

Speläologie und Geologie der Hirschgrubenhöhle am Hochschwab (Steiermark)

ZUSAMMENFASSUNG

Die seit 2003 im Detail erforschte Hirschgrubenhöhle (1744/450) ist mit 5596 m die längste Höhle im zentralen Hochschwabmassiv. Sie öffnet sich in 1896 m Seehöhe und der Höhenunterschied beträgt 201 m. Die Höhle besteht aus alten phreatischen Passagen, die großteils labyrinthisch angeordnet sind, und jüngeren vadösen Schächten und Schloten; auf längere Strecke befahrbare Canyons fehlen. Aufgrund von Augenstein-sedimenten sind paragenetische Formen sehr häufig. Die relativ seltenen Fließfacetten lassen keine einheitliche Fließrichtung ablesen. Die Höhle ist im Dachsteinkalk und unterlagerndem Waxeneckdolomit ausgebildet. Dazwischen liegende geringmächtige karnische Leckkogelschichten sind an einigen Stellen aufgeschlossen und in einem Teil als Kalifeldspat-führender dunkler Schiefertone ausgebildet. Die meisten Teile der Höhle sind störungsgebunden und an zwei Stellen konnten aktive ENE-WSW-streichende Linksseitenverschiebungen dokumentiert werden. Sie sind hier für die Deformation von Sintern verantwortlich. Auch Frostsprennung und Eisbewegung während der Kaltzeiten hat zum Zerbrechen von Sintern geführt (gelifrac). Für eine hochalpine Höhle ist der Reichtum an Speleothemen ungewöhnlich: kalzitische Sinterbildungen und Tropfsteine, Kristallbecken, Excentriques, Sinterperlen sowie Gipsbildungen. U-Th-Datierungen ergaben Sintergenerationen aus dem Holozän, dem Eem sowie älter als 400.000 Jahre. Die ange-troffenen Gerinne sind mit Maximalschüttungen von wenigen 10 l/s relativ unbedeutend.

ABSTRACT

Geology of Hirschgrubenhöhle on Hochschwab (Styria)

Since 2003, Hirschgrubenhöhle (1744/450) has been intensively explored and, with a length of 5596 m, ranks as the longest cave in the central Hochschwab massif. The cave opens at 1896 m a.s.l. and shows a vertical extent of 201 m. Phreatic and largely labyrinthic passages alternate with younger vadose shafts and chimneys; canyons are present but short. Paragenetic features are common given the presence of sediments (Augenstein type). Scallop marks do not indicate a consistent flow direction. The cave developed in Dachstein Limestone and in the underlying Waxeneck Dolomite. Thin, intervening, dark and K-feldspar-bearing shales of Carnian age (Leckkogel beds) are locally exposed in the cave. Most parts of Hirschgrubenhöhle are controlled by faults. Active ENE-WSW-striking, sinistral strike-slip faults were identified at two locations, where speleothems have been deformed. Frost shattering and ice flow during cold climate periods also resulted in the destruction of speleothems (gelifrac). Hirschgrubenhöhle is well decorated by calcitic speleothems including dripstones, crystal pools, helictites, cave pearls and gypsum crystals – unusual for an alpine cave. U-Th dating revealed speleothem deposition during the Holocene, the Eemian as well as samples which are older than 400,000 years. Modern cave streams are insignificant with discharges of less than a few tens of litres per second.

Lukas Plan

Naturhistorisches Museum Wien,
Karst- und Höhlen-Arbeitsgruppe,
Museumsplatz 1/10, 1070 Wien
lukas@cave.at

Christoph Spötl

Institut für Geologie, Universität Innsbruck,
Innrain 52, 6020 Innsbruck
christoph.spoetl@uibk.ac.at

Gerhard Bryda

Geologische Bundesanstalt,
Neulinggasse 38, 1030 Wien
bryger@geologie.ac.at

Eingelangt: 6.2.2019
Angenommen: 19.2.2019

EINLEITUNG

Im zentralen Hochschwab – etwa zwischen Kleinem Ebenstein im Westen und Ringkamp im Osten – wurden seit 1996, vorwiegend von Forschern des Landesvereins für Höhlenkunde in Wien und NÖ, rund 470 Höhlen dokumentiert. Die Höhlen sind meist vados und schachtartig angelegt (Plan, 2004; Plan & Decker, 2006; Plan, 2016). Mit 5583 m Länge und 201 m Höhenunterschied ist die Hirschgrubenhöhle (1744/450 a, b) die mit Abstand längste und einzige Riesenhöhle in diesem Gebiet. Sie ist dort außerdem eine der wenigen Höhlen mit ausgedehnten phreatisch entstandenen Horizontalteilen, die in rund 1900 m Seehöhe im Dachsteinkalk ausgebildet sind. Vadose Schächte führen in eine rund 150 m tiefer liegende Etage, die von versturzteprägten Hallen im Wettersteindolomit dominiert ist.

Im Folgenden wird eine Raumcharakterisierung gegeben und über Untersuchungsergebnisse zu Geologie, Raumformen und Höhlensedimenten berichtet. Geseondert publiziert wurden Untersuchungen zu aktiven Bewegungen entlang von tektonischen Störungen, deren Spuren in der Hirschgrubenhöhle gefunden wurden (Plan et al., 2010). Sie bieten die ersten geologischen Hinweise für die andauernde Aktivität der Salzachtal-Ennstal-Mariazell-Puchberg-Störung (SEMP), eines der wichtigsten Störungssysteme der Nördlichen Kalkalpen. Untersuchungen zur Hydrologie des Epikarstes unter den hochalpinen, glazial kaum überprägten Karstflächen des Hochschwabs wurden von Exel et al. (2016) veröffentlicht.

GEOGRAPHIE UND GEOLOGIE

Die Höhle liegt im zentralen Hochschwabmassiv 4 km WSW des Hochschwabgipfels (2277 m Höhe). Vom 500 m südlich gelegenen Zinken (1926 m) ist sie durch die namensgebende sattelartige Eintiefung der Hirschgrube getrennt. Der Eingang öffnet sich in 1896 m Seehöhe, wobei der kürzeste Zustieg vom Bodenbauer über die Häuselalm etwas über 1000 Höhenmeter erfordert. Der Einstieg liegt in einem rund 20° steil nach SW abfallenden Hang der Altlandschaft der Hundsböden. Der Hang unmittelbar oberhalb der Höhle weist keine Karst-Kleinformen wie Karren und kleinere Dolinen auf. Lediglich einige 100 m weiter nördlich, wo der Hang flacher wird, sind eine Reihe von Riesendolinen mit über 100 m Durchmesser und bis zu 45 m Tiefe ausgebildet. In diesen Dolinen werden beträchtliche Flächen von Lehm Böden eingenommen, die als Verwitterungsprodukt der tertiären Augenstein-Formation interpretiert werden. Die Oberfläche wird von

Erforschungsgeschichte

Die erste dokumentierte Erkundung wurde 1984 von Volker Weißensteiner sowie Herta, Helmut und Heinz Ehrenreich durchgeführt, wovon in Weißensteiner (1985) mit einem Satz berichtet wird. Davon zeugt auch eine Inschrift („WEEE 1984“) beim danach benannten *WEEE-Schacht*. Weitere, teilweise expeditionsmäßig organisierte Befahrungen mit Biwak erfolgten durch Kapfenberger Höhlenforscher. Sie erreichten den Grund des *Großen Schachtes* in rund 130 m Tiefe. Aufgrund widriger Umstände konnten allerdings die Vermessungsunterlagen nicht ausgewertet werden. Der Erstautor stieß im Sommer 2003 im Zuge karstmorphologischer Kartierungen für die Magistratsabteilung 31 – Wiener Wasser auf das interessante Objekt (Plan, 2004; Plan & Decker, 2006). Eine komplette Neubearbeitung und Vermessung begann im November 2003. Im Juli 2005 schien die Erforschung bei 1,2 km Länge abgeschlossen, doch konnte durch teilweise technische Erkletterung eines Schlotes in der *Krankenschwesternhalle* ausgedehntes Neuland gefunden werden. Insgesamt 26 Vermessungsfahrten waren notwendig, um die Höhle auf die jetzigen Ausmaße zu erforschen und zu vermessen, wobei ein Großteil der Touren im Winter erfolgte. Da die Forschungen immer aufwändiger wurden und kaum noch Erfolge brachten, wurden sie im August 2017 vorerst eingestellt. Die Seile wurden ausgebaut. Eine Fahrtenchronik und Details zum Forschungsstil finden sich in Plan (2019).

Fels und Almrassen gebildet. Der Latschenbewuchs ist aufgrund der Höhe spärlich. Der jährliche Niederschlag liegt bei knapp 2000 mm (Wakonigg, 1980), die Jahresmitteltemperatur im Bereich des Höhleneingangs beträgt ca. +1 °C (nächstgelegene Station Schiestlhaus, 2153 m: 0,8 °C; 2015–2017, pers. Mitt. Andreas Pilz).

Die Höhle liegt in der zur juvavischen Mürzalpendecke gehörenden Trenchtling-Föhlstein-Schuppe, die auf die Pfaffingalm-Hochschwab-Schuppe überschoben ist (Mandl et al., 2002; Bryda et al., 2013). Im Gegensatz zur unterlagernden Einheit, in der nur unter- und mitteltriassische Gesteinsabfolgen erhalten sind, wird die Trenchtling-Föhlstein-Schuppe von mittel- und obertriassischen Sedimentgesteinen aufgebaut.

Der Höhleneingang und der Hang oberhalb der Höhle werden von lagunärem Dachsteinkalk mit einer Bankung im Meterbereich aufgebaut (Abb. 1). Am Hang

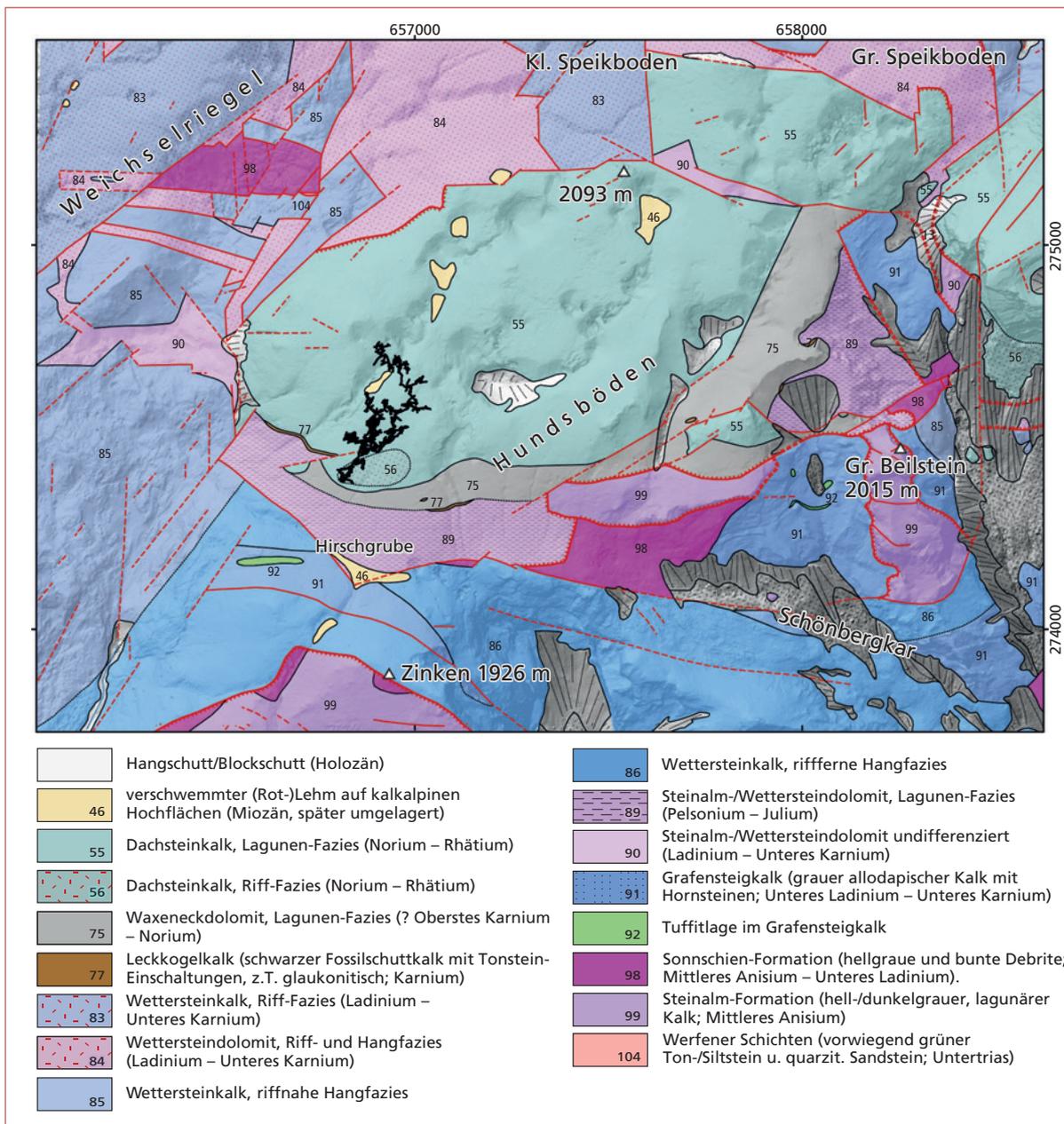


Abb. 1: Geologische Manuskriptkarte für das Blatt 102 Aflenz mit dem Polygonzug der Hirschgrubenhöhle in Schwarz (Auszug aus den Geländedaten 1:10.000, Bearbeitung: Gerhard Bryda, Geol. Bundesanstalt). Hintergrund: schattiertes Laserscan-Höhenmodell (GIS Steiermark); Koordinaten: BMN M34.

Fig. 1: Geological manuscript map sheet 102 Aflenz with the survey trace of Hirschgrubenhöhle in Schwarz (edited by Gerhard Bryda, Geological Survey). Background: shaded LIDAR image (GIS Steiermark); Coordinates: Bundesmeldenetz M34.

unterhalb tritt nur 20 m vom Eingang entfernt mittlertriassischer Wettersteindolomit in Rifffazies auf. Während hier die Basis der Obertrias fehlt, ist nordwestlich des Eingangs eine Dezimeter bis einige Meter mächtige Lage von Gesteinen der Leckkogelschichten aufgeschlossen. Diese werden zur Gruppe der Nordalpinen Raibler Schichten gezählt (Karn) und bestehen aus fossilschuttreichen Kalken, Dolomiten, Mergeln und Schiefertonen, die meist rötlich bis ockergelb verwit-

tern. Die grünlich-graue Farbe des unverwitterten Sediments rührt vom Mineral Glaukonit her (Bryda et al., 2013). An diese Schichten gebundene Austritte kleiner Rinnsale zeichnen sie als Karstwasserstauer aus. Östlich des Eingangs ist die Schichtfolge weniger gestört, und im Hangenden der Leckkogelschichten ist zwischen diesen und dem Dachsteinkalk geringmächtiger (Zehnermeter) Waxeneckdolomit aufgeschlossen. Aufgrund der oft starken tektonischen Zerlegung ist die

Unterscheidung von Waxeneck- und Wettersteindolomit nicht immer eindeutig, wenn das markante Band der Leckkogelschichten fehlt.

Die Überschiebungsbasis der Trenchtling-Föhlstein-Schuppe ist rund 150 m SW bzw. 50 Höhenmeter

unterhalb des Eingangs aufgeschlossen. In diesem Bereich wird die unterlagernde Pfaffingalm-Hochschwab-Schuppe von Wettersteinkalk, weiter südlich von Grafensteigkalk und nördlich von Wettersteindolomit aufgebaut.

ANLAGE DER HÖHLE

Die Höhle besteht aus subhorizontalen, labyrinthischen Teilen, die annähernd auf Eingangsniveau liegen und 380 m Richtung NNE ziehen. Die Morphologie dieser Gänge zeigt eine phreatische Entstehung an. Sie werden von einigen Dutzend vadosen Schächten und/oder Schloten angeschnitten. Im mittleren Teil führen zwei Schachtsysteme in benachbarte versturzte Hallen 110 bis 140 m unter das Eingangsniveau.

veau. Von der südlichen Halle führt ein wasseraktiver, störungsgebundener Gang Richtung Westen zum tiefsten Punkt, wo eine stark versturzte Zone erreicht wird.

Basisdaten

Länge: 5596 m, Höhenunterschied: 201 m (+31,-170 m), horizontale Erstreckung: 380 m, Seehöhe: 1896 m.

RAUMCHARAKTERISIERUNG

Eine ausführliche Raumbeschreibung findet sich in Plan (2019), ein Übersichtsgrundriss in Abb. 2. Die Detailpläne (Grundriss und Längsschnitte) im Maßstab 1:500 sind als pdf elektronisch abrufbar (siehe QR-Code bzw. Link am Ende des Beitrags).

Vorderes Horizontalsystem

Eine 5 m durchmessende Einsturzdoline bildet den Zugang zu einem phreatisch geprägten Teil, der abschnittsweise stark von Versturzvorgängen überprägt ist. An Abzweigungen sind der *Scherbengarten* mit zerbrochenen Sinterbildungen und Sinterzwischendecken sowie der *Überwindungsgang*, der zuerst ansteigt und dann in kleinere Schächte übergeht, zu nennen. Das *Vordere Horizontalsystem* fällt generell gegen NNE ab. Um die in 40 m Tiefe gelegene *Krankenschwesternhalle* (14 x 6 x 5–10 m) zu erreichen sind der 7 m tiefe *WEEE-Schacht* und mehrere kleinere Kletterstellen zu überwinden. Zwei kurze Engstellen – eine davon zeitweise mit Wasserlacke – erschweren die Befahrung nur unwesentlich. Im Bereich des *WEEE-Schachts* und beim eingangsnahen *Bröseltrichter* sind Rundgänge in unter- bzw. überlagernden Etagen ausgebildet. Zwischen diesen Rundgängen wird unter dem 19 m hohen, technisch erkletterten *Messwehr-Schlot* ein kleines Gerinne gefasst, um Wasserparameter zu messen (Exel et al., 2016).

Vorderes Schachtsystem

Ein steinschlaggefährdeter Schacht oder alternativ eine Versturzunterlagerung führen von der *Krankenschwesternhalle* in den *Großen Schacht*, der in drei

Stufen 70 m abbricht. Er ist anfangs nur 2,5 m breit und öffnet sich dann zur *Großen Halle* (35 x 25 m) mit markanten Harnischflächen (Abb. 3). Gegenüber mündet im Deckenbereich der *Salzburger Abgang* ein und bildet einen großen Rundgang (siehe unten). Über Blöcke abklettern erreicht man den störungsgebundenen, nach WSW abfallenden *Zerscherten Gang*. Abgescherte Stalagmiten, zerscherte Gangprofile und Bodensinter sowie von Blöcken zerkratzte Wandsinter belegen eine aktive Linksseitenverschiebung (Plan et al., 2010). Ein Kletteraufstieg führt in eine niedere, unübersichtliche Halle (*Ton-Steine-Scherben*). Im unteren Bereich finden sich reichlich Sinterbildungen (Abb. 4). Ein Gerinne, das vom *Großen Schacht* stammt, fließt in einem breiten Bett aus Feinsediment bis es in Spalten versickert. Etwas tiefer, hinter einem Versturzdurchstieg, liegt der tiefste Punkt der Höhle (-170 m). Ansteigend führt die *Ton-Steine-Scherben* Halle in eine bewettete Versturzzone aus dunklen Kalen und Schiefertönen.

Mittleres Horizontalsystem

Es ist über einen 23-m-Schlot von der *Krankenschwesternhalle* aus zugänglich und erstreckt sich von der schrägen, von zerbrochenen Sinterplatten geprägten *Gelifractshalle* zur *1. Querung*. Sind die Dimensionen anfangs geräumig, so müssen im Bereich der *Krustenkammer* (metallische Überzüge) enge Röhren überwunden werden, bis der zuerst bequeme *Ski-Schuh-Gang* enger werdend in den Raum mit der *1. Querung* leitet. Die bedeutendste Abzweigung ist der *Kristallbeckengang* mit einer ebensolchen Bildung sowie



Abb. 3: Der 70 m tiefe Große Schacht bricht in die Große Halle ab.
Fig. 3: The 70 m-deep Große Schacht leads into Große Halle.

Foto: Lukas Plan



Abb. 4: Sinterbildungen südlich von Ton-Steine-Scherben; der Boden besteht aus Dolomitsand.
Fig. 4: Speleothem formations south of Ton-Steine-Scherben; the floor consists of dolomite sand.

Foto: Lukas Plan



Abb. 5: Mittels schräger Seilbahn wird die 1. Querung überwunden.

Fig. 5: Traversing the 1. Querung on an inclined Tyrolian.

Foto: Lukas Plan

Sinterröhrchen mit Excentriques. Während dieser vermutlich über einen Sedimentsiphon mit dem *WEEE-Schacht* in Verbindung steht, sind zwei weitere Parallelstrecken durchgehend befahrbar. Im vorderen Bereich sind mehrere bis zu 13 m Tiefe, verblockt endende Schächte angelagert, die zum Teil über komplex angeordnete Röhren miteinander in Verbindung stehen. Die 1. Querung überwindet einen 5 m durchmessenden Schacht-Schlot und bietet drei Fortsetzungen (Abb. 5).

Hinteres Schachtsystem

Der Schacht unter der 1. Querung oder ein etwas weniger steinschlaggefährdeter Versturzabstieg in der Halle davor leiten in den gestuften *Flatulenz-Drachen-Schacht* mit insgesamt 109 m Tiefe und deutlicher Wetterführung. Die *Flatulenz-Drachen-Halle* an seinem Grund misst 25 x 10 m und wird von Blöcken geprägt und untergliedert. Die einzigen Fortsetzungen sind ein kurzer, verzweigter Horizontalteil hinter einer ausgeräumten Engstelle im NE und ein Versturzungsgang mit Raumerweiterung im Süden. Letzterer ist nur durch einen 10 m mächtigen Versturz von der *Großen Halle* getrennt.



Abb. 6: Die SenfTube, eine phreatische Röhre, in der zerbrochene Stalagmiten von ehemaliger Eisführung zeugen.
Fig. 6: SenfTube, a phreatic tube where broken stalagmites indicate the former presence of ice.

Foto: Lukas Plan

NW-Halle

Im NE der 1. Querung wird durch weiteres Traversieren des geräumigen Schlotschachts ein kurzer Horizontalteil erreicht, der in die *Nordwesthalle* abbricht. Davor ist ein schräger Rundgang ausgebildet, wo eine Schlotröhre zum höchsten Punkt der Höhle führt (+31 m). Von der Halle wurde ein Gang erklettert, der sich auf drei verstürzt endende Äste aufteilt (zum Teil deutliche Wetterführung). Der höchste liegt nur 20 m südlich und 15 m unter dem tiefsten Punkt einer großen Doline.

Hinteres Horizontalsystem

Dieses setzt jenseits der 1. Querung an und führt als Folge von Gängen (Abb. 6) und kleineren, teils labyrinthischen Röhren bis in eine steil ansteigende Raumerweiterung, die *Rampe*. Zwei weitere Querungen unterbrechen diesen Horizontalteil, wobei der geräumige *Bruchschlund* die Schächte unterhalb der Querungen verbindet. Der Gang nach der 3. Querung ist mit Sediment verfüllt und muss über enge, überlagernde Röhren – paragenetische Bypässe – umgangen werden. Der letzte Abschnitt bis zur *Rampe* weist engräumige, labyrinthische Überlagerungen und Perlsinter auf (Abb. 7).

I-Schlot

Diesen Schachtschlot erreicht man im SE der *Rampe*. 5 m muss zum Grund abgestiegen werden, wo ein Canyon bis zu einer stark bewetterten Engstelle erforscht wurde, deren Erweiterung nicht erfolgreich war. Die technische Erklammerung des *I-Schlots* führte 27 m über dem Grund in einen geräumigen Abschnitt



Abb. 7: Wand- und Perlsinter im Gang zwischen 3. Querung und Rampe.
Fig. 7: Flowstone and popcorn in a gallery between 3. Querung and Rampe.

Foto: Lukas Plan

mit mehreren Ab- und Aufstiegen, die von einer sehr engen Canyonverengung unterbrochen sind. Dieser östlichste Abschnitt der Höhle endet verlehmt bzw. an unerforschten Schloten.

Hinterstes Horizontalsystem

Steigt man schräg die *Rampe* empor, setzt bald der rund 150 m lange *Immer-Mehr-Immer-Mehr-Gang* (*IMIMG*) an, der meist gut begehbar ist. Vor allem seine zweite Hälfte weist reichlich teils reinweiße Sinterbildungen und einige Kalzitkristallbecken auf. An seinem Beginn setzt der *Abschlund* an, eine Folge von zwei Schächten, die an einer bewetterten engen Spalte enden. In der Mitte des *IMIMG* zweigt ein kleinräumiges 3D-Labyrinth, das *Emmental*, ab. Der vom Ende des *IMIMG* weiter nach Norden führende Abschnitt stellt eine Folge von vier Hallen dar. Von der ersten, dem *Kameradschaftsende-Dom*, führt ein Gang zurück, der an einer Lacke mit Humusboden endet, die vermutlich mit einer ebensolchen in einem Seitengang des *IMIMG* in Verbindung steht. Weiter nach Norden leiten die *4. Querung* und kurze Röhren in den *Trichterdom* (20 x 10 x 12 m) mit mehreren großteils erforschten Schacht- und Schlotfortsetzungen. Eine kurze Strecke mit Kletteraufstieg führt in den ähnlich großen *Haldendom* und von dort leitet ein 15-m-Schachtab-

stieg in eine Kluft, von der zur *Normalzeithalle* (15 x 20 x 12 m) hinaufgeklettert werden kann. Sie stellt den nördlichsten Punkt der Höhle dar und weist zwei in 16 bzw. 20 m Tiefe endende Schächte und eine bewetterte Schlotfortsetzung auf. Hier beträgt die Überlagerung zum Grund einer Schachtdoline knapp 45 m (HUBÖ-Doline-504; 1744/504; Plan et al., 2009).

Salzburger Abgang und Halle der Unwilligen

Dieser Teil beginnt mit einem 4-m-Aufstieg beim Bypass nach der *3. Querung*. Er führt teils labyrinthisch und mit etlichen bis zu 22 m tiefen Schachtabstiegen und Schlotaufstiegen Richtung Eingang zurück, wobei ein Ast in den *Großen Schacht* (*Vorderes Schachtsystem*) einmündet. Der vordere Teil ist durch schräge Röhrengänge gekennzeichnet und zeigt Sinterbildungen (Fahnen, Excentriques, Kristallbecken). An Raumerweiterung ist die *Halle der Unwilligen* zu nennen, von der ein Durchschlupf auf einen aus Versturzböcken gebildeten Balkon und weiter in den *Großen Schacht* abbricht. Neben etlichen wenig ausgedehnten, zum Teil labyrinthischen Seitenstrecken sticht das *Perlen-Dead-End* heraus, das von der *Halle der Unwilligen* mit Kletterstellen und einer 12-m-Schachtstufe bergab führt und Sinterbildungen (inklusive Sinterperlen) birgt.

GEOLOGIE DER HÖHLE

Die oberen Teile der Höhle sind im lagunären Dachsteinkalk entwickelt. Im Gegensatz zur Oberfläche, wo an einigen Stellen ein meist W-gerichtetes flaches Ein-

fallen erkennbar ist, sind die Schichtflächen in der Höhle aufgrund der zahlreichen Störungen nicht eindeutig erkennbar. Generell sind die tieferen Teile des



Abb. 8: Harnischfläche mit subvertikaler Striung (Abschiebung) in der Großen Halle. Teilweise sind hier metermächtige Ultrakataklasite ausgebildet.

Fig. 8: Slickenside with subvertical striation (normal fault) in Große Halle. Ultra-cataclasites are locally present along these faults and reach thicknesses in the order of metres.

Foto: Lukas Plan

Oberen Horizontalsystems im Dolomit entwickelt (*Perlen-Dead-End*), wobei aufgrund ihrer Lage über den Leckkogelschichten angenommen werden kann, dass es sich um Waxeneckdolomit handelt. Bei höher liegenden Dolomitvorkommen dürfte es sich um kleinere tektonische Körper handeln, wie im eingangsnahen *Bröseltrichter* oder im *Ski-Schuh-Gang*.

Die Gesteine der Leckkogelschichten an der Basis des Waxeneckdolomits bzw. Dachsteinkalks werden in beiden tieferen Schachtsystemen durchbrochen. In der unteren Stufe des *Flatulenz-Drachen-Schachts* sind die rötlichen Sandsteine und Mergel der Leckkogelschichten als einige Dezimeter mächtige Lage gut sichtbar. An den Wänden des *Großen Schachts* selbst sind sie nur zu erahnen, was an der Großräumigkeit liegt. In einem Seitengang NE davon sind aber metermächtige, rotbraune, fossilführende Mergel aufgeschlossen und am Boden des *Großen Schachts* finden sich Blöcke davon. Die darunterliegenden Bereiche sind im Wettersteindolomit entwickelt, der vorwiegend als Dolomitkataklasit anzusprechen ist. Zehner-

quadratmeter große Harnischflächen und Ultrakataklasite – hier ist das Gestein großteils zu einem feinen Pulver zerrieben – zeugen von bedeutenden tektonischen Bewegungen (Abb. 8).

Die mehrphasige tektonische Deformation des umgebenden Gesteins und die damit einhergehende Ausbildung von Störungen und das Zerbrechen (Kataklase) fand vorwiegend vor der Höhenentstehung statt, dauert aber bis in geologisch jüngste Zeit an, was im *Zerscherten Gang* dokumentiert wurde (Plan et al., 2010). Weitere Spuren aktiver Tektonik finden sich im *Emmental*. Hier sind die Raumprofile an einer WNW-ESE-streichenden Störung (Harnischfläche gemittelt: 350/87; Linear 261/22) um einige Zentimeter linksseitig versetzt. Diese Störung liegt somit annähernd parallel zu der im *Zerscherten Gang* (H: 335/75; L: 245/20). Weitere versetzte Gangprofile finden sich im Bereich der *1. Querung*. Hier scheint es sich aber um Massenbewegungen innerhalb der Höhle zu handeln. Generell weisen besonders die tieferen, im Dolomit liegenden Teile stark zerbrochenes Gestein



Abb. 9: Tektonisch überprägte dunkle Gesteine in Ton-Steine-Scherben.

(a) Walzenförmige mergelige Kalkklasten werden von einer dunklen Matrix aus Schiefertone „umflossen“.

(b) Detail eines Klasten, dessen äußerer Bereich alteriert ist, während der dunkle mergelige Kalk im Kern unverändert geblieben ist.

Fig. 9: Tectonised dark rocks in Ton-Steine-Scherben.

(a) Cylindrical clasts of marly limestone embedded in a matrix of dark shales.

(b) Detail of a clast whose outer part has been altered.

Fotos: Lukas Plan

auf. Im oberen Teil sind es vor allem die tagfernen Teile wie *Kameradschaftsende-Dom*, *Trichterdom* und *Haldendom*, wo das Gestein sehr brüchig ist.

Neben diesen ENE-WSW-streichenden Seitenverschiebungen (Streichrichtung: 065°) gibt es Maxima der Richtungsverteilung bei 020° (NNE-SSW) und 040° (NE-SW). Weitere bedeutende Störungen – sie sind vor allem am 3D-Polygonzug zu erkennen – fallen mittelsteil nach Südwesten (125/35) ein.

Im oberen Bereich der Halle *Ton-Steine-Scherben* sind dunkle, tektonisch stark beanspruchte Gesteine aufgeschlossen. Stellenweise ist zu erkennen, dass walzenförmige und im Anschnitt elliptische Kerne aus mergeligen grauen Kalken von einer Matrix aus dunkelgrauen bis schwarzen, fallweise auch rötlichen oder grünlichen Schiefertonen „umflossen“ werden (Abb. 9). Zwei Proben des Schiefertons wurden im Röntgendiffraktometer analysiert: Probe H1, ein fast schwarzer Schiefertone besteht aus Quarz, Kalifeldspat (vermutlich Sanidin, ein K-Na-Feldspat), Muskovit und wenig Chlorit. H4, ein dunkler, grünlicher Schiefertone besteht aus Sanidin, Muskovit, Chlorit, sowie Eisenoxid (Hämatit oder Goethit). Vor allem der Kalifeldspat bzw. der Sanidin sind für die Kalkalpen untypische Minerale. Bei dem Gestein handelt es sich mit großer Wahrscheinlichkeit um stark alterierte Bereiche der Leckkogelschichten. Diese enthalten Glaukonit (ein grünliches Fe-Al-Phyllosilikat), der als Quelle für das Kalium der Feldspäte gedient haben könnte. Diagenetische Neubildung von Kalifeldspat ist bislang nur aus dunklen Karbonatgesteinen im Verband mit Salinargesteinen an der Kalkalpenbasis bekannt (z.B. Spötl et al., 1998). Inwieweit eine solche Entstehung auch auf das Vorkommen in der Hirschgrubenhöhle zutrifft, bedarf weiterer Untersuchungen.

MORPHOLOGIE UND SPELÄOGENESE

Das obere, vorwiegend im Dachsteinkalk entwickelte Niveau zeigt großteils phreatisch entstandene Raumformen. Diese Passagen sind hauptsächlich zwischen 1865 m (30 m unter Eingangsniveau) und 1910 m (+14 m) angelegt. In der *Krankenschwesternhalle* reicht es bis 1850 m (–45 m) und im *Perlen-Dead-End* fast bis 1815 m (–80 m). Auch der höchste Punkt der Höhle auf 1926 m (+31 m), ein Schlot über der *Nordwesthalle*, ist aufgrund seiner phreatischen Prägung ebenfalls dazuzurechnen. Generell sind die Passagen labyrinthisch angeordnet und eher kleinräumig. Die Gangprofile überschreiten selten 5 m², oft sind nur deutlich kleinere Röhren ausgebildet. Die zwischengeschalteten Hallen wie *Krankenschwesternhalle*, *Kameradschaftsende-*

Dom, *Haldendom* und *Normzeithalle* sind vorwiegend versturztgeprägt, auch münden hier vadose Schloten ein. Die beiden letztgenannten Hallen haben mit etwas über 15 m Durchmesser die größten Grundflächen im oberen Horizontalniveau. Nur wenige Raumerweiterungen zeigen kaum Versturz wie die *Gelifractshalle*, die eher eine schräge, relativ niedere Spalte mit Raumhöhen unter 3 m darstellt.

Diese phreatischen Passagen werden von etlichen vadose geprägten Schloten bzw. Schächten angeschnitten. Viele davon gehen in Canyons über, die rasch unbefahrbar eng werden. Auf längere Strecken befahrbare Canyons konnten bisher nicht entdeckt werden. Das Untere Horizontalsystem, das über zwei vermut-



Abb. 10: Paragenetische Deckenkarren nahe dem WEEE-Schacht.
 Fig. 10: *Paragenetic ceiling half tubes near WEEE-Schacht.*
 Foto: Lukas Plan

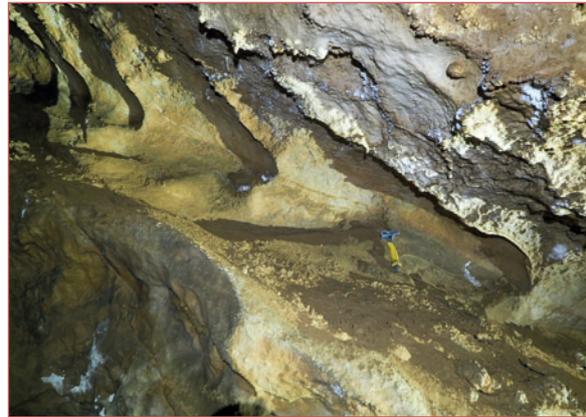


Abb. 11: Ungewöhnlich lange Fließfacetten zwischen 3. Querung und Rampe im oberen Teil des Gangprofils zeigen eine ehemalige Wasserbewegung von rechts (NE) nach links. Hammer als Größenvergleich.
 Fig. 11: *Between 3. Querung and Rampe unusually long scallops in the upper part of the gallery section indicate a palaeo-flow direction from right (NE) to left. Hammer for scale.*
 Foto: Lukas Plan

lich vados entstandene Schachtsysteme zugänglich und großteils im Dolomit ausgebildet ist, weist überwiegend Versturmorphologie auf. Nur in wenigen kleinräumigen Teilen sind phreatische Profile erhalten (Ende *Zerscherter Gang*, wenige Teile in *Ton-Steine-Scherben*, NE der *Flatulenz-Drachen-Halle*).

Generell weist die Höhle im Vergleich zu vielen anderen Höhlen der Nördlichen Kalkalpen eine komplexe Morphologie auf: Fast überall finden sich kleine Kolke, Facetten oder korrosiv erweiterte Fugen und die Fels Oberfläche ist stark durchlöchert. Teilweise sind die ursprünglichen Formen aber durch Sinterbildungen oder Versturzvorgänge unkenntlich. Zusätzlich sind viele Gangabschnitte durch ehemalige Sedimentverfüllung paragenetisch überprägt. An vielen Stellen finden sich paragenetische Deckenkarren (Abb. 10), und etliche kleinräumige, verwinkelte Überlagerungen stellen vermutlich paragenetische Bypässe dar. Somit trägt die Paragenese zum labyrinthischen Charakter wie auch zur komplexen Raummorphologie bei. Fließfacetten sind nur an wenigen Punkten erkennbar. Sehr deutliche Formen sind im Gang zwischen 3. *Querung* und *Rampe* zu finden. Hier ist ein T-förmiges Profil ausgebildet, das wahrscheinlich paragenetisch entstanden ist. Im oberen Profilabschnitt zeigen sich auf beiden Seiten scharfe und ungewöhnlich lange Facetten (Abb. 11). Die Längen variieren zwischen 25 und 120 cm und betragen im Mittel ($n = 11$) 63 cm, was eine Paläofließgeschwindigkeit von nur rund 2 cm/s ergibt (Palmer, 2007). Sie zeigen eine Fließrichtung nach SW bzw. schräg nach oben in diesem leicht ansteigenden Gang. Im unteren Teil des Profils, das einen vermutlich

paragenetisch entstandenen Canyon darstellt, sind nur an wenigen Stellen undeutliche Facetten erhalten, die teilweise mit einer dünnen Sinterschicht überzogen sind. Sie sind recht einheitlich 3–4 cm groß und zeigen eher eine entgegengesetzte Fließrichtung an. Im nördlichen der beiden nach SE abfallenden parallelen Gänge zwischen 2. und 3. *Querung* sind ebenfalls große, deutliche Facetten mit rund 40 cm Länge aufgeschlossen. Sie zeigen ein NW-gerichtetes Aufwärtsfließen. Ein weiterer Aufschluss mit undeutlichen, kleinen (4–5 cm) Fließfacetten befindet sich südlich der Abzweigung ins *Emmental* im *IMIMG*. Sie deuten auf ein südgerichtetes Fließen hin, was mit den langen Facetten übereinstimmen würde.

Vor allem in Passagen im Dolomit (z.B. *Ski-Schuh-Gang*) ist *boxwork* ausgebildet (annähernd rechtwinklig angeordnete, herausgewitterte Kalzitadern mit würfelförmigen Hohlräumen dazwischen).

Andere Raumformen zeigen die Teile unterhalb der Leckkogelschichten, die im Wettersteindolomit-Kataklasit ausgebildet sind. Die vadosen Schächte mit einigen Quadratmetern Querschnitt erweitern sich zu zwei versturzgeprägten Hallen, die die Dimensionen im oberen horizontalen Teil deutlich überschreiten (*Große Halle*: 35 x 25 m). Die von den Hallen ausgehenden Fortsetzungen sind stark verästelt und im Gegensatz zu den oberen Teilen sind hier auch kleinräumige Teile versturzgeprägt. Hier kann angenommen werden, dass nach einer initialen korrosiven Erweiterung vorwiegend mechanische Erosion die Kataklasite ausgeräumt und die relativ großen Räume ausgebildet hat. Im Rückstaubereich des Gerinnes im SW von *Ton-*

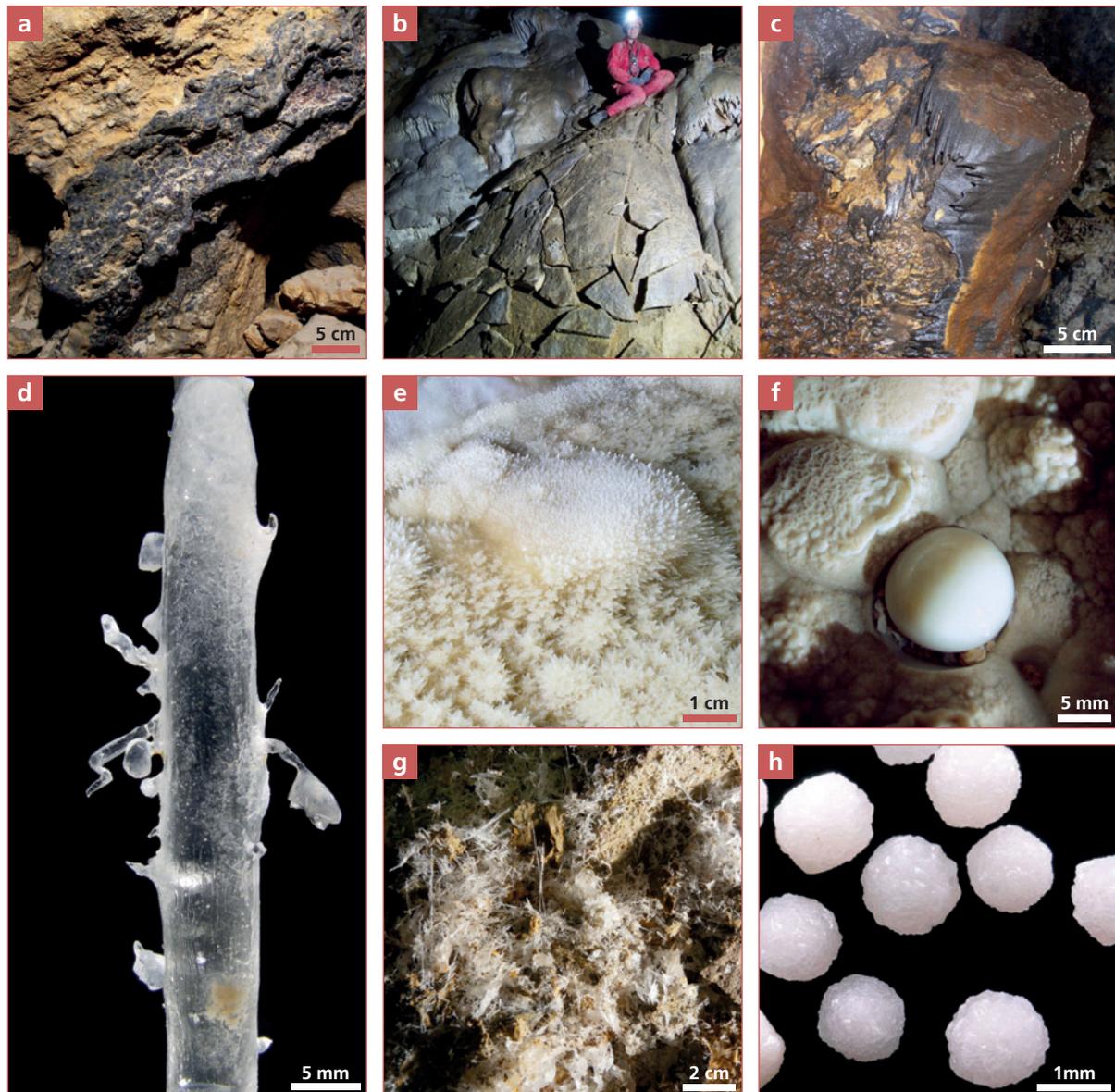


Abb. 12: (a) Einige Millimeter dünne Eisenoxid-Kruste in der Krustenkammer. (b) Gelifracts: Durch Frosteinwirkung abgesprengte Bodensinterstücke wurden später wieder angesintert (Gelifractshalle). (c) Humusreiches Feinsediment im Spritzwasserbereich eines Schlotes (Raum vor 1. Querung). (d) Excentriques auf einem Sinterröhrchen (Kristallbeckengang). (e) Helictites growing on a soda straw (Kristallbeckengang). (f) Sinterperle (Perlen-Dead-End). (g) Gipsnadeln auf Blöcken der Leckkogel Schichten (Ton-Steine-Scherben). (h) Globuliartige Kalzitkugeln aus dem IMIMG.

Fig. 12: (a) Millimetre-thin iron oxide coating in Krustenkammer. (b) Flowstone fragments broken by frost shattering (gelifracts, Gelifractshalle). (c) Humic-rich fine-grained sediment in the splashing area of a shaft (chamber before 1. Querung). (d) Helictites growing on a soda straw (Kristallbeckengang). (e) Small pool with calcite crystals (IMIMG). (f) Cave pearl (Perlen-Dead-End). (g) Gypsum needles on blocks of Leckkogel beds (Ton-Steine-Scherben). (h) Calcite spheres from IMIMG.

Fotos a-g: Lukas Plan, h: Christoph Spötl

Steine-Scherben lagern mehrere Dezimeter mächtige Sande, die vorwiegend aus Dolomit bestehen.

An einigen geneigten Felsflächen in Raumerweiterungen (Rampe, nördlich Gelifractshalle) sind 1–2 dm durchmessende tellerförmige Nischen mit relativ flachem Boden und überhängenden Rändern in die Felsoberfläche korrodiert. Bei einem Vorkommen in der Krustenkammer (zwischen Skischuhgang und

Gelifractshalle), und weniger ausgeprägt auch an anderen Stellen, finden sich dunkelbraune bis schwarze, zentimeterdicke, metallisch wirkende Überzüge an den Wänden (Abb. 12a). Untersuchungen mit dem Röntgendiffraktometer ergaben, dass sie aus Goethit bestehen. Ob die Eisenhydroxid-haltigen Überzüge für die Bildung der tellerförmigen Nischen durch die Oxidation von Eisensulfiden (z.B. Pyrit) und die damit

verbundene Freisetzung von Schwefelsäure verantwortlich sind, kann nur gemutmaßt werden. Denkbar ist auch, dass einzelne Räume ältere, hypogen

entstandenen Relikte sind, die später während der epigenen phreatischen Speläogenese angeschnitten wurden.

SEDIMENTE UND MINERALOGIE

Viele Teile der Höhle sind stark von autochthonem Blockwerk und Bruchschutt geprägt. Neben der tektonischen Deformation spielen auch Forstsprengevorgänge eine große Rolle. Durch Frostsprenge hervorgerufene kantige Sinterbruchstücke, sog. *gelifracts*, finden sich in vielen Teilen der Höhle und belegen ehemalige Temperaturen von unter 0 °C auch in tagfernen Teilen der Höhle während der pleistozänen Kaltzeiten (Abb. 12b). In mehreren Höhlenteilen sind auch massive Tropfsteine umgestürzt, was ebenfalls auf Frostvorgänge und Eisbewegungen in der Höhle zurückgeführt werden kann (z.B. *Gelifractshalle*, *SenfTube*, *IMIMG*, SW-Ende des *Salzburger Abgangs*).

An klastischen Sedimenten treten vorwiegend Feinsand und Silt auf. Aufgrund des hohen Tonmineralanteils werden diese Sedimente als eingeschwemmte Paläoböden interpretiert, die durch Verwitterung von Augensteinsedimenten entstanden, (vgl. Kuhlemann et al., 2008). In den tieferen Teilen oftmals parautochthon vorkommender Dolomitsand wird als Erosionsprodukt der Dolomitkataklase (Dolomitgrus) gedeutet.

Eingeschwemmter Humus bildet in etlichen vadosen Schachtschloten (*1. Querung*) und Canyoneinmündungen (*Skischuhgang*) dunkle Überzüge an den Wänden (Abb. 12c). Im Rückstaubereich mancher Gerinne bildeten sich auch am Boden großflächige Humuslagen (*IMIMG*, *Kameradschaftsende-Dom*).

An vielen Stellen sind Augensteine und Reste von Augenstein-Konglomeraten anzutreffen. Die gut gerundeten Komponenten erreichen Durchmesser von 8 cm, wobei Quarz der häufigste Bestandteil ist. Sie zeugen von einer Sedimentation und teilweisen Wiederausräumung der Höhle und sind zumindest teilweise für die erwähnten paragenetischen Formen verantwortlich. Sie erreichen über 1 m Mächtigkeit beim *WEEE-Schacht*. In den Röhren zwischen *2. Querung* und *Rampe* finden sich zementierte Reste von Augensteinsedimenten vielerorts an den Wänden.

In einer den *Scherbengarten* an seinem Beginn unterlagernden Kammer ist zu erkennen, dass der Boden des *Scherbengartens* nur aus einer wenige Dezimeter dünnen Decke aus Sinter und Augensteinkonglomerat besteht, die sich über später wieder erodierten Augensteinsedimenten gebildet hat. Diese Kammer ist über einen seitlich angelagerten vadosen Schacht erreichbar. Viele Passagen sind nach wie vor völlig

mit Sediment bzw. Sedimentgestein verschlossen. Die Höhle weist für die hohe Lage einen außergewöhnlichen Speläothemreichtum auf. Viele dieser Sinterbildungen sind inaktiv, stark zerbrochen und wirken „sehr alt“. Tatsächlich lieferten Th-U-Datierungen einer Probe aus dem Eingangsbereich ein Alter jenseits der Datierungsgrenze (größer als 400 ka = tausend Jahre). SW der *Krankenschwesternhalle* befindet sich mit 2,5 m Höhe die größte Tropfsteinsäule, der *Covertropfstein* (siehe Die Höhle 55, 2004, Titelbild). In etlichen Höhlenteilen wie im *Scherbengarten*, im *Zerscherten Gang* und vor allem im *IMIMG* gibt es vielfältige Tropfstein- und Bodensinterbildungen, die zum Teil reinweiß oder durchsichtig sind. Oft zeigen winzige, korrosiv entstandenen Rinnen an der Oberfläche, dass die Speläotheme rezent von kalzituntersättigtem Wasser überronnen und korrodiert werden.

U-Th-Datierungen im *Zerscherten Gang* ergaben mindestens zwei Generationen dieser relativ jungen Sinter (Plan et al., 2010). Die ältere umfasst einen Zeitraum zwischen $140,8 \pm 9,5$ und $118,0 \pm 2,6$ ka und die jüngere $9,1 \pm 0,5$ und $5,8 \pm 0,3$ ka. Rezent wachsende Sinterbildungen sind dort nicht nachweisbar. Es zeigt sich, dass die Sinter während Warmphasen (Eem und frühes Holozän) gewachsen sind.

Sinterröhrchen im *Kristallbeckengang* und im *Salzburger-Abgang* tragen excentriquesartige Bildungen (Abb. 12d), eher bäumchenartige zentimetergroße Speläotheme sind nahe dem tiefsten Punkt entwickelt. Im *Zerscherten Gang* und im *IMIMG* fallen Wasserbecken mit nadeligen Kalzitkristallen auf (Abb. 12e). Sinterperlen findet man in Tropfwasserbecken im *Perlen-Dead-End* (Abb. 12f).

Weißer Krusten auf Tropfsteinen und der Wand im *Zerscherten Gang* konnten mittels Röntgendiffraktometrie als Hydromagnesit bestimmt werden. Ähnlich aussehende (auch im UV-Licht) Krusten fallen in vielen anderen Höhlenteilen der oberen Etage auf und weisen auf Dolomit im Umgebungsgestein hin. Nadelige Ausblühungen und Kristalle auf Schiefertonblöcken im Höhlenteil *Ton-Steine-Scherben* sind laut Röntgendiffraktometrie Gips (Abb. 12g).

Weißer Kalzit-Kügelchen von rund 1 mm Durchmesser aus dem *IMIMG*, die an Globuli erinnern, ähneln morphologisch kryogenen Kalziten (Abb. 12h). Die stabilen Isotopenwerte ($\delta^{13}\text{C}$ 1,6 ‰, $\delta^{18}\text{O}$ -6,5 ‰ VPDB) sprechen jedoch gegen eine solche Entstehung.

HYDROLOGIE

Während im oberen Horizontalteil vor allem in Schloten Tropfwässer zu beobachten sind, die bei größerem Wasserangebot zu kleinen Gerinnen anschwellen, tritt im *Großen Schacht* ein Gerinne mit einer winterlichen Schüttung von ~0,1 l/s ein. Es versickert am Schachtgrund im Schutt und ist bis zu seinem endgültigen Versickerungspunkt nördlich der Halle *Ton-Steine-Scherben* zwei Mal im *Zerscherten Gang* anzutreffen. Lehm Spuren von Aufstauungen in diesem Bereich lassen auf Schüt-

tungen von einigen 10 l/s bei Hochwasser schließen. In etlichen, z.T. bis knapp unter die Oberfläche reichenden Schloten bilden sich bei großen Niederschlagsmengen kleine Wasserfälle, wenige führen auch bei längerer Trockenheit schwache Tropfwässer. Einer wurde mit Messeinrichtungen ausgestattet (Pegel, Temperatur und elektrische Leitfähigkeit: Exel et al., 2016) und wird im Rahmen eines Projekts mit Wiener Wasser nach wie vor beobachtet.

METEOROLOGIE

Die Hirschgrubenhöhle weist in der warmen Jahreszeit starke, tagwärts gerichtete Wetterführung auf. Bei niederen Außentemperaturen kehrt sich die Richtung um, was zu Vereisungen im Eingangsbereich führt. Dies lässt auf weitere, höher liegende Tagöffnungen schließen. Der Luftstrom ist bis in die tagfernen bekannten Höhlenteile (*Normzeithalle*) bzw. bis zum Versturz im *Ton-Steine-Scherben* zu verfolgen. Ein bedeutender Luftstrom zweigt Richtung *Nordwestversturz* ab.

Im Gang nach dem *WEEE-Schacht* konnte am 14.12.2003 bei Außentemperaturen von knapp über dem Gefrierpunkt eine Windgeschwindigkeit von 2,7 m/s gemessen werden, was bei einem Gangquerschnitt von ~3 m² eine Luftströmung von ~8 m³/s ergibt. Bei größeren Temperaturunterschieden ist mit noch stärkerer Bewetterung zu rechnen. Die Temperatur in der *Großen Halle* betrug an diesem Tag 1,6 °C.

ZOOLOGIE

Bei einer Befahrung am 22.11.2003 konnte eine Kleine Hufeisennase (*Rhinolophus hipposideros*) nahe dem *WEEE-Schacht* im Horizontalteil beobachtet werden.

Drei im Okt. 2007 geborgene Fledermausskelette wurden als Kleine Bartfledermäuse bestimmt (*Myotis mystacinus*; det. Friederike Spitzenberger).

DANK

Für die Unterstützung bei der Erforschung und Vermessung der Höhle danken wir Ana Baksic, Harald Bauer, Michael Behm, Christian Berghold, Katharina Bürger, Reinhard Fischer, Barbara Funk, Andreas Glitzner, Elisabeth Guggenberger, Matthias Hammer, Eckart Herrmann, Gerlinde Herrmann, Martin Hörzer, Günter Illek, Peter Kalsner, Alexander Klampfer, Peter Kogler, Andreas Muttenthaler, Pauline Oberender, Wendy Reusens, Markus Schafheutle, Peter Straka, Dieter Sulzbacher, Barbara Wielander und Ekaterina Zakharova. Bei den geologischen Untersuchungen in der Höhle halfen Ivo Baron, Bernhard Grasemann, Stephanie Koppensteiner, Michael Meyer, Ivanka Mitrovic und Gerhard Wiesmayr. Finanzielle Unterstützung für die Dokumentation der Höhlen im Einzugsgebiet der Wiener Wasserversor-

gung kam von der MA 31 – Wiener Wasser. Befahrungsmaterial wurde vom Landesverein für Höhlenkunde in Wien und NÖ zur Verfügung gestellt.

Die Röntgendiffraktometer-Analysen wurden von Susanne Gier (Univ. Wien) und Vera Hammer (NHM Wien) durchgeführt, die U-Th-Analysen von Ronny Boch. Anni und Bernd Zandonella sowie Michael Schabhüttl (Häuselalm) und Karl Sattler (Sackwiesenalm) möchten wir für die gute Bewirtung und Unterstützung danken. Dem Forstgut Phyrri sei für die Fahrgenehmigung zur Häuselalm gedankt. Alexander Klampfer, Pauline Oberender und Wilhelm Hartmann korrigierten und ergänzten das Manuskript; Ulrich Meyer und Wolfgang Ufrecht taten dies als Begutachter.

LITERATUR

Bryda, G., van Husen, D., Kreuss, O., Koukal, V., Moser, M., Pavlik, W., Schönlaub, H.P. & Wagreich, M. (2013): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50 000 – Erläuterungen zu Blatt 101 Eisenerz. – Wien (Geol. B.-A.).

Exel, T., Stadler, H., Ottner, F., Wriessnig, K. & Plan, L. (2016): Untersuchungen zum oberflächennahen Wasserspeichervermögen am Hochschwab-Karstplateau. – Die Höhle, 67: 77-87.

- Kuhlemann, J., Taublad, H., Vennemann, T., Dunkl, I. & Frisch, W. (2008): Clay mineral and geochemical composition of Cenozoic paleosol in the Eastern Alps (Austria). – *Austrian J. Earth Sciences*, 101: 60–69.
- Mandl, G., Bryda, G., Kreuss, O., Moser, M. & Pavlik, W. (2002): Erstellung moderner geologischer Karten als Grundlage für karsthydrogeologische Spezialuntersuchungen im Hochschwabgebiet. – Unveröff. Endbericht an die MA31, Wien (Geol. B.-A.).
- Palmer, A.N. (2007): *Cave Geology*. – Dayton (Cave Books).
- Plan, L. (2004): Speläologische Charakterisierung und Analyse des Hochschwab-Plateaus, Steiermark. – *Die Höhle*, 55: 19–33.
- Plan, L. (2016): Hochschwab. – In: Spötl, C., Plan, L. & Christian, E. (Hrsg.): *Höhlen und Karst in Österreich*. – Linz (OÖ-Landesmuseum): 645–660.
- Plan, L. (2019): Die Hirschgrubenhöhle am Hochschwab (1744/450). – *Höhlenkundl. Mitt.*, Wien, 75 (3-4): 31–47.
- Plan, L. & Decker, K. (2006): Quantitative karst morphology of the Hochschwab plateau, Eastern Alps, Austria. – *Z. f. Geomorphologie, Supplement*, 147: 29–56.
- Plan, L., Klampfer, A., Koppensteiner, S. & Behm, M. (2009): Bearbeitete Höhlen in der Hochschwabgruppe im Jahr 2008. – *Höhlenkundl. Mitt.*, Wien, 65 (7-8): 77–87.
- Plan, L., Grasmann, B., Spötl, C., Decker, K., Boch, R. & Kramers, J. (2010): Neotectonic extrusion of the Eastern Alps: Constraints from U/Th dating of tectonically damaged speleothems. – *Geology*, 38 (6): 483–486.
- Spötl, C., Kunk, M.J., Ramseyer, K. & Longstaffe, F.J. (1998): Authigenic potassium feldspar – a tracer for the timing of paleo-fluid flow in carbonate rocks, Northern Calcareous Alps, Austria. – In: *Dating and Duration of Fluid Flow and Fluid-Rock Interaction* (Hrsg. J. Parnell): Geological Society of London Special Publication, 144: 107–128.
- Weißensteiner, V. (1985): Tätigkeitsberichte der dem Verband öst. Höhlenforscher angeschlossenen höhlenkundlichen Vereine für das Jahr 1984: LV. f. Hk. i. d. Steiermark. – *Die Höhle*, 36(2): 52–53.
- Wakonigg, H. (1980): Die Niederschlagsverhältnisse im südlichen Hochschwabgebiet. In: Fabiani, E., Weissensteiner, V. & Wakonigg, H. (Hrsg.): *Grund- und Karstwasseruntersuchungen im Hochschwabgebiet, Teil I.* – Graz (Amt der Steiermärkischen Landesregierung).

ZUSÄTZLICHE ELEKTRONISCHE DATEN



Unter dem Link [hoehle.org/?!=ed/2019_HG](https://www.hoehle.org/?!=ed/2019_HG) ist zusätzliches Material zu diesem Beitrag verfügbar: Grundriss der Hirschgrubenhöhle 1:500 (L. Plan; 2019).

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Die Höhle](#)

Jahr/Year: 2019

Band/Volume: [70](#)

Autor(en)/Author(s): Plan Lukas, Spötl Christoph, Bryda Gerhard

Artikel/Article: [Speläologie und Geologie der Hirschgrubenhöhle am Hochschwab \(Steiermark\) 79-93](#)