

## Minerale und Speläotheme im Blauhöhlsystem (Kat.-Nr. 7524/30, Schwäbische Alb)

von

MICHAEL SCHOPPER

**Zusammenfassung**

Eine im Juli 2010 erstmalige Befahrung des Stairway to Heaven durch den Verfasser erschloss eine für die Schwäbische Alb bisher nicht gekannte Vielfalt an Speläothemen, Mineralen und Kleinformen. Weiterführende systematische Forschungen zur Bestimmung und Dokumentation der Mineralien erschienen sinnvoll. Da Minerale im Blauhöhlsystem selten in sichtbarer Kristallform auftreten, sind zur eindeutigen Bestimmung chemische Analysemethoden erforderlich. Mit Hilfe des Landesamts für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) in Freiburg, das uns bei den Analysen unterstützte, konnte das Projekt im August 2010 starten. Projektziel ist eine systematische Dokumentation und Analyse aller im Blauhöhlsystem vorkommenden Minerale. Eine entsprechende Dokumentation erfolgt in erster Linie fotografisch. Fotos sowie Fundorte werden zusammen mit den Analyseergebnissen mittels GIS auf Basis des Höhlenplanes katalogisiert. Fundstellen von Kleinformen werden sowohl im Koordinatensystem des Höhlenplanes als auch mit Umgebungsfotos erfasst, was die einfache Wiederauffindbarkeit sicherstellt.

**Abstract**

In July 2010, the author entered the Blau Cave system through the new entrance for the first time. The part of the cave called Stairway to Heaven showed an unknown variety of speleothems and cave minerals for the Swabian Jura. More detailed systematical research to identify and document the cave minerals seemed to be necessary. As the minerals of the Blau Cave system only seldom appear in their crystal form, chemical analyses had to be carried out for clear identification. With the help of the Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) in Freiburg, which provided the analytic laboratory, we start the project in August 2010. Goal is to make a systematical documentation and analyses of all minerals occurring in the Blau Cave system. The photographic documentation plays a main role in our work. Together with additional information on localities and analytic results they are catalogued and implemented in the cave plan by GIS. Also the environments of the mineral localities are documented photographically for future work.

**Résumé**

Lors de la première visite de la Blauhöhle en passant par la nouvelle entrée qui donne accès à la galerie Stairway to Heaven en juillet 2010, l'auteur a rencontré une variété de spéléothèmes, de minéraux et de microformes exceptionnelles pour le Jura souabe. Des recherches plus approfondies pour leur détermination sont apparues comme nécessaires. Ces minéraux n'apparaissant que rarement sous leur forme cristalline propre dans la cavité, des analyses chimiques ont dû être effectuées. Le projet, démarré en août 2010 avec l'aide du Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) de Fribourg, a pour but d'élaborer une documentation et une analyse systématiques de tous les minéraux rencontrés dans la cavité. La documentation est d'abord photographique, les photos, leur localisation et le résultat des analyses ont été reportés sur la topographie au moyen d'un SIG. Les sites des microformes sont répertoriés avec les coordonnées et des photos de leur environnement pour faciliter une recherche future.

**Speläotheme**

Der Begriff „Speläotheme“ ist aus dem Angelsächsischen übernommen. Eine entsprechende Übersetzung existiert nicht. Teilweise wird das Wort in der deutschen Literatur fälschlicherweise mit „Höhlenmineral“ übersetzt. Speläotheme bezeichnen rein die Form, in der Sekundärminerale in Höhlen auftreten, nicht deren Zusammensetzung. So beschreibt der Begriff Stalagmit einen stehenden Tropfstein. Er kann aber aus beliebigen Mineralen bestehen, wobei das häufigst vorkommende der Calcit ist. Viele der Begrifflichkeiten für Speläotheme beschreiben deren Aussehen. Daher gibt es zwischen den Begriffen auch keine scharfe Abgrenzung – oft sind Zuordnungen in mehrere Kategorien möglich. In den meisten Fällen kommen die Begriffe aus dem Angelsächsischen, eine direkte Übersetzung ist oft nicht möglich. Daher werden im Folgenden die englischen Begriffe verwendet. Eine ausführliche Zusammenstellung ist in „Cave minerals of the world“ von HILL & FORTI (1997) zu finden.

**Minerale**

Minerale sind natürlich vorkommende Festkörper mit einer definierten chemischen Zusammensetzung und einer definierten physikalischen Kristallstruktur. Es gibt wenige Ausnahmen, wie z.B. das flüssige Quecksilber, das historisch bedingt zu den Mineralien gezählt wird. Minerale können als Kristall oder auch amorph vorkommen. „Amorph“ bezeichnet eine Erscheinung, bei der die Atome in ungeordneter Form vorkommen.

**Höhlenminerale**

Primärminerale sind Minerale in Gesteinen und Böden, die nicht nachträglich bei Verwitterungs-, Alterations- oder Bodenbildungsprozessen, sondern bereits während der Bildung entstanden.

Sekundärminerale sind Minerale, die erst nach der Bildung des sie umgebenden Gesteins entstanden sind. Sie bilden sich dabei aus diesen durch chemische Verwitterung oder Umwandlung. Häufig kommt auch die Abscheidung aus hydrothermalen Lösungen in Hohlräumen im Gestein vor. Bekannte Beispiele dafür sind Achate und Drusen oder eben Minerale in Höhlen. Der Begriff Höhlenminerale wird ausschließlich für Sekundärminerale, die in Höhlen entstehen, verwendet. In Einzelfällen, wenn die Primärminerale für die Bildung der Sekundärminerale von Bedeutung sind, werden diese zusätzlich erwähnt.

**Probenahme und mineralogische Analyse**

Aufgrund der Grundsätze des Höhlenschutzes werden Proben nur entnommen, wenn es wissenschaftlich unumgänglich ist. Vertretbar sind nach Ansicht des Verfassers nur Proben in der Größe kleiner 1 g, die keinen sichtbaren Schaden hinterlassen. Aufgrund der geringen Probengröße kommen zur Analyse nur wenige Verfahren in Frage. Als erstes wäre das Rasterelektronen-Mikroskop (REM) zu nennen. Als analytisches Verfahren kommt das Röntgenfluoreszenz-Spektroskop (X-Ray Fluorescence Spectroscopy, XRF) in Frage. Es ist eine der am häufigsten eingesetzten Methoden zur qualitativen und quantitativen Bestimmung der elementaren Zusammensetzung einer Probe. Zur Bestimmung reichen kleinste Proben aus. Nachteil ist, dass bei Mineralen gleicher chemischer Zusammensetzung keine Unterscheidung

möglich ist (z.B. Calcit/Aragonit). Hier kommt die Röntgenbeugungsanalyse (X-Ray Diffraction, XRD) zum Einsatz. Mittels der Röntgenbeugung kann das Kristallgitter von Proben bestimmt werden. Mit Hilfe einer Datenbank können die entsprechenden Beugungslinien einem Mineral zugeordnet werden. Im Zusammenspiel dieser drei Methoden ist eine ausreichend sichere Bestimmung der Mineralien möglich.

### Klassifizierung

Für eine systematische Dokumentation ist es erforderlich, Minerale in einem System zu klassifizieren. Für die Welt außerhalb der Höhlen hat sich ein Standard etabliert. Das erste Mineralsystem, das in breiten Kreisen gebraucht wird, wurde von J. D. Dana und ihrem Sohn geschaffen (DANA 1892). Es basiert auf der Gruppierung der Salze von Anionen, z. B. Chloriden, Sulfaten, Carbonaten und Silikaten. Die Klassengruppen von STRUNZ (1941) und HÖLZEL (1989) basieren auf der chemischen Zusammensetzung und Kristallstruktur der Minerale, so wie auch die Klassifizierung von NICKEL & STRUNZ (2001).

Für Minerale in Höhlen wurden in der Vergangenheit zwei Ansätze diskutiert: Klassifikation nach Entstehung und Klassifikation nach chemischer Zusammensetzung.

Die Klassifikation nach der Entstehung funktioniert nicht sehr gut, da viele Minerale mehrere Entstehungsmechanismen haben. Zum Beispiel kann Gips als Auswaschung von Muttergestein oder aus Fledermausguano entstehen.

HILL & FORTI (1997) haben in Ihrem Standardwerk für Höhlenminerale die Klassifizierung nach DANA übernommen und modifiziert. Um auf Bewährtes zurückzugreifen, wurde diese Klassifikation auch vom Autor übernommen. Daraus ergeben sich folgende 13 Klassen: Elemente, Sulfide, Oxide und Hydroxide, Halogenide, Arsenate, Borate, Carbonate, Nitrate, Phosphate, Silikate, Sulfate, Vanadate, Organische Mineralien. Innerhalb der Klassen werden die Mineralien in alphabetischer Reihenfolge gelistet. Alle Mineralnamen und chemischen Formeln werden nach FLEISCHER & MANDARINO (1995) dargestellt.

### Speläotheme im Blauhöhlsystem

Höhlenminerale, die noch nicht exakt bestimmt sind oder deren Bestimmung aus anderen Gründen nicht möglich ist, werden hier im Kapitel Speläotheme klassifiziert und beschrieben.



Abb. 1: Conulite im Stairway to Heaven; Foto: M. Schopper

### Conulites, Mud Cups

Conulites entstehen in der ersten Phase durch Tropfwasser auf ein weiches Sediment, z.B. Lehm. Das Wasser arbeitet sich durch die Tropfenergie in den Lehm hinein und erzeugt eine Hohlform. Im zweiten Schritt lagert sich Kalk an den Lehmwänden der Hohlform an und kleidet diese rundherum aus. Im dritten Schritt, wie hier gut sichtbar, werden Teile des umgebenden

Lehmsedimentes z.B. durch Überflutung weggespült. Übrig bleibt die durch den Kalkstein entstandene Hohlform – oft erinnert die Form an eine Badewanne oder ein Vogelbad. Abb. 1 zeigt ein komplett freigelegtes Exemplar auf einer mächtigen Schicht Lehmsediment im unteren Teil des Stairway to Heaven-Ganges.



Abb 2: Höhlenperlen im Friedhof der Kuscheltiere; Foto: Andreas Kücha

### Höhlenperlen (Cave Pearls)

Höhlenperlen entstehen meist in flachem Wasser von Sinterbecken. Sie haben häufig eine kreisrunde Form, siehe Abb. 2. Es werden auch kubische oder zylindrische Formen beobachtet. Im Allgemeinen wachsen Höhlenperlen um einen Kristallisationskern, z.B. ein Sandkorn, herum. Durch in das Sinterbecken tropfendes Wasser wird  $\text{CO}_2$  an die Luft freigesetzt und Kalk im Wasser ausgefällt. Die kugelige Form entsteht nicht durch mechanisches „Rundschleifen“ ähnlich dem Flussschotter, sondern ausschließlich durch gleichmäßiges Kristallwachstum im übersättigten Wasser. Die Kugelform ist die bevorzugte, da für die größte Menge an Material die kleinste Oberfläche eingenommen wird (HILL & FORTI 1997).

### Sinterfahnen (Draperies)

Abb. 3 zeigt einen Sintervorhang, wie er sehr häufig in Höhlen anzutreffen ist. Deutlich sind die verschiedenfarbigen Bänder zu erkennen. Diese lassen auf unterschiedliche Wachstumsbedingungen während des Wachstums des Sintervorhangs schließen. Die Bänder sind entsprechend der Fließrichtung des Wassers entlang der Sinterfahne angeordnet. Abb. 4 zeigt eine Sinterfahne, die eher einfarbig ist. Zusätzlich fällt auf, dass in bestimmten Bereichen nicht die typische Bänderung in Fließrichtung vorhanden ist. Die Strukturen quer zur Bänderung könnten durch eine wechselnde Fließrichtung des Wassers entstanden sein.



Abb. 3: Sinterfahne nach 1. Versturz; Foto: M. Schopper



Abb. 4: Sinterfahne in 1001 Nacht; Foto: M. Schopper

### Heliktiten (Helictites, Excentriques)

Heliktiten sind Formen, die meist säulenförmig in beliebigen Richtungen wachsen und diese Richtung auch beliebig ändern können. Im Blauhöhhlensystem treten sie in besonders auffälliger Ausprägung auf. Sie sind klar durchscheinend, als ob sie aus Eis bestehen würden. Die Frage, wie Sinterbildungen entgegen der Schwerkraft wachsen können, ist bis heute nicht endgültig geklärt. Eine der favorisierten Theorien ist, dass durch feinste oberflächennahe Kapillaren das Wasser entgegen der Schwerkraft fließt. Veränderungen der Umgebungsbedingungen wie Trockenheit, Feuchtigkeit oder Luftbewegungen können zu einer Beeinflussung der Kapillarbildung und somit zu Änderungen der Wuchsrichtung führen. Abb. 5 und 6 zeigen typische Heliktiten im Blauhöhhlensystem im Bereich der Fantasy.



Abb. 5: Heliktiten in 1001 Nacht; Foto: M. Schopper



Abb. 6: Heliktiten in 1001 Nacht; Foto: M. Schopper

### Pool-Fingers

Abb. 7 wirft eine auf den zweiten Blick sehr interessante Fragestellung auf. Das Bild zeigt im oberen Teil eine Abgrenzung/Wand (Rimstone) eines Wasserbeckens. Im unteren Teil ist ein weiteres Wasserbecken, das ca. 15 cm tiefer liegt. Im dunklen Wasser spiegeln sich die Calcitkristalle. Die Wand selbst ist mit 1-2 cm großen Calcitkristallen bedeckt. Unterhalb der Wand haben sich stalaktitenförmig (ca. 10 cm lang) Konglomerationen von Calciten gebildet. Die stalaktitenförmigen Gebilde selber bestehen aus idiomorphen Calcitkristallen – sie sind also nicht als Tropfsteine, sondern in einer übersättigten Lösung kristallisiert. Die Regelmäßigkeit der Anordnung und die Zylinderform legen Bakterienfäden als Kristallisationskeime nahe. Diese Konglomerationen wären dann als Biosinter anzusprechen (LESLIE et al. 2011).



Abb. 7: Calcit im Reich der Schönen Lau; Foto: M. Schopper

### Farben von Speläothemen



Abb. 8: Farbiger Stalagmit nach 2. Versturz; Foto: M. Schopper

Wie kommt es zu Färbungen bei Speläothemen? Da die Untersuchungen nur durch eine erweiterte chemische Analyse möglich sind, wurden sie vorerst zurückgestellt. Abb. 8 zeigt einen ca. 10 cm großen Tropfstein, der mit einer tageslichtähnlichen Farbtemperatur von hinten angestrahlt wurde. Hierbei kommt die schöne orangene Farbe zur Geltung. Farben von Speläothemen können durch vielfältige Phänomene hervorgerufen werden. Bekannte farbige Aragonite in südfranzösischen Höhlen entstehen durch Einlagerung geringer Mengen von Spurenelementen wie z.B. Metallen. So kann die Einlagerung von Kupfer blaue Aragonite, die Einlagerung von Nickel grüne Tropfsteine erzeugen. Farbgebend kann auch die Einlagerung von Huminsäuren sein, die durch die Zersetzung von Pflanzen an der Erdoberfläche entstehen.

## Stalagmiten

Abb. 9 zeigt eine Sonderform eines Stalagmiten. Im Angelsächsischen wird der Name „Splattermite“, im Deutschen „Palmstamm-“, oder „Palmwedelstalagmit“, verwendet. Kennzeichnend für diese Form sind die um eine zentrale Achse wie Palmwedel nach oben gerichteten Wachstumsformen. Splattermites entstehen in großen Hallen, wo Wassertropfen hohe Geschwindigkeiten und große Tropfenergien erreichen können. Dies allein reicht für die Bildung allerdings nicht aus. Die aufschlagenden Wassertropfen müssen außerdem den gelösten Kalk rasch ausfällen, bevor das Wasser an den Palmwedeln herunterrinnt. Splattermites werden sehr häufig in den Tropen beobachtet, wo dicht bewachsene Böden das durchdringende Wasser mit einem sehr hohen  $\text{CO}_2$ -Gehalt anreichern (BUNNELL 2011). In Abb. 9 fällt auf, dass die Palmwedel überwiegend an einer Seite des Stalagmiten wachsen. Eventuell erzeugt die mit ca. 0,5 m Abstand neben dem Stalagmiten stehende Wand genau die Bedingungen zum Wachstum der Palmwedel. Der Splattermite-Stalagmit steht am Beginn der Schönen Lau. Eine Fallhöhe der Wassertropfen von größer 15 m ist gegeben.

## Höhlenminerale im Blauhöhlsystem

Folgende Tabelle zeigt eine Übersichtsdarstellung der bisher im Blauhöhlsystem dokumentierten Minerale.

Mineral	Auftreten/Speläotheme
<b>Karbonate</b>	
Calcit	Sinterfahnen, Heliktiten, Frostwork, Makkaroni, Conulites, Cave Rafts, Dogtooth Spare, Splattermites, Höhlenperlen, Rimstone .....
Aragonit	Frostwork, Anteil Aragonit < 10 %, Rest Calcit
<b>Oxide und Hydroxide</b>	
Goethit	kugelig, gelblich bis schwarzbraun
Hämatit	Anteil in Calcit < 10 %
<b>Sulfate</b>	
Gips	körniger Wandbelag, säulige Kristalle

## Calcit [ $\text{CaCO}_3$ ]

Calcit ist als gesteinsbildendes Mineral eines der häufigsten in der Erdkruste und kommt sowohl in magmatischen Gesteinen, zum Beispiel in Karbonatiten, in metamorphen Gesteinen (Marmor) oder Sedimentgesteinen (Kalkstein) vor. Calcit kann sowohl massiv als auch körnig, faserig oder kristallin auftreten und zeigt in letzterem Falle den höchsten Formenreichtum aller Minerale. In Goldschmidts „Atlas der Krystallformen“ von 1913 sind 2.544 verschiedene Calcitkristalle abgebildet. Dabei ist die Kristallographie eigentlich ganz einfach. Es gibt nur vier verschiedene Formengruppen: Prisma, Basis Pinakoid, Rhomboeder und Skalenoeder. Allerdings sind innerhalb der Formengruppe viele Variationen, wie z.B. beim Skalenoeder ca. 200 verschiedene Steilheiten, möglich und die Formengruppen sind auch noch untereinander kombinierbar. Abb. 10 zeigt ein Beispiel eines Calcitkristalls aus einer Kombination verschiedener Formengruppen.

Die Ausbildung der Kristallform hängt in der Praxis von vielen verschiedenen Randbedingungen ab. Einige wesentliche Bildungsparameter sind das Verhältnis von  $\text{Ca}^{2+}$  zu  $[\text{CO}_3]^{2-}$ -Ionen,



Abb. 9: Splattermite-Stalagmit im Reich der Schönen Lau; Foto: M. Schopper

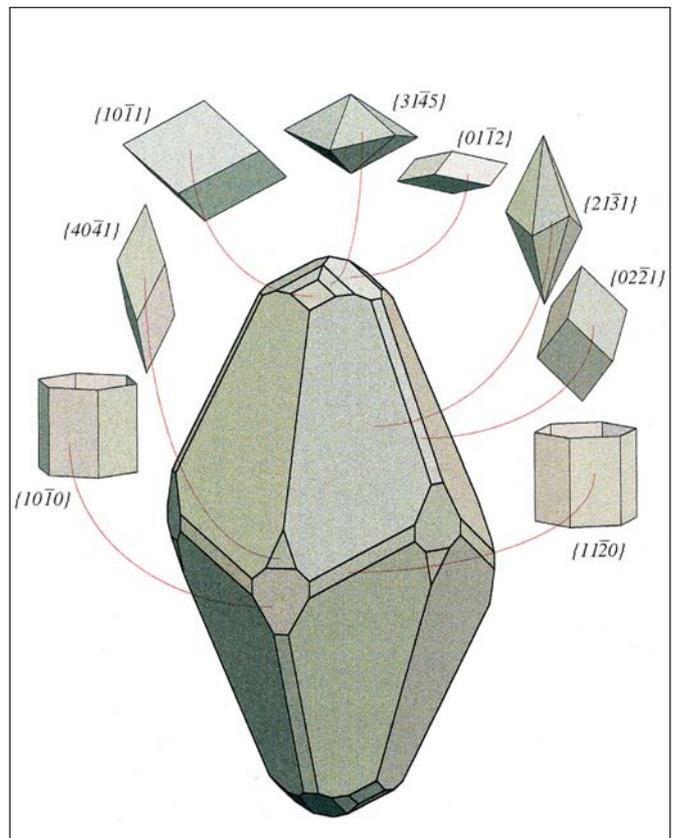


Abb.10: Calcit-Kristallform aus 8 verschiedenen Grundformen; Quelle: Extralapis No. 14

Temperatur, Druck, pH-Wert, Salzgehalt und vieles mehr. Da aus der Kristallform in gewissen Grenzen auf die Umgebungsbedingungen während der Kristallbildung geschlossen werden kann, können sich daraus interessante Informationen für die Höhlengenesen ergeben.



Abb. 11: Calcit nach 2. Versturz; Foto: M. Schopper



Abb. 12: Calcit nach 2. Versturz; Foto: M. Schopper

Abb. 11 zeigt Calcitkristalle im Bereich des Landweges, nach dem 2. Versturz. Die Kristalle treten in einem Bereich von 1x1 m an zwei großen Versturzböcken auf, haben eine Größe von bis zu 3 cm und zeigen als Grundform die klassische Rhomboeder-Struktur. Sie entstehen, wenn  $\text{Ca}^{2+}$ - und  $[\text{CO}_3]^{2-}$ -Ionen in gleichem Verhältnis vorliegen. Die in Abb. 12 gezeigten Kristalle zeigen teilweise eine interessante Beschichtung, die z.T. auffälligerweise mit einer harten Grenzlinie zur Kristallspitze hin endet. Die Beschichtung ist hart, das heißt ohne Werkzeug nicht entfernbar. Eine XRF-Analyse durch Hannes Köble ergab Bestandtei-



Abb. 13: Calcitkristalle in Sinterbecken im Avalon; Foto: M. Schopper

le, die in gleichem Verhältnis in den Lehmen des Blauhöhle-Systems auftreten.

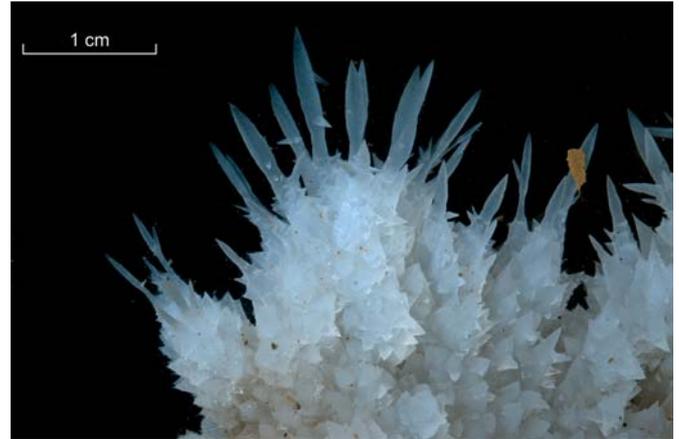


Abb. 14: Calcitkristalle in Sinterbecken im Avalon; Foto M. Schopper

Abb. 13 und 14 zeigen eine weitere Grundform des Calcits, den Skalenoeder. Der Fundort befindet sich im Bereich Avalon, einem Seitenabstieg des Stairway to Heaven. Die Kristalle wachsen in einem wassergefüllten Sinterbecken unter Wasser. Diese Form wird als „Dogtooth Spar“ bezeichnet und kommt in Höhlen sehr häufig vor. Interessanterweise wächst das Sinterbecken von außen nach innen zu. Die Kristallschicht liegt knapp unter der Wasseroberfläche (Abb. 15).



Abb. 15: Sinterbecken im Avalon; Foto: M. Schopper

In Abb. 15 ist auffällig, dass unter der Wasseroberfläche ein deutliches idiomorphes Kristallwachstum vorhanden ist. Das Weiterwachstum erfolgt dann hin zur Wasseroberfläche. Hier wächst der Calcit als massiver ebener Block. Weitere Speläotheme sind erkennbar: „Cave Rafts“ sind dünne, planare Speläotheme, die an der Wasseroberfläche durch die Oberflächenspannung des Wassers schwimmen. Sie sind nur 1-2 mm dick und kristallisieren skalenoedrisch. Die der Wasseroberfläche zugewandte Seite ist eben. Werden die Cave Rafts zu groß und schwer, sinken sie auf den Boden des Sinterbeckens. In Abb. 16 hat sich ein Cave Raft in den Kristallen verkeilt.

Abb. 17 zeigt ein weiteres, aus reinem Calcit bestehendes Speläothem. Fundort ist in 1001 Nacht, einem in der Fantasy abzweigenden Seitengang des Landweges. Ursprung der Speläotheme ist ein Makkaroni, der zu einem Stalaktiten gewachsen ist. Durch das Eintauchen in ein Sinterbecken ist am Ende die kugelförmige Konkretion aus Calcitkristallen entstanden. Der Durchmesser beträgt ca. 8 cm. In Abb. 18 sind Calcitkristalle in der klassischen rhomboedrischen Grundform zu sehen. Im Vordergrund handelt es sich höchstwahrscheinlich um eine so-



Abb. 16: Cave Raft im Avalon; Foto: M. Schopper

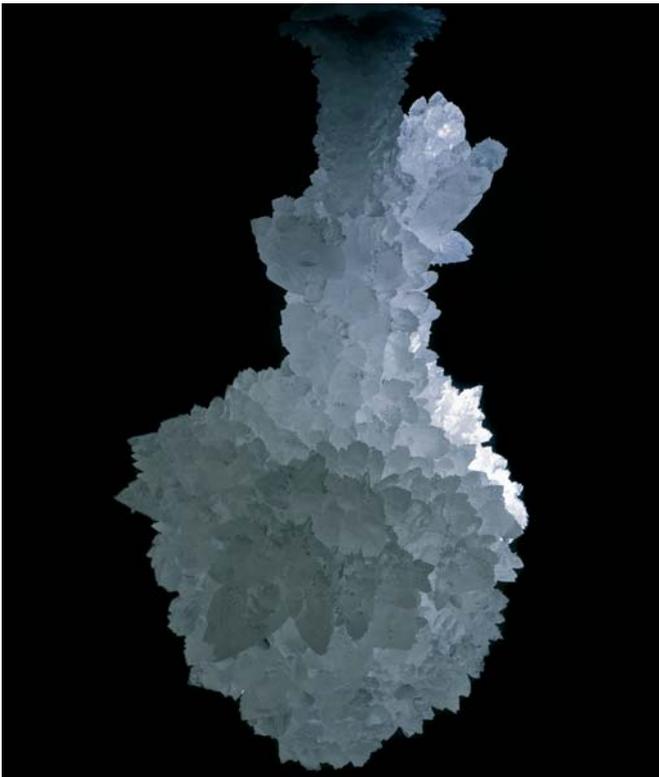


Abb. 17: Calcit-Konkretion in 1001 Nacht; Foto: M. Schopper



Abb. 18: Calcit-Zwilling im Versturz B 28; Foto M. Schopper

nannte Zwillingsform, ein in der Höhle eher seltenes Vorkommen. Kristallzwillinge sind gesetzmäßig verwachsene Formen zweier oder mehrere Einzelkristalle. Die Kristalle sind durch Symmetrieformen ineinander überführbar. Ein Nachweis mit dem Goniometer steht noch aus. Bei Betrachtung der Oberflä-

che der Calcitkristalle fallen Auflösungserscheinungen auf. Diese entstehen durch Ankorrosion von Wasser nach der Kristallbildung. Als erstes entstehen Ätzgruben, die im weiteren Verlauf zu tiefen Kerben und letztendlich zur Auflösung des Kristalls führen können. Eine ausführliche Beschreibung findet sich in THEWALT & GÄRTNER (2010). Der Fundort liegt im Versturz des neuen Zuganges an der B 28.

#### Aragonit [CaCO<sub>3</sub>]

Calcit und Aragonit haben dieselbe chemische Zusammensetzung CaCO<sub>3</sub>, aber unterschiedliche Kristallstrukturen. Man spricht hier von Polymorphie (griech. poly = viel, morphe = Gestalt). Calcit ist unter den in Höhlen herrschenden Bedingungen (Temperatur und Druck) ein stabiles Mineral. Aragonit ist nur bei hohen Temperaturen stabil, unter Höhlenbedingungen dagegen ein instabiles Mineral, d.h. einmal gebildeter Aragonit bildet sich unter Höhlenbedingungen über lange Zeiträume von Tausenden bis Millionen von Jahren in Calcit zurück. Wie kann dann Aragonit in Höhlen entstehen? Diese Fragestellung ist in der Wissenschaft vieldiskutiert und als „Calcit-Aragonit-Problem“ bekannt (HILL & FORTI 1997).



Abb. 19: Calcit-Frostwork im Stairway to Heaven; Foto: M. Schopper

Abb. 19 und 20 zeigen die für Aragonit typischen dendritischen Wuchsformen. Umso überraschender ist, dass eine XRD-Analyse von beiden Konkretionen einen Aragonitgehalt von kleiner 10 % ergibt; der Rest ist reiner Calcit. Der Fundort beider Konkretionen liegt im Gang Stairway to Heaven.



Abb. 20: Calcit-Frostwork im Stairway to Heaven, Foto: M. Schopper

#### Goethit [FeO(OH)]

Goethit wurde bisher an zwei Stellen im Blauhöhleensystem in Konkretionen nachgewiesen. Abb. 21 zeigt eine kugelförmige Konkretion, die auf waagrechttem Kalkmuttergestein gewachsen ist; ihr Durchmesser beträgt ca. 2 cm. Sie wurde in der Waben-

halle, einem Seitengang des Stairway to Heaven gefunden. Abb. 22 zeigt eine ebenfalls ca. 2 cm lange Konkretion. Der Fundort befindet sich im Landweg zwischen den Verstürzen 1 und 2. Auffällig sind, obwohl es sehr unterschiedliche Fundorte sind, die ähnlichen Größen der Kristalle und dieselben inhomogenen Färbungen von hellbraun bis schwarz. Auch die Oberfläche mit der fein warzenförmigen Struktur zeigt starke Ähnlichkeit. Beide Proben wurden durch XRF analysiert.



Abb. 21: Kugeliger Goethit in der Wabenhalle; Foto: M. Schopper



Abb. 22: Goethit im 1. Versturzt, Foto: M. Schopper

### Hämatit, Eisen (III)-oxid [Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]

Hämatit konnte bisher nur in einer Kombination Calcit/Aragonit und Hämatit nachgewiesen werden. Der Anteil des Hämatits ist kleiner 10 %. Die Fundstelle liegt im Bereich des Abganges zum Avalon direkt im Stairway to Heaven.



Abb. 23: Grauer Sinterbelag in der Schwarzen Witwe; Foto: A. Kücha



Abb. 24: Tropfstein in der Schwarzen Witwe; Foto: A. Kücha

### Eisen (II)-oxid [FeO]

Ein interessantes Phänomen ist in einem Seitengang der Apokalypse der „Schwarzen Witwe“ sichtbar.

An mehreren Stellen (Abb. 24) tritt an den Wänden und an der Decke eine intensive graue Färbung auf. Quellpunkt sind Austrittsstellen von Karstwasser. Alle Stellen sind durch Tropfsteine oder Versinterungen gekennzeichnet. Die graue Farbe zieht sich im Wasser und der Schwerkraft folgend nach unten fort. Kratzproben an verschiedenen Stellen ergeben einen Überzug, der 2-3 mm Dicke aufweist. Am Boden des Ganges befinden sich verschiedene Sinterbecken, in denen sich das Wasser sammelt (Abb. 23). Das Wasser aller Sinterbecken ist von derselben grauen Färbung. Das Wasser selber ist klar, am Grund hat sich eine Lehm-/Schlammsschicht abgelagert. Diese hat mit ca. 1-2 cm Dicke die graue Färbung. Sowohl Wasser als auch Lehm sind geruchlich unauffällig. Eine Probe des Lehms wurde im Januar 2011 von Hannes Köble analysiert. Es handelt sich grundsätzlich um eine Lehmprobe mit einigen kleinen Besonderheiten. Die Zusammensetzung stimmt größtenteils mit der anderer Lehmproben der Schwäbischen Alb überein. Auffällig sind Arsenspuren, die sonst in diesem Bereich nicht üblich sind. Diese stammen eventuell vom Laichinger Vulkan, dessen Ablagerungsgebiet sich mit dem Blautopfzugsgebiet überschneidet. Da die As-Konzentration an der Nachweisgrenze der angewandten Analysenmethode liegt, sollte dieses Ergebnis durch eine empfindlichere Methode bestätigt werden, bevor weitere Schlüsse gezogen werden.

In der Probe wurden zudem viele Bakterien gefunden, die nicht näher bestimmt wurden. Auch ist ein Eisengehalt von ca. 1,5 % auffällig. Das Eisen liegt sowohl in 3- als auch in 2-wertiger Form

vor. Das 2-wertige Eisen könnte für die grau-grünliche Farbe der Probe verantwortlich sein. Das Eisen ist nicht fein verteilt, sondern liegt in festen Aggregaten von 5-25 µm vor. Die Bakterien könnten für reduktive Bedingungen und somit für das Vorhandensein der 2-wertigen-Eisenverbindungen verantwortlich sein. Dagegen spricht allerdings, dass auf den Sintern ebenfalls die graue Farbe vorherrscht und dort aufgrund des Wasserflusses oxidative Bedingungen vorliegen.

### Gips [Ca[SO<sub>4</sub>] • 2H<sub>2</sub>O]

Gips wurde bisher an zwei Stellen im Blauhöhlsystem nachgewiesen. Abb. 25 zeigt ein am Boden liegendes Bruchstück. Die Probe hat die oft für Gips typische meist tafelige, prismatische bis nadelige Kristallform, hat eine Breite von ca. 3 cm und ist gipstypisch farblos bis weiß. Ihre Fundstelle liegt im Bereich Avalon, einem Seitenabstieg des Stairway to Heaven. Die Probe wurde mit XRD analysiert. Die zweite Fundstelle befindet sich im Landweg kurz nach dem 2. Versturzt. An der rechten Wandseite befindet sich ein weißer feinkörniger Belag (Abb. 26). Die Probe wurde mit XRF analysiert.



Abb. 25: Gipskristalle im Avalon; Foto: M. Schopper

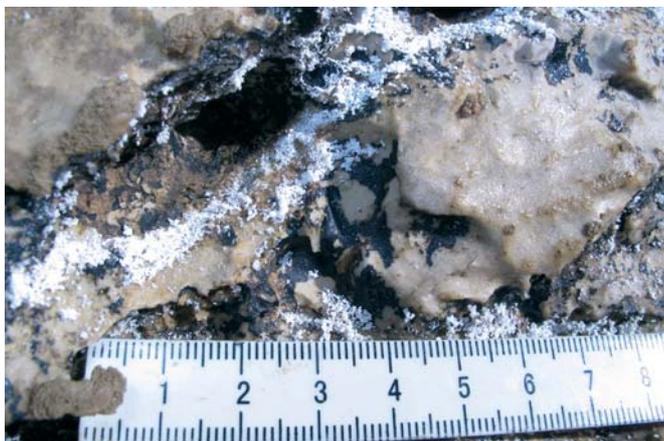


Abb. 26: Körniger Wandbelag aus Gips nach 2. Versturzt; Foto: R. Straub

### Dank

Mein Dank gilt dem Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) in Freiburg, Dr. Manfred Martin, für die Durchführung der mineralogischen Analysen mittels XRD und XRF. Weiterhin danke ich Hannes Köble, der mich mittels XRF bei der Analyse unterstützt hat.

### Literatur

DANA, E.S. (1892): System of Mineralogy. – John Wiley, New York  
 ExtraLapis (1998): Nr. 14 Calcit. – Mineralien-Magazin Lapis, München

BUNNELL, D. (2011): Persönliche Gespräche

FLEISCHER, M. & MANDARINO, J.A. (1995): Glossary of Mineral Species. – Tucson, Arizona

HILL, C. & FORTI, P. (1997): Cave Minerals of the World. – 2. Aufl., 463 S., National Speleological Society, Huntsville

HÖLZEL, A.R. (1989): Systematics of Minerals. – Edition A.R. Hölzel, Mayence

MELIM, L.A., PLAN, L., v. BOGUSLAWSKI, S. & MEYER, S. (2011): Terminologie biogener Beckensinter in Höhlen. – Mitt. Verb. dt. Höhlen- u. Karstforscher 57(4): 110-114

OKRUSCH, M. & MATTHES, D. (2009): Eine Einführung in die spezielle Mineralogie, Petrologie und Lagerstättenkunde. – 8. Aufl., Springer, Berlin

SCHOPPER, M. (2011): Mineralien im Blauhöhlsystem – Eine erste Bestandsaufnahme. – Laichinger Höhlenfreund 2011, hrsg. v. Höhlen und Heimatverein Laichingen

STRUNZ, H. (1941): Mineralogische Tabellen. – Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig

STRUNZ, H. & NICKEL, E.H. (2001): Strunz Mineralogical Tables. Chemical-Structural Mineral Classification System. – 9. Aufl., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart

THEWALT, U. & GÄRNTNER, G. (2010): Beobachtungen an Kalzit von der Ulmer Alb. – Jahresheft Gesellschaft für Naturkunde Württemberg, Stuttgart

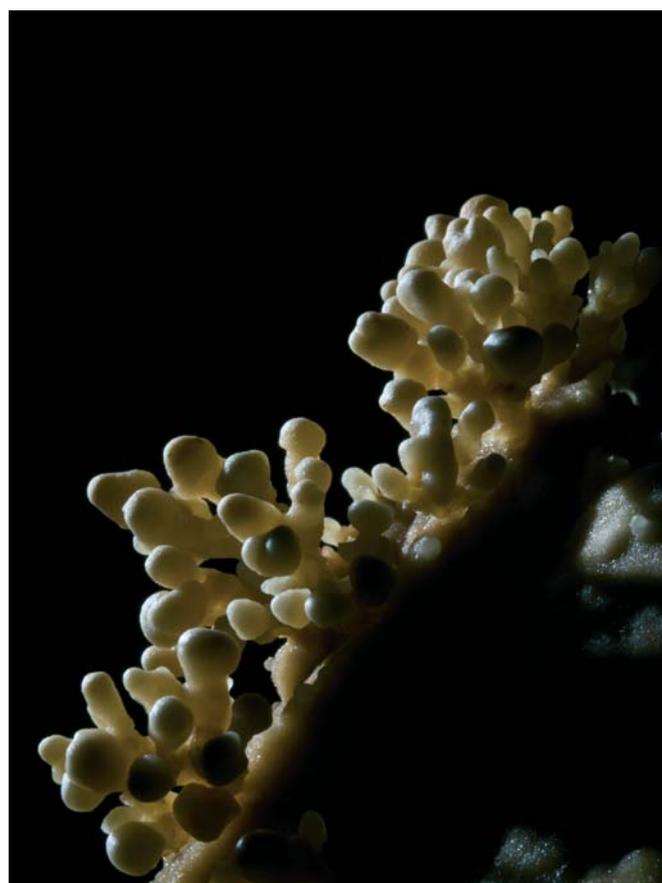


Abb. 27: Knöpfchensinter im Stairway to Heaven; Foto: M. Schopper

**Anschrift des Verfassers:** Dipl.-Ing. Michael Schopper, Fleckenweinberg 20, 70192 Stuttgart, m.schopper@web.de, Mitglied in der Arge Blautopf und der Höhlenforschungsgruppe Ostalbkirchheim www.blautopf.org, www.michaelschopper.com