

Die Karsthöhlen Beret-Stufen (Därstetten, Berner Oberland) und ihre Calcite

Philipp Häuselmann & Beda A. Hofmann

ABSTRACT

Contrib. Nat. Hist. 3: 1–14.

Two associated karst caves, located 3 km W of the Stockhorn in the Bernese Oberland have been investigated and mapped. Three types of sediment are present: big (up to 20 cm) calcite scalenohedrons, clay, and a partly unsorted murgang sediment. This last type was squeezed into the cave from the exterior, whereas the other sediments are endogenous. Fluid inclusion studies of the calcites show that they were deposited in a moderately thermal environment of max. 60–70°C. The oxygen isotopic composition of calcite is relatively close to that calculated for calcite in equilibrium with water from the nearby (2 km in the SW) thermal Weissenburg springs (27°C). The caves are interpreted as fossil exutories of the Weissenburg spring system.

ZUSAMMENFASSUNG

Zwei assoziierte Karsthöhlen mit bedeutenden Calcitkristallisationen, 3 km westlich des Stockhorns im Berner Oberland gelegen, wurden untersucht. Ein Höhlenplan wurde aufgenommen und die Sedimente wurden beprobt. Drei Sedimenttypen sind vorhanden: grosse Calcitskalenoeder, Lehm und ein Murgangsediment. Letzteres ist von aussen in die Höhle eingedrungen, während die beiden anderen Sedimente endogen sind. Das Studium der Flüssigkeitseinschlüsse der Calcite zeigte, dass sie in leicht hydrothermale Umfeld (max. 60–70°C) abgelagert wurden. Sauerstoffisotopenwerte von Calcit liegen nahe den Gleichgewichtswerten für das Wasser der nahegelegenen (2 km im SW) Thermalquellen von Weissenburg (27°C). Die Höhlen werden als fossile Austrittsstellen des Thermalsystems von Weissenburg gedeutet.

Keywords: Calcite, Bernese Oberland, Karst, cave, hydrothermal, Weissenburg spring

Einleitung

Die Karsthöhlen Beret-Stufen (im Folgenden “Kristallhöhlen” genannt) wurden dem Naturhistorischen Museum sowie der Höhlenforschung durch eine Meldung des Naturschutzinspektorates Bern bekannt. Der Strahler Peter Gasser (Hofstetten) hatte die sich in der Höhle befindlichen Calcitkristalle abgebaut (Fig. 1). Die Gemeindebehörden und das Naturschutzinspektorat des Kantons Bern klärten eine allfällige Unterschutzstellung ab. In der Folge wurde von einer kantonalen Unterschutzstellung abgesehen. Der Strahler konnte die bereits abgebauten Stufen noch bergen, ein weitergehender Abbau wurde jedoch gestoppt. Anlässlich mehrerer Begehungen, z.T. gemeinsam mit dem Naturschutzinspektorat (F. Leiser), konnten wir ein beachtliches wissenschaftliches Potential dieser Höhle feststellen. Der folgende Artikel beschreibt die Höhle sowie ihre Sedimente und interpretiert anschliessend die Untersuchungsergebnisse.



Fig. 1: Die grösste von P. Gasser in der Kristallhöhle Beret-Stufen geborgene Calcitstufe. Sie ist heute im Gang ab der Mittelstation Stockhornbahn oberhalb des Hinterstockensees ausgestellt. Breite der Stufe ca. 1 m. Foto: P. Klopfenstein, Adelboden.

Grosse Calcite in Karsthöhlen sind vergleichsweise selten. Meist trifft man entweder Kluftfüllungen, die nachträglich von der Höhle angeschnitten wurden, oder aber rekristallisierten normalen Höhlensinter an. Deren Grösse und Morphologie erlaubt aber in aller Regel eine Unterscheidung von hohlraumauskleidenden Calciten, wie sie in der hier beschriebenen Kristallhöhle Beret-Stu-

fen vorkommen (Hill & Forti 1997, p.101 ff; Dublyansky 1997). Weitere Vorkommen, die ebenfalls hydrothermal entstanden sind, finden sich bislang nur in der Muttseehöhle (GL, Weidmann & al. 1994) und in der Kristalhöhle Kobelwald (SG). Calcitfunde aus dem Gebiet Stockhorn-Gantrisch sind schon seit langer Zeit bekannt. Im Bestand des Naturhistorischen Museums der Burgergemeinde Bern befinden sich ähnliche Calcitproben, die einen stammen aus der Nünenenflue östlich des Gantrisch (NMBE-Nummern 2408, 4913, 6258, Fund um 1900), eine andere aus der alten Fassung der Thermalquelle Weissenburg (NMBE-Nr. 7410, Fund 19. Jh. oder früher).

Methodik

Die Höhlen wurden mit Messband, Kompass und Neigungsmesser vermessen. Gleichzeitig wurde eine Skizze der Morphologie in Grund- und Seitenriss angefertigt. Die Daten wurden im Computer weiterverarbeitet, die Skizzen im Massstab 1:200 reingezeichnet und der Plan schliesslich mit Tusche übertragen.

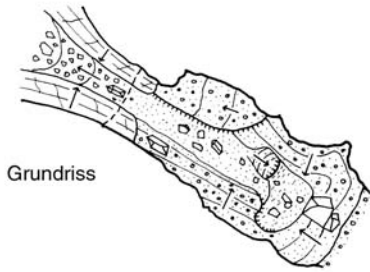
Die tonmineralogischen Untersuchungen der Fraktion $<2 \mu\text{m}$ erfolgten mittels Röntgendiffraktion und die Karbonatbestimmung nach dem coulometrischen Verfahren (automatische Titration des beim Erhitzen freigesetzten CO_2). Die Analyse der Flüssigkeitseinschlüsse in den Calciten wurde mittels eines Linkam TS MG 600-Heiztisches vorgenommen. Stabile Isotope an Calcit wurden am Institut für Geologie der Uni Bern mittels eines automatisierten VG Prism ratio Massenspektrometers gemessen (Reproduzierbarkeit an Standards 0.08 ‰).

Lage der Höhle und geologische Situation

Die Kristalhöhlen befinden sich im Buuschetal, einem linken Seitental des Simmentals BE, am oberen Ende der Weissenburgschlucht, die durch den Buuschebach gebildet wird, ca. 500 m NE des Weilers Vorder Beret und 3.3 km W des Stockhorngipfels. Von der ersten, oberen Höhle aus kann man ca. 30 m dem Bachbett abwärts folgen, die zweite, untere Höhle öffnet sich auf der östlichen Seite des Baches (Koordinaten siehe Fig. 2).

Die Höhlen befinden sich in den hier intensiv verfalteten penninischen Decken (Beck & Gerber 1923) und öffnen sich an der Grenze zwischen der Calcaire plaqueté-Formation (Neokom, Kreide) und der Massivkalk-Formation (Malm), am Rande der Spätberglisynklinale. Ungefähr 2 km im Südwesten befinden sich die Thermalquellen Weissenburg (Baghdadi 1951; Schmassmann in Högl 1980; Vuataz 1982) am Grunde der Buuscheschlucht.

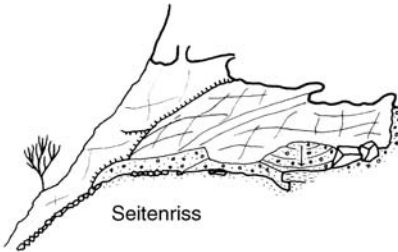
Kristallhöhle Beret-Stufen I



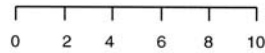
Grundriss



Gemeinde: Därstetten
Koordinaten: 604'200 / 171'000
Höhe: 1190 m ü.M.
Länge: 11 m
Tiefe: ± 0 m
Vermessung: 29.5.1997 bh fl ph
BCRA: 3C
Massstab: 1 : 200



Seitenriss



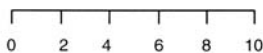
Schweiz. Ges. für Höhlenforschung Sektion Bern, 23.6.1997 -- präzis

Kristallhöhle Beret-Stufen II

Gemeinde: Därstetten
Koordinaten: 604'175 / 170'885
Höhe: 1175 m ü.M.
Länge: 12 m
Tiefe: + 3 m
Vermessung: 2.6.2001 WS PH
BCRA: 4C
Massstab: 1 : 200



Grundriss



Seitenriss

Schweiz. Ges. für Höhlenforschung Sektion Bern, 15.10.2001 -- präzis

Fig. 2: Die Pläne der beiden Höhlen. Die erste Calcitlage ist zu dünn, um im Massstab sichtbar zu sein, die zweite Lage ist durch horizontale Striche charakterisiert. Punkte stellen Lehm und Sand dar, eine Linie mit senkrechten Strichen einen Absatz.

Höhlenbeschreibung

Der grosse Eingang der oberen Höhle leitet direkt in den Gang über. Dieser weist auf der gesamten Länge (siehe auch die Pläne, Fig. 2) Calcitkristalle auf. Der Gang weist gerundete Formen auf, was eindeutig auf eine karstische Entstehung der Höhle im phreatischen (unter Wasser befindlichen) Bereich zurückzuführen ist. Ein weiteres Merkmal der Höhle sind die grossen Sedimentmassen, vor allem Lehm, aber auch an der Basis unsortierte grobklastische Ablagerungen sind vorhanden. Diese Sedimente erfüllen denn auch bereits nach 10 m die Fortsetzung des sich zweifellos weiterziehenden Ganges.

Die untere Höhle ist wesentlich kleinräumiger; nur an zwei Orten kann man stehen. Der niedrige Eingang leitet zu einer aufwärts führenden Kletterstufe über, an deren oberen Ende eine engere Stelle sowie eine anschliessende Kletterei gegen unten zu einem Siphon führt, der zeitweise trockenfallen kann. Die gesamte Höhle ist ebenfalls von phreatischer Entstehung. Detritische Sedimente sind wenig vorhanden, am Eingang Frostbruchschutt, beim Siphon Geröll. Dafür fallen die vor allem im ersten Raum vorhandenen Calcitlager auf.

Beschreibung der Sedimente

Die Calcite der unteren Höhle beziehen die Wände des ersten Raumes fast vollständig. Es handelt sich um parallel angeordnete Skalenoeder, deren Spitze durch spätere Erosion weggeschliffen wurden. Die Dicke des Überzuges beträgt ca. 6 cm. Daraus lässt sich eine einfache Chronologie ableiten: Nach der phreatischen Entstehung des Hohlraumes schieden sich unter Wasser die Calcite aus. Diese wurden in einer späteren, erneut phreatischen Phase erosiv nivelliert.

In der oberen Höhle ist die Situation wesentlich komplizierter (Fig. 3). Auch hier beziehen bis zu 10 cm dicke Calcitlager die Wände der Höhle. Diese wurden ebenfalls erodiert, aber dann teilweise durch rötlichen Lehm überdeckt. In und auf diesem Lehm wuchs dann eine nächste, bis zu 20 cm dicke Schicht von grossen, parallel angeordneten Skalenoedern, die ihre Spitzen noch behalten haben (Figs. 4–6). Die Spitzen werden von einer weiteren, weisslichen Lehmschicht überdeckt, welche abgelöst wird vom grobklastischen Sediment. Dieses weist diverse kantengerundete Gerölle mit bis 40 cm Durchmesser (typisch 3–10 cm) auf, die vor allem aus Kalken bestehen. Ab und zu kommen auch abgebrochene Calcitskalenoeder vor. Die Bruchstücke und Gerölle schwimmen in einer unsortierten, gräulichen Matrix. Gegen oben wird das klastische Sediment zusehends feinkörniger (Feinkies mit einer wenige cm mächtigen Silt-

Tonlage. Darüber folgen nochmals Feinkies und, unmittelbar unter dem First der Höhle, rund 10 cm Silt-Ton (Fig. 7). Die Mächtigkeit dieser klastischen Sedimente beträgt im hinteren Teil der Höhle mindestens 3 m (Basis nicht abgeschlossen). Durch die intensive Tätigkeit der Strahler ist die Stratigraphie im vorderen Teil der Höhle so gestört, dass eine genaue Klärung der Verhältnisse im Übergang von Calcit zu klastischem Sediment die Entfernung von einigen Kubikmetern Schutt bedingen würde.

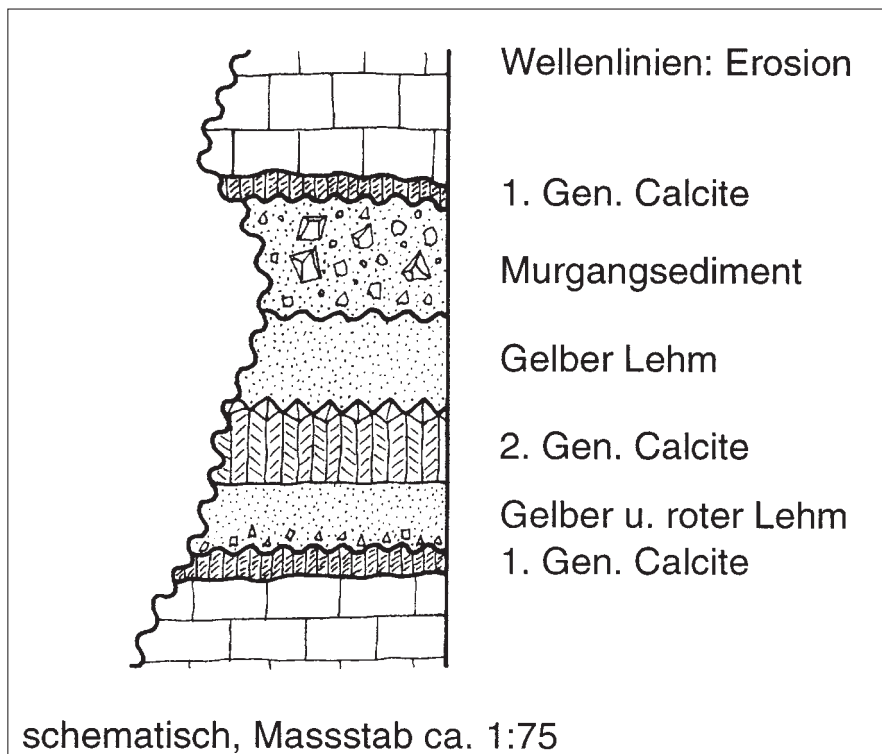


Fig. 3: Synthetisches sedimentär-chronologisches Profil durch die Höhle. Wellenlinien bezeichnen Erosionsflächen oder Schichtlücken. Die letzte Wellenlinie links bezieht sich auf die Eintiefung des Bueschebachs.

Sedimentanalysen

Um Aufschluss über die Art des Sedimentes und dessen Ablagerung zu gewinnen, wurden vier Arten von Analysen durchgeführt: 1) Petrographie und Morphologie der Gerölle des grobklastischen Sedimentes; 2) Mineralogie und Karbonatgehalt der verschiedenen Tone; 3) Mikrothermometrische Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen in Calcit; 4) Messung der Verhältnisse stabiler Isotope (C, O) an Calcit.



Fig. 4: Palisadenförmige Calcitlage der 2. Generation über rotem Lehm.



Fig. 5: Anpoliertes Bruchstück der 2. Generation Calcite. Höhe 9.5 cm. Foto: P. Vollenweider.



Fig. 6: Palisadencalcite der 2. Generation. Höhe 21 cm. Foto: P. Vollenweider.

Die Gerölle zeigen eine sehr heterogene Sortierung. Sie bestehen fast alle aus verschiedenen Kalken und Mergelkalken des Penninikums, untergeordnet finden sich auch Bruchstücke des Höhlencalcits. Die Rundung der Gerölle ist zumeist schwach bis kaum vorhanden, eine charakteristische Morphologie kann nicht ausgemacht werden.

Der Karbonatgehalt des einbettenden Lehm (‐Murlehm‐) beträgt 71 %, ein Wert, der auch in übersättigtem Höhlenmilieu nicht erreicht werden kann (da der Calcit sodann als Sinter und nicht als Feinfraktion ausfallen würde) und somit von einem höhlenfremden Milieu zeugt (Tabelle 1). Hohe Karbonatgehalte werden generell mit glazialem Milieu in Verbindung gebracht, da dort die mechanische Erosion gegenüber der chemischen Korrosion im Allgemeinen überwiegt (Groner 1985, Audra 1994). Der Karbonatgehalt des roten und gelben Lehm bewegt sich um 24 % und liegt im Rahmen eines Höhlensedimentes.



Fig. 7: Oberer Teil der grobklastischen Sedimente im hintersten Teil der Höhle. Eine Silt-Tonlage wird durch zuerst feinen, dann gröber werdenden Kies mit grossen Geröllen im Top überlagert, zuoberst unter dem Höhlendach Sand-Silt. Foto: B.A. Hofmann.

	Gelber Lehm	Roter Lehm	Murlehm
Karbonatgehalt (% CaCO ₃)	23	24	71
Smektit	2	4	16
Chlorit	22	12	0
Illit	76	76	76
Kaolinit	0	8	8

Tonmineralogie der Fraktion <2 mm

Tabelle 1: Karbonatgehalte und Tonmineralogie

Die Tonmineralogie zeigte eine starke Smektit- und Illitpräsenz im Murganglehm, während Chlorit völlig fehlt. Dies unterscheidet sich von den beiden anderen Lehmen, die beide relativ viel Chlorit, aber kaum Smektit aufwiesen. Unterschiede zu anderen Höhlenlehmanalysen finden sich hauptsächlich im Smektitgehalt. Smektite bilden sich vonehmlich im alkalischen, Ca- und Mg-reichen Verwitterungsmilieu (Pochon 1978).

Die Analyse der Flüssigkeitseinschlüsse zeigte folgende Resultate: Die Unterscheidung von primären und sekundären Einschlüssen war kaum möglich, da die Calcite viele disperse Einschlüsse aufwiesen und weder Form noch Grösse Aufschluss über die Entstehungsart gaben. Die Form ist irregulär, meist entlang der Spaltbarkeit, die Grösse ist sehr unterschiedlich; die gemessenen Einschlüsse sind um 15 μm gross (Fig. 8).

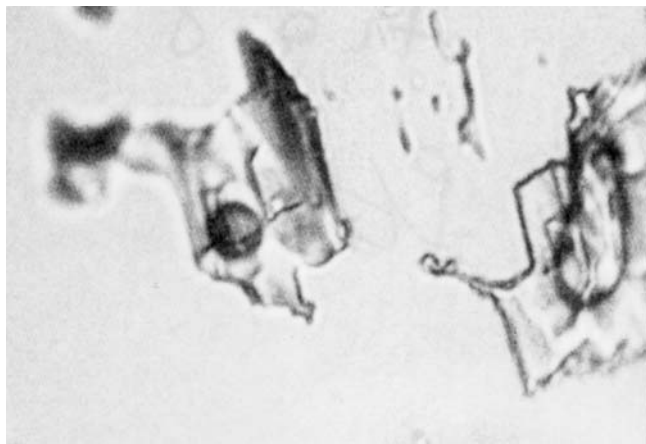


Fig. 8: Dickschliffaufnahme eines Flüssigkeitseinschlusses in Calcit. Bildbreite 0.1 mm. Foto: Ph. Häuselmann.

Nur die grösseren Einschlüsse wiesen Blasen auf, welche das Messen von Homogenisationstemperaturen erlaubten. Die Blasen belegten in der Regel 8–10 % des Einschlussvolumens.

Die Messungen der Schmelztemperatur des Eises ergaben keine Salinität der Einschlüsse: die Temperatur war immer gleich (resp. bei Verzögerung sogar über) 0 °C. Die niedrige Salinität deutet auf eine normal meteorische Herkunft des Wassers hin. Die Messung der Einschlusstemperatur gestaltete sich äusserst schwierig, da die Einschlüsse nach der Messung meistens gestreckt waren und deshalb die erhaltene Temperatur nur als absolutes Maximum aufzufassen ist. Ein einziger der wenigen sinnvoll messbaren Einschlüsse zeigte eine reproduzierbare maximale Homogenisierungstemperatur von 87 °C. Dies, zusammen mit der Tatsache, dass die meisten Einschlüsse überhaupt keine Blase aufweisen, deutet darauf hin, dass die meisten Blasen bereits während des Dünnschliff-Fertigungsprozesses gestreckt wurden. Aus diesem Grunde müssen wir annehmen, dass die genannten 87 °C eine absolute Obergrenze der Wassertemperatur gewesen sein müssen, und dass diese wohl viel eher unterhalb 60–70 °C gelegen hat.

Daten für die C- und O-Isotopenzusammensetzung eines ca. 20 cm mächtigen Profils durch einen Palisadencalcit (Fig. 6) sind in Tabelle 2 wiedergegeben. Der Schwankungsbereich des Kohlenstoffisotopenverhältnisses ($\delta^{13}\text{C}$, in

‰ rel. Standard PDB) liegt zwischen -0.87 und 0.44 (Mittelwert -0.13), für Sauerstoff liegt der Wert ($\delta^{18}\text{O}$, in ‰ rel. Standard VSMOW) zwischen 13.32 und 14.01 (Mittelwert 13.66). Die Isotopenzusammensetzung des Calcites kann damit als äusserst homogen bezeichnet werden. Basierend auf den von Vuataz (1982) angegebenen Werten für die Thermalquellen von Weissenburg ($T=27\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O} -11.61, -11.95$, Mittel -11.78 ‰) und der Calcit-Wasser-Fraktionierung von Kim & O'Neil (1997) ergibt sich für Calcit im Gleichgewicht mit den Quellen von Weissenburg ein $\delta^{18}\text{O}$ von 15.85 ‰, lediglich 2.2 ‰ schwerer als das Mittel der gemessenen Werte. Unter Annahme einer konstanten Wasserzusammensetzung ergibt sich für die Calcite von Beret-Stufen eine Bildungstemperatur von $38\text{ }^{\circ}\text{C}$. Bei der maximalen Bildungstemperatur von $87\text{ }^{\circ}\text{C}$ (anhand der Fluideinschlüsse) hätte das Wasser einen $\delta^{18}\text{O}$ -Wert von -4 ‰ gehabt, was auf wesentlich wärmere Infiltrationsbedingungen schliessen liesse. Die C-Isotopenwerte lassen sich durch Umlagerung von Karbonat aus marinen Karbonaten erklären, ein wesentlicher Beitrag von isotopisch leichtem CO_2 aus einem Bodenhorizont ist nicht vorhanden.

Probe	cm*	Calcit-Typ	$\delta^{13}\text{C}$ (‰ rel. PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰ rel. VSMOW)
BS1	2.5	feinkörnig	-0.31	13.79
BS2	3	grobkörnig	-0.64	13.79
BS3	6	grobkörnig	0.19	13.45
BS4	9	grobkörnig	0.41	14.01
BS5	15	grobkörnig	-0.87	13.32
BS6	ca. 20	grobkörnig	0.44	13.58
Mittelwert			-0.13	13.66
Standardabweichung			0.56	0.25

* in cm über Basis der Abfolge, vgl. Fig. 6.

Tabelle 2: C- und O- Isotopendaten für Calcit

Interpretation

Die chronologische Abfolge der Höhlensedimente (Fig. 3) lässt sich wie folgt deuten: Nach der Hohlraumschaffung, der Ablagerung der ersten Calcitlage und deren Erosion (vergleichbar mit der Abfolge der unteren Höhle) erfolgt eine

Ablagerung von rötlichem Lehm. Dieser muss aus Wasser abgesetzt worden sein, was voraussetzt, dass kaum Strömung vorhanden war. Während dieser Lehmaglagerungen und danach erfolgt die zweite Calcitablagerung, ebenfalls unter phreatischen Bedingungen, wie das Vorhandensein der Calcite an der Decke bezeugt. Diese zweite Calcitlage ist wesentlich mächtiger als die erste und ist auf dem Höhlenplan (Fig. 2) als Bodensinter eingezeichnet. Die darauf folgende gelbliche Lehmschicht, die stellenweise verfestigt ist, deutet wiederum auf Absetzung aus stehendem Wasser.

Sowohl der rotgefärbte Lehm wie auch die mächtigen Palisaden von Calcitkristallen könnten auf eine hydrothermale Ablagerung hindeuten (Dublyansky 2000). Diese Möglichkeit ist umso mehr gegeben, als in relativer Nähe die ebenfalls thermalen (27 °C) Weissenburger Quellen ans Tageslicht treten.

Die nachfolgende Ablagerung des grobklastischen Sedimentes ist die jüngste Bildung in der Höhle. Granulometrie und Füllung lassen auf ein Einbringen der Hauptmasse dieses Sedimentes ohne wesentliche Wassersortierung schliessen. Der obere Teil des Sedimentes zeigt jedoch deutliche Sortierung, ein Resultat der Ablagerung in fliessendem Wasser. Basierend auf der Geröllanalyse des grobklastischen Sedimentes sowie dem Karbonatgehalt der Feinfraktion deuten wir diese Ablagerung als Produkt eines Murgangs, der nicht mit der Höhlenentstehung s.str. zu tun hat. Eine Glazialablagerung kann aufgrund der klassischen V-Talform mit anschliessend ausgeformtem Canyon ausgeschlossen werden. Dieses jüngste Sediment plombiert die Höhle fast vollständig. Der Murgang kann sowohl von vorne, durch den heutigen Eingang, aber auch von hinten durch einen Kamin, geschüttet worden sein; es wurden keine Fließrichtungsanzeichen gefunden. Anschliessend an den Murgang fand kurzzeitig Materialtransport in fliessendem Wasser statt.

Die Lehme und Calcite sind endogene Höhlensedimente (der Lehm könnte die unlöslichen Anteile des Kalkes repräsentieren), während das grobklastische Sediment von aussen her in die Höhle gekommen sein muss. Die endogenen Sedimente wurden auf alle Fälle abgelagert, bevor sich der Buuschebach bis auf das Höhlenniveau eingeschnitten hat, da stehendes Wasser nötig war. Das grobklastische Sediment ist allochthoner Entstehung und wurde wohl erst danach eingefüllt. Deshalb findet sich zwischen den beiden Sedimenten eine bedeutende Schichtlücke. Die Eintiefung des Buuschebaches schliesslich legte die Höhle frei und wusch die vorhandenen Sedimente auf 10 m Länge aus.

Die Resultate der Analyse von Flüssigkeitseinschlüssen im Calcit zeigen eine schwach hydrothermale Bildung der Calcite an. Zusammen mit den Sauerstoffisotopenwerten ergibt sich eine wahrscheinliche Bildungstemperatur zwischen 35 und 87 °C aus einem Wasser mit $\delta^{18}\text{O}$ zwischen -11 und -4 ‰ (VSMOW). Die hydrothermale Phase ist assoziiert mit roten und gelben Leh-

men, die in unterschiedlichen Zeiträumen wie die Calcitausscheidung, während einer kurzen Zeit auch gleichzeitig, aus kaum fliessendem Wasser abgesetzt wurden. Die hydrothermalen Lösungen sind sehr wahrscheinlich auch für die Bildung des Hohlraumes zumindest in Ansätzen verantwortlich.

Die untere Höhle gehört zum selben Hydrothermalkomplex, zeigt aber bedeutend kleinere Raumformen und keine Lehm- und Murganghinterfüllung. Auch wurde diese Höhle nicht durch den heutigen Bach, sondern durch ein Höhlengewässer ausgewaschen.

Über die Gründe der Calcitablagerung nach einer karstischen Kalklösungsphase kann nur spekuliert werden. In kalten Karsthöhlen ist eine Calcit ausfällung nur durch Übersättigung des Wassers wegen Kohlendioxidaustausches mit der Luft erklärbar. In Hydrothermalhöhlen, zumal im phreatischen (geschlossenen) Bereich, fehlt die Luft. Deshalb müssen Änderungen von pH, Temperatur oder des Wasserchemismus für die Calcitfällung verantwortlich sein. Während eine Änderung des pH im Kalkmilieu eher unwahrscheinlich erscheint, ist eine Veränderung der Wasserchemie eher vorstellbar. Gemäss Vuataz (1982) fliessen die Weissenburgwässer durch sulfatische Trias und erreichen dann via Massivkalke (unter Aufnahme von Calcium, untergeordnet Magnesium und Karbonat) die Oberfläche. Die chemische Änderung dürfte zwar sehr gering sein, jedoch könnten z.B. common-ion-Effekte zu einer Übersättigung von Calcit führen. Den weitaus grössten Einfluss dürften jedoch Temperaturänderungen haben. Da die Löslichkeit von Calcit bei konstantem $p\text{CO}_2$ mit zunehmender Temperatur abnimmt, und bei konstanter Temperatur bei abnehmendem $p\text{CO}_2$ abnimmt, können sowohl Erwärmung wie Druckabnahme zur Calcit ausfällung führen. Das Auftreten ähnlicher Calcitkristalle im Bereich der Quellen von Weissenburg könnte darauf hindeuten, dass Druckentlastung nahe eines Quellaustrittes, evtl. verbunden mit einer Entgasung, für die Calcit ausfällung verantwortlich ist.

Aufgrund der Position in der Nähe der heutigen Quellen von Weissenburg vermuten wir, dass die Kristallhöhlen Beret-Stufen einen alten Austritt der Weissenburger Thermalwässer darstellen. Diese Annahme wird durch das Auftreten völlig gleichartiger Calcite in den Weissenburger Quellaustritten sowie durch die isotopische Verwandtschaft der Thermalwässer mit den Calciten unterstützt.

Verdankungen

Felix Leiser (Naturschutzinspektorat des Kantons Bern) und Werner Siegrist (Schweiz. Gesellschaft für Höhlenforschung, Sektion Bern) halfen bei der Vermessung der Höhle. Dem Institut für Geologie (IfG) der Universität Bern danken

wir für die Unterstützung, insbesondere die Möglichkeit der Benutzung verschiedener Geräte (Röntgendiffraktometer, Flüssigkeitseinschluss-Apparatur). Heidi Haas vom IfG danken wir für die Messung der Karbonatgehalte sowie der stabilen Isotope. Vreni Jakob (IfG) fertigte die Schliffe und Polituren an, und Peter Vollenweider (NMBE) fotografierte die Calcitproben. Herrn Peter Gasser danken wir für Informationen über die Fundgeschichte. Ein Review durch Andreas Wildberger führte zu zahlreichen Verbesserungen im Text.

Literatur

- Audra, Ph. (1994): Karsts alpins. Genèse de grand réseaux souterrains. — *Karstologia mémoires* 5: 1–279.
- Baghdadi, A.I. (1951): Untersuchungen an Mineralquellen des Berner Oberlandes und des Wallis. — 47 pp., Diss. Univ. Bern, Verlag Paul Haupt, Bern.
- Beck, P. & Gerber, M. (1923): Geologische Karte der Stockhornkette. — Geologische Spezialkarten der Schweiz.
- Dublyansky, Y.V. (1997): Hydrothermal cave minerals. — In: Hill, C. & Forti, P. (eds), *Cave minerals of the world*, pp. 252–255, NSS, Huntsville, Alabama.
- Dublyansky, Y.V. (2000): Hydrothermal speleogenesis – its setting and peculiar features. — In: Klimchouk, A.B., Ford, D.C., Palmer, A.N. & Dreybrodt, W. (eds), *Speleogenesis: Evolution of karst aquifers*, pp. 292–297, NSS, Huntsville, Alabama.
- Groner, U. (1985): Palynologie der Karsthöhlensedimente im Hölloch, Zentralschweiz. — 172 pp., Diss. Universität Zürich.
- Hill, C. & Forti, P. (1997): *Cave minerals of the world*. — 463 pp., NSS, Huntsville, Alabama.
- Högl, O. (1980): *Die Mineral- und Heilquellen der Schweiz*. — 302 pp., Verlag Paul Haupt, Bern und Stuttgart.
- Kim, S.-T. & O'Neil, J.R. (1997): Equilibrium and nonequilibrium oxygen isotope effects in synthetic carbonates. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61: 3461–3475.
- Pochon, M. (1978): Origine et évolution des sols du Haut-Jura suisse: phénomènes d'altération des roches calcaires sous climat tempéré humide. — *Mémoires de la Société helvétique des Sciences naturelles* 90: 1–190.
- Vuataz, F.-D. (1982): Hydrogéologie, géochimie et géothermie des eaux thermales de Suisse et des régions limitrophes. — *Matériaux pour la géologie de la Suisse – Hydrologie* 29: 1–174.
- Weidmann, Y., Preiswerk, Ch. & Preiswerk, T. (1994): Die Mutseehöhle, oder –1060 Meter im Authochthon der Glarner Alpen. — *Stalactite* 44 (2): 83–99.

Adressen der Autoren:

Dr. Philipp Häuselmann, Dr. Beda A. Hofmann, Naturhistorisches Museum der Burgergemeinde Bern, Bernastrasse 15, CH–3005 Bern, Schweiz.

Email: beda.hofmann@nmbe.unibe.ch

