommen (Krebs, 1971) ist durch reichhaltige jungkänozoische Karsterscheinungen schon lange bekannt (Stengel-Rutkowski, 1968), aber das Herbstlabyrinth-Adventhöhlen-System konnte erst im Winter 1993/94 im Verlauf von Steinbrucharbeiten entdeckt werden (Grubert, 1996). Genetisch muss die beprobte Höhle natürlich im Zusammenhang mit der direkt südlich benachbarten Großhöhle Breitscheid-Erdbach gesehen werden (Dorsten et al., 2005), die flachphreatisch angelegt wurde und sich in mehrere Höhlenniveaus gliedern lässt, die nach Kaiser et al. (1998) vier heute im vadosen Bereich liegende Karstniveaus widerspiegeln. Die letztgenannten Autoren konnten 3 Sintergenerationen unterscheiden, aber genaue Altersbestimmungen liegen derzeit nicht vor. Eine Zuordnung der von uns beprobten Sinter zu einer der zuvor erwähnten Sintergenerationen ist nicht möglich, aber für diese Pilotstudie auch nicht notwendig, da es sich beim

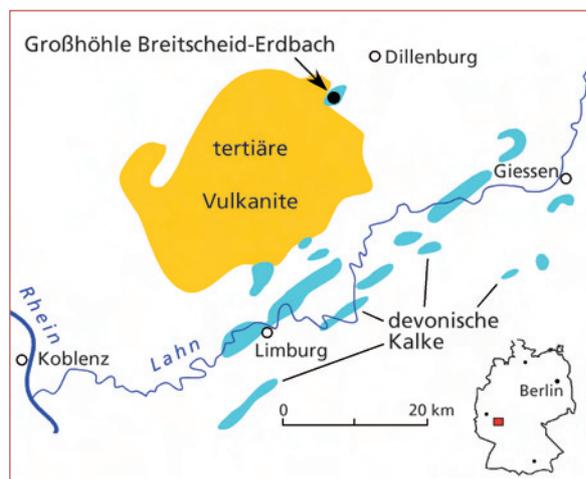


Abb. 1: Lage der Großhöhle Breitscheid-Erdbach am NE-Rand des Westerwaldes.

internen Kristallaufbau der Excentriques um ein allgemein speläologisches Problem handelt. Nach

Röntgendiffraktometeranalysen liegt das Untersuchungsmaterial als rein calcitisch vor.

METHODIK

Von den vermiformen Excentriques (Abb. 2a) sowie den Makkaroni wurden parallel und senkrecht zur Längserstreckung Dünnschliffe mit sehr sorgfältig ausgeführter Politur zur Vermeidung von Zwillingsbildungen in den Calcitkristallen zunächst für durchlichtmikroskopische Untersuchungen angefertigt. Um die kristallographische Orientierung der Calcitfasern zu bestimmen, wurde am Rasterelektronenmikroskop die EBSD-Methode unter Einsatz des Computerprogramms „Channel 5“ (Day & Trimby, 2004) angewandt. Dazu wurden die Oberflächen der polierten Dünnschliffe chemo-mechanisch mit Hilfe von kolloidalem Silikon (OP-A) ca. 15 Minuten lang geätzt, um Oberflächenfehler im Atomarbereich zu entfernen (Massonne & Neuser, 2005). Nach Aufdampfung einer dünnen Kohlenstoffschicht wurde die Probe mit einem Rasterelektronenmikroskop (LEO/Zeiss 1530 Gemini) untersucht, das mit einem EBSD-Zusatz (Nordlys by HKL Technology, Denmark) ausgestattet ist. Die Einstellungen des REM waren: Beschleunigungsspannung 20 keV, Aperturblende

60 µm, Arbeitsabstand 25 mm und Kippwinkel 70°. Die Bochumer EBSD-Ausstattung erlaubt eine Bestimmung der kristallographischen Orientierung von bis zu ca. 500 nm kleinen Kristallen und liefert somit 3D-Informationen über die Struktur der Proben im Mikro- bis Nanometer-Bereich (siehe Day & Trimby, 2004). Um Artefakte zu eliminieren und die Messfehler zu begrenzen, wurden die Proben in einer 1x1 µm Punktmatrix abgerastert. Mit dieser Einstellung konnten in einem ausgewerteten Calcitkristall mindestens 100 Punkte gemessen werden.

Zur Darstellung der Orientierungen wurden die gerasterten Kristalle farbkodiert, wobei gleiche Farben gleiche kristallographische Orientierungen anzeigen. Zusätzlich wurden die Kristallachsen in einem Schmid'schen Netz geplottet. Alle Messungen innerhalb eines Kristalls ergeben die gleiche Orientierung. Die einheitliche Farbe unterstreicht eine mittlere Winkelabweichung $<1^\circ$. Somit ist belegt, dass nanokristalline Beläge oder Verzwilligungen bei unseren Betrachtungen keine Rolle spielen.

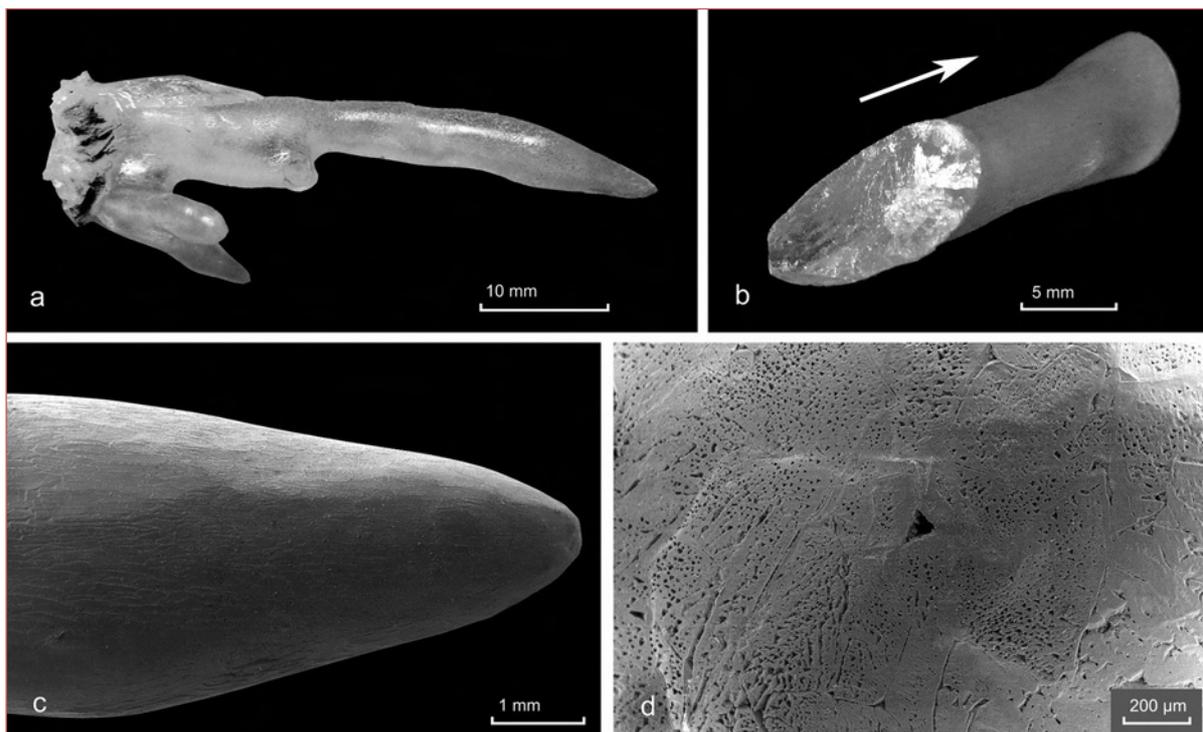


Abb. 2: Wurmformige Excentriques von Breitscheid: a. Makroskopische Ausbildung mit verzweigten Ästen; b. in Wachstumsrichtung (Pfeil) konvex gewölbte Bruchfläche; c. seitliche Ansicht des Spitzenbereichs; d. Vergrößerung des Spitzenbereichs mit dreieckiger Öffnung des Zentralkanals, Blickrichtung auf die Längsachse (c+d: rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen).

ERGEBNISSE

Monokristalline Makkaroni calcitischer Zusammensetzung zeigen die einfachste Strukturierung, indem die c-Achse ($\langle 001 \rangle$ -Achsen) in Längserstreckung der Röhrrchen orientiert ist, während die $\{101\}$ -Flächen in der Poldarstellung die Dreizähligkeit vom Calcit widerspiegeln (Abb. 3). Dagegen erweisen sich etliche Excentriques von Breitscheid durchlichtmikroskopisch unter gekreuzten Polarisatoren als polykristallin, wobei die niedrigen Interferenzfarben (grau und gelb 1. Ordnung bei einer Dünnschliffdicke von 20 μm) der senkrecht zur Speläothemerstreckung angelegten Schnitte auf eine subparallele Orientierung der Calcite zur Längserstreckung der Excentriques hinweisen (Abb. 4 und 5). Dabei deutet die Orientierung der Calcitkristalle eine Dreifelderteilung in den Excentriques an. In Schnitten parallel zur Längserstreckung der Excentriques zeigt sich ein faseriges Calcitgefüge, wobei die Fasern in Wachstumsrichtung divergieren. Die Ausbildung des Faserendes wird durch die Außenform der Excentriques und nicht durch Kristallflächen bestimmt (Abb. 2c+d). Im Bruch ergibt sich eine konvexe Fläche in Wachstumsrichtung (Abb. 2b).

Die bereits erwähnte Dreifelderteilung der Calcitfasern wird durch EBSD präzisiert. In der Mitte der Excentri-

ques verlaufen die c-Achsen nahezu parallel zur Längserstreckung der Speläotheme, während die mehrheitlich größten Winkelabweichungen (bis zu 18°) im mittleren Bereich der drei Felder an der Peripherie auftreten (Abb. 4 und 5). Insgesamt ergibt sich in Wachstumsrichtung der Excentriques eine divergierende Faseranordnung. Innerhalb der drei Felder sind die Grundrhomboederflächen $\{10\cdot11\}$ (entspricht $\{101\}$ a-Achse) in der Poldarstellung ebenfalls systematisch positioniert, wie es sich bei der Betrachtung der jeweils zentralen Bereiche (rot markierte Zonen in Abb. 5a) der Felder ergibt (Abb. 5d). Die außerhalb dieser Zonen gelegenen roten Zonen ergeben kein systematisches Bild. Weiterhin hat sich für die jeweiligen grünen Teilzonen der drei Felder keine systematische Veränderung der Lage der Grundrhomboederflächen der einzelnen Calcitfasern gezeigt, sodass die divergente Ausbildung nur von der Orientierung der c-Achse klar wiedergegeben wird. Geringfügig unterschiedliche Orientierungen der Grundrhomboederflächen ($<15^\circ$, Abb. 5d) in den Teilsegmenten sind jedoch gegeben, was die Ausbildung der Excentriques in einzelne Fasern unterstreicht.

Neben den zuvor beschriebenen divergent faserigen Excentriques konnten in der untersuchten Kollektion

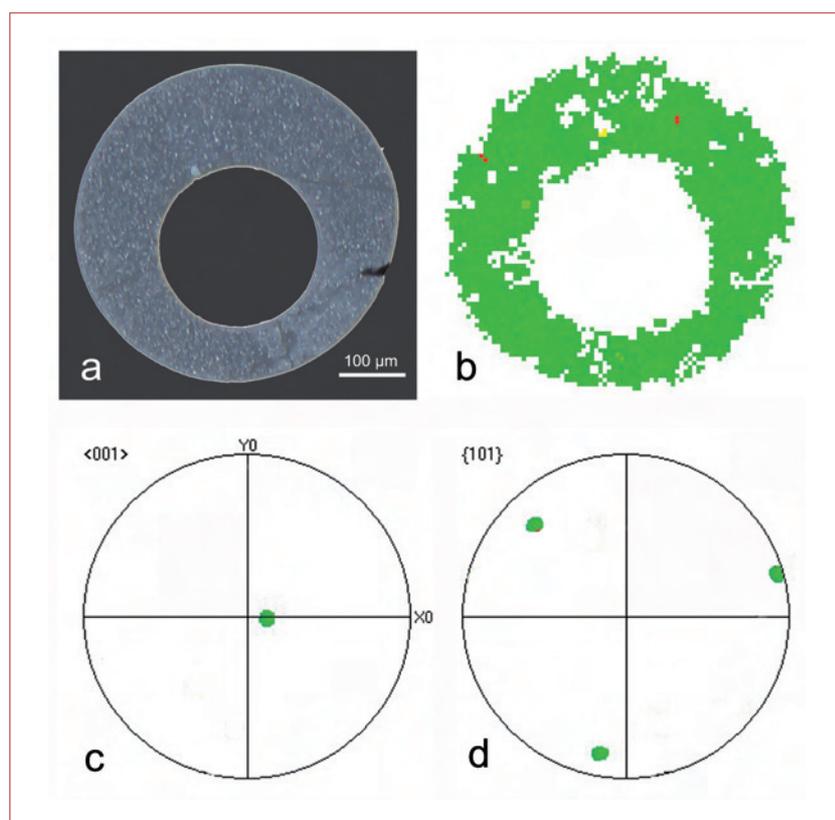


Abb. 3: Calcitausbildung eines monokristallinen Makkaroni-Schnitt senkrecht zur Längserstreckung:
 a. Durchlichtbild mit gekreuzten Nicols
 b. EBSD-Map (Ausschnitt wie a.) – übereinstimmende Orientierungen werden durch die selbe Farbe dokumentiert
 c. EBSD Poldiagramm für den Polpunkt der $\langle 001 \rangle$ -Achsen (c-Achse)
 d. EBSD Poldiagramm für die Polpunkte der $\{101\}$ -Flächen (Schmidt'sches Netz, untere Halbkugel)

Richter, Neuser / Wurmformige Excentriques mit ungewöhnlichem Calcitgefüge

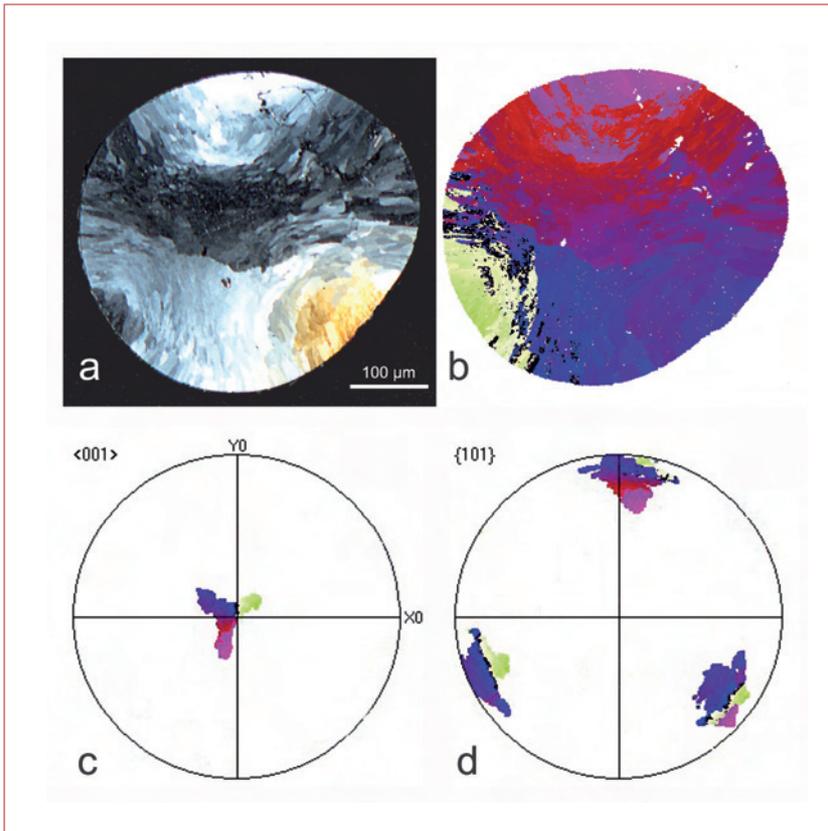


Abb. 4: Excentrique mit Dreifelderteilung der internen Calcitstruktur – Schnitt senkrecht zur Längserstreckung, Blick gegen die Wachstumsrichtung:
 a. Aufnahme mit gekreuzten Nicols (Ausschnitt wie a.)
 b. EBSD-Map – übereinstimmende Orientierungen haben die selbe Farbe
 c. EBSD Poldiagramm für die Polpunkte der $\langle 001 \rangle$ -Achsen (c-Achse)
 d. EBSD Poldiagramm für die Polpunkte der $\{101\}$ -Flächen (Schmidt'sches Netz, untere Halbkugel).

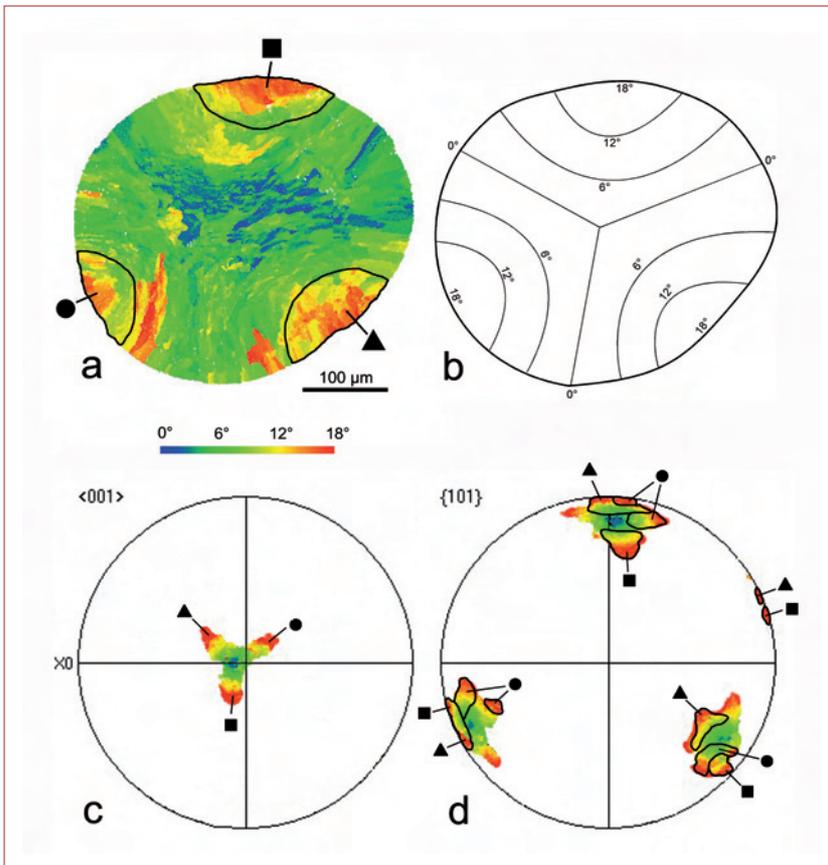


Abb. 5: Excentrique mit Dreifelderteilung der internen Calcitstruktur – Schnitt senkrecht zur Längserstreckung, Blick gegen die Wachstumsrichtung:
 a. EBSD-Map – farbig im Regenspektrum dargestellt sind die Divergenzwinkel der c-Achsen bezogen auf die Wachstumsrichtung;
 ■, ● und ▲ = Sektoren maximaler Divergenz (rot)
 b. schematische Darstellung der drei Felder mit Isolinien der Divergenzwinkel
 c. EBSD Poldiagramm für die Polpunkte der $\langle 001 \rangle$ -Achsen (c-Achse)
 d. Flächenpole der $\{101\}$ -Flächen der Calcite mit maximaler Divergenz; innerhalb eines betrachteten Sektors dreht die c-Achse um bis zu 15° (Schmidt'sches Netz, untere Halbkugel). Farben in c. und d. korrespondieren mit a.

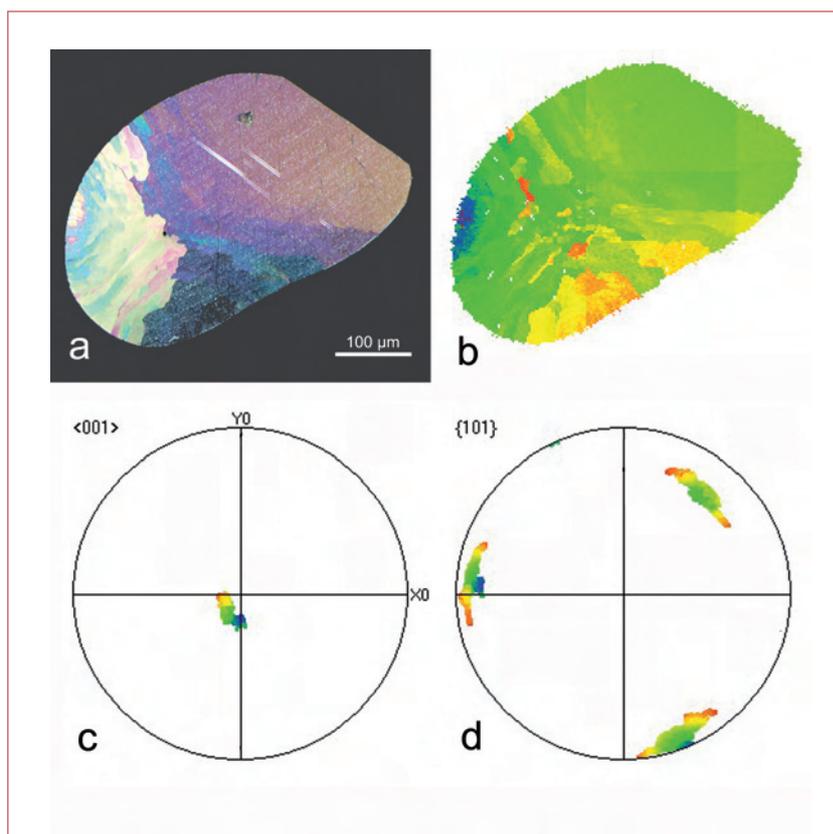


Abb. 6: Excentrique mit nur teilweise ausgebildeter Dreifelderstruktur – Schnitt senkrecht zur Längserstreckung, Blick gegen die Wachstumsrichtung:
 a. Aufnahme mit gekreuzten Nicols (Ausschnitt wie a.)
 b. EBSD-Map – übereinstimmende Orientierungen haben die selbe Farbe
 c. EBSD Poldiagramm für die Polpunkte der <001>-Achsen (c-Achse)
 d. EBSD Poldiagramm für die Polpunkte der {101}-Flächen (Schmidt'sches Netz, untere Halbkugel).

von Breitscheid untergeordnet auch monokristalline Formen beobachtet werden. Ein Kuriosum stellt ein Excentrique mit abgewandelter Dreifelderteilung

dar, der neben zwei Feldern in divergent faseriger Ausbildung ein monokristallines nicht divergentes Feld aufweist (Abb. 6).

DISKUSSION

Die im inzwischen zerstörten Seitengang der Großhöhle Breitscheid-Erdbach entnommenen vermiformen Excentriques weisen häufig einen Faserbau aus, dessen genaues Muster mittels EBSD entschlüsselt werden kann: Die in Wachstumsrichtung divergierend angeordneten leistenförmigen Calcitfasern verteilen sich auf drei Teilsegmente, deren Divergenz zur Peripherie hin zunimmt. Dieses Muster konnte in mehreren Excentriques im jeweiligen adulten Abschnitt nachgewiesen werden. Der Spitzenbereich weist eine parallele bis subparallele Anordnung der Calcitfasern auf, wie sie auch im zentralen Bereich der adulten Abschnitte um den Zentralkanal (Kapillare) herum gegeben ist. Offensichtlich erfolgt das Calcitwachstum nicht nur im Bereich der Spitze der Excentriques, sondern auch im Abschnitt zwischen Spitze und dem Bereich mit „Normaldicke“, was auch durch die von Göbel & Reinboth (1972) dokumentierten – durch Pigmentierung nachgezeichneten – Wachstumszonen zum Ausdruck

kommt. Somit muss es sich zumindest teilweise um eine Calcitausscheidung aus einem Wasserfilm handeln, der unabhängig von der Schwerkraft besteht (nach unten, zur Seite und nach oben gerichtete Excentriques!) und mit Ionen aus dem Zentralkanal und/oder Aerosolen genährt wird. Da die seitliche Oberfläche der Excentriques nicht Kristallflächen widerspiegelt, muss es sich um Calcitausscheidungen aus dünnen Wasserfilmen handeln, wie es für viele Speläotheme – u.a. Stalagmiten und Stalaktiten – typisch ist (u.a. Hammerschmidt et al., 1995). Unsere Interpretation entspricht der von Andrieux (1965) präsentierten erweiterten Kapillartheorie zur Entstehung von Excentriques, wobei der Längenzuwachs der Sinter durch den Kapillarzufuss und das Dickenwachstum durch Oberflächentransport des Wassers bestimmt wird. Eine Calcitbildung aus Biofilmen erscheint uns bei den Excentriques am wahrscheinlichsten, zumal Mikro-

benaktivitäten in Höhlen – auch auf Speläothemen – bekannt sind (diverse Algenarten in der Mammoth-Höhle von Kentucky nach Jones (1965), neben Grün- und Blaugrünalgen auch autotrophe sowie heterotrophe Bakterien in Höhlen von Süd-Wales nach Williams (1965)). Williams (1959) konnte sogar eine Bakterienart aus Mondmilch isolieren, welche in Laborversuchen Karbonat gebildet hat. Insgesamt gibt es Mikrobenarten – besonders Bakterien – in Höhlen als Gesteinslöser und solche, die Minerale ausscheiden können (Culver, 2005).

DANKSAGUNG

Für die Erlaubnis zur Probenbeschaffung im Steinbruch ENE Breitscheid danken wir der Firma Kalksandsteinwerk Medenbach GmbH. Die Aufsammlungen wurden von S. Bißmann, S. Niggemann und D.K. Richter im Beisein des „Höhlenhunds“ Lisa durchge-

Bei der Präsenz von Biofilmen auf Excentriques würden die Mikroben von der Nährstoffzufuhr über den Zentralkanal profitieren und möglicherweise bei der Calcitabscheidung beteiligt sein (siehe umfassende Diskussionen bei Northup et al. 1997). Diese Interpretation wäre auch auf die Genese subaquatischer Excentriques (subaqueous helectites – Hill & Forti, 1997) anwendbar.

Ein offenes Problem bleibt die Dreifelderanordnung in den Excentriques. Wahrscheinlich ist hierfür die trigonale Kristallstruktur des Calcits ausschlaggebend.

LITERATUR

- Andrieux, C. (1965): Morphogenèse des hélicites monocristallines. - Bull.Soc.Franc.Minéral.Cristallogr, 88: 163-171.
- Culver, D.C. (2005): Microbes. - In: Culver, D.C., White, W. B. (eds.): Encyclopedia of Caves. - Elsevier Academic Press: 369-371.
- Day, A. & Trimby, P. (2004) Channel 5. HKL-Technology, Hobro, Denmark.
- Dolley, C.S. (1886): On the helictites of Luray Cave. - Acad.Nat.Sci.Philadelphia Proc.: 351-352.
- Dorsten, I., Hülsmann, T. & Hüser, A. (2005): Das Herbstlabyrinth-Adventhöhlensystem – die erste Riesenhöhle Hessens. - Mitt.Verb.dt. Höhlen- und Karstforsch., 51(1): 4-10.
- Göbel, F. & Reinboth, F. (1972): Excentriques, eine wenig bekannte Form des Calcits. - Der Aufschluss, 23(4): 113-124.
- Grubert, C., (1996): Neuland in Hessen - Mitt.Verb.dt.Höhlen- und Karstforsch., 42(2): 37.
- Hammerschmidt, E., Niggemann, S., Grebe, W. Oelze, R., Brix, M.R. & Richter, D.K. (1995): Höhlen in Iserlohn. - Schriften zur Karst- u. Höhlenkunde in Westf., 1: 1-154.
- Hill, C. & Forti, P. (1997): Cave minerals of the world. - Second edition, National Speleological Society.
- Holz, H.W. (1960): Geologie der Höhlen von Runderoth und Wiel und ihrer Umgebung (Rheinisches Schiefergebirge). - Decheniana, 113(1): 1-38.
- Hülsmann, T. (1996): Die Erforschung des Herbstlabyrinth-Adventhöhle-Systems. - Jahresbericht 1996 d. Speläologischen Arbeitsgemeinschaft Hessen e.V.: 6-22.
- Jones, H.J. (1965): Algological investigations in Mammoth Cave, Kentucky. - Int.J.Speleol., 1: 491-516.
- Kaiser, T.M., Keller, T. & Tanke, W. (1998): Ein neues pleistozänes Wirbeltiervorkommen im Paläokarst Mittel Hessens (Breitscheid – Erdbach, Lahn-Dill-Kreis). - Geol.Jb. Hessen, 126: 71-79.
- Kayser, E. (1907): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preussen – Lieferung 101, Blatt Herborn: 1-72.
- Kempe, S. (1997): Welt voller Geheimnisse – Höhlen. - HB-Bildatlas Sonderausgabe
- Kempe, S. & Spaeth, C. (1977): Eccentrics: Their capillaries and growth rates. - Proceedings of the 7th International Speleological Congress Sheffield, 1977: 259-262.
- Krebs, W. (1966): Der Bau des oberdevonischen Langenau-bach-Breitscheider Riffes und seine Entwicklung im Unterkarbon (Rheinisches Schiefergebirge). - Abh.senkenberg.naturforsch.Ges., 511: 1-105.
- Krebs, W. (1971): Devonian reef limestones in the eastern Rhenish Schiefergebirge. - In: Müller, G., Friedman, G.M. (eds.): Sedimentology of central parts of Central Europe: 45-89.
- Massonne, H.J. & Neuser, R.D. (2005): Ilmenite exsolution in olivine from the serpentinite body at Zöplitz, Saxonian Erzgebirge – microstructural evidence using EBSD. - Min.Mag. 69: 119-124.
- Meiburg, P. (†) (2007): Excentriques (Speläotheme) in Höhlen des Rheinischen Schiefergebirges. - Späleolog. Jahrbuch – Verein für Höhlenkunde in Westfalen 2005(6): 73-90.
- Merrill, G.P. (1894): On the Formation of Stalactites and Gypsum Incrustations in Caves. - Proc.U.S.Nat.Mus., XVII no. 985: 77-81.
- Moore, G.W. (1954): The origin of helictites. - Occasional Paper No1, National Speleological Society, Huntsville/Alabama.
- Neuser, R.D. & Richter, D.K. (2007): Non-marine radiaxial fibrous calcites – examples of speleothems proved by electron backscatter diffraction. - Sedimentary Geology 194: 149-154.
- Northup, D., Reysenbach, A. & Pace, N. (1997): Microorganisms and speleothems. - In: Hill, C., Forti, P. (1997):

- Cave minerals of the world. - Second edition, National Speleological Society: 261-266.
- Onac, B.P. (1996): Mineralogy of speleothems from caves in the P durea Craiului Mountains and their paleoclimatic significance. - Unpubl. PhD thesis, Babes-Bolyai Univ. Cluj.
- Richter, D.K., Immenhauser, A. & Neuser, R.D. (2007): Electron Backscatter Diffraction (EBSD) documents randomly oriented c-axes in Moonmilk calcite fibres – evidence for biologically induced precipitation. - *Sedimentology* (im Druck).
- Stengel-Rutkowski, W. (1968): Karsterscheinungen im oberdevonischen Riffkalkstein (Iberger Kalk) von Erdbach und Breitscheid (Dillmulde, Rheinisches Schiefergebirge). - *Mitt.Verb.dt.Höhlen- und Karstforsch.*, 14(3): 75-80.
- Williams, A.M. (1959): The formation and deposition of moonmilk. - *Trans. Cave Res.Group G.B.*, 5: 133-138.
- Williams, A.M. (1965): Further investigations into bacterial and algal populations of caves in south Wales. - *Int.J.Speleol.*, 2: 389-395.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Die Höhle](#)

Jahr/Year: 2007

Band/Volume: [058](#)

Autor(en)/Author(s): Richter Detlef K., Neuser Rolf D.

Artikel/Article: [Wurmförmige Excentriques mit ungewöhnlichem Calcitgefüge - Untersuchungen mit der Elektronen-Rückstreu-Beugungs-Methode ? 12-19](#)