Wissenschaftlicher Teil

Entstehung der Nixhöhle

Höhlenklima und Höhleninhalt der Nixhöhle

Höhlenbären in der Nixhöhle

Fledermäuse in der Nixhöhle

Die wirbellosen Tiere der Nixhöhle

Lampenflora und Mikrobiotika der Nixhöhle

Was wissen wir über die Entstehung der Nixhöhle?

Lukas Plan

1. Einleitung

Im Folgenden soll versucht werden, die Entstehung der Nixhöhle bei Frankenfels zu rekonstruieren. Dazu wurden die seit ihrer Entstehung bis heute erhaltenen Raumformen der Höhle und die Sedimente untersucht, um daraus abzuleiten, unter welchen Bedingungen die Höhle entstanden ist. Viele dieser Formen sind in der Nixhöhle lehrbuchhaft ausgebildet. Weiters wurden auch Minerale untersucht – sie brachten zwar keine weiteren Erkenntnisse zur Entstehung der Höhle, jedoch konnten dabei recht seltene Minerale bzw. Mineralformen entdeckt werden.

2. Wo und in welchem Gestein ist die Höhle angelegt?

Die Nixhöhle liegt wie die meisten größeren Höhlen Österreichs in den Nördlichen Kalkalpen. Sie befindet sich allerdings nur 5 km vom Nordrand der Kalkvoralpen entfernt, die hier nur mehr Höhen von knapp über 1000 m Seehöhe erreichen. Der Eingang öffnet sich in 556 m Höhe am steilen Westhang einer auf manchen Karten als Wiesberg bezeichneten Kuppe mit 641 m Höhe. Die höchste lokale Erhebung 3 km südöstlich der Höhle ist der Gromann mit 1076 m, während sich der Nattersbach im Bereich der Höhle auf 474 m Höhe eingeschnitten hat.

Die Nixhöhle weist einen Höhenunterschied von 70 m auf, der tiefste Punkt liegt in 494 m Höhe und somit nur 20 m über dem Niveau des Nattersbachs. Die größte Erstreckung im Grundriss beträgt 240 m in NNE-SSW Richtung. Die Hauptachse der Höhle verläuft also parallel zum Nattersbach. Eine detaillierte Raumbeschreibung findet sich in Hartmann & Hartmann (1987, 1990).

Entgegen früheren geologischen Kartierungen, wo Gutensteiner Kalk als Muttergestein der Nixhöhle ausgewiesen wurde, handelt es sich laut jüngsten Erkenntnissen von Michael Moser (Universität Wien) um den gleich alten, sogenannten Annaberger Kalk. Dieser wurde am Rand des Tethys-Meeres vor rund 245 Millionen Jahren in der Mittleren Trias (Anis) abgelagert. Er ist ein meist dunkelgrauer, feinspätiger – also aus feinen Kalzitkristallen aufgebauter – Kalkstein mit ebenen Schichtflächen (Abb. 1). Er enthält auch einige Fossilien wie Teile von Seelilien (Tiere!), Muscheln und Schnecken. Im Gegensatz zum Gutensteiner Kalk wurde er in einem großteils flachen Bereich des Tethys-Meeres abgelagert – teilweise so flach, dass Sturmfluten ihre Spuren hinterlassen haben (Moser & Piros, 2021).



Abb. 1: Der deutlich geschichtete Annaberger Kalk unweit der Nixhöhle.

Foto: Rudolf Pavuza

Durch klimatisch bedingte Unterbrechungen während der Ablagerung des Kalkschlamms weist das spätere Gestein Schichten auf, die ehemals horizontal lagen. Durch die Gebirgsbildung wurden diese unterschiedlich dicken Kalksteinschichten jedoch aufgefaltet, und im Bereich der Nixhöhle sind sie flach nach Südosten geneigt – also vom Nattersbach in den Wiesberg hinein.

3. Einstmals völlig mit Wasser gefüllt

Die Nixhöhle ist eine typische Karsthöhle. Das bedeutet, dass sie vorwiegend durch die chemische Lösung von Gestein entstanden ist. Im Fall der Nixhöhle war es Grundwasser, in dem geringe Mengen Kohlendioxid aus dem Boden in Form der Kohlensäure gelöst war. Diese schwache Säure kann geringe Mengen von Kalkstein lösen – meist sind es nur wenige zehntel Gramm pro Liter –, aber über lange, „geologische“ Zeiträume reicht dies aus, dass für den Menschen befahrbare Hohlräume, also Höhlen, entstehen können.

Den Anfang machten winzige Schichtfugen und teils auch Störungsflächen im Annaberger Kalk. Störungen entstehen bei der Gebirgsbildung und sind Flächen, an denen sich Gesteinspartien gegeneinander verschieben. Während das Kalkgestein selbst nahezu dicht ist, konnten kleine Mengen an kohlensäurehältigem Wasser durch die Fugen sickern und langsam beginnen, das Gestein aufzulösen und abzutransportieren. Für die Anlage der meisten Teile der Nixhöhle spielte also die Neigung der Schichtflächen eine große Rolle, wie man an den nach Südosten abfallenden Räumen sehen kann.

Die heutigen Gangquerschnitte sind eher elliptisch bis rund und entlang des Führungswegs sieht man, dass die Gänge bergauf und dann wieder bergab führen (Abb.2). Das sind eindeutige Anzeichen, dass die Höhle in ihrer „Wachstumsphase“ vollständig mit Wasser gefüllt war – man spricht in diesem Fall von phreatischen Bedingungen, unter denen die Höhle entstanden ist.



Abb. 2: Typisches Gangprofil in der Nixhöhle; gut sichtbar ist die schräge Schichtfuge (Pfeile), entlang der das Wasser im Anfangsstadium in den Kalkstein eindringen konnte.

Foto: Lukas Plan

Wären die Passagen nur von einem unterirdischen Bächlein über dem Grund- bzw. Karstwasserspiegel gebildet worden, hätten wir vorwiegend hohe und schmale gewundene Canyons oder senkrechte Schächte (= vadose Entstehung).

Mit der Zeit hat sich der Nattersbach aber tiefer ins Gestein eingeschnitten. Dadurch konnten tiefer liegende Quellen entstehen, während höhere versiegten und der Karstwasserspiegel im Berg sich absenkte. Dadurch ist schließlich auch die Nixhöhle (jedenfalls für die allermeiste Zeit) trockengefallen und so war es erst möglich, dass Tropfsteine und andere Mineralgebilde, wie die namensgebende Bergmilch, wuchsen.

Einige Raumformen zeigen uns, dass die Höhle über einen längeren Zeitraum nur bei Hochwässern geflutet war, und für bestimmte Abschnitte der Höhle trifft dies gelegentlich immer noch zu, wie das Hochwasser im September 2024 eindrucksvoll gezeigt hat (→ siehe dazu die Fotodokumentation in diesem Buch). Dabei wurde die Schwinde am tiefsten Punkt der Neubauerhalle 20 m hoch überschwemmt.

4. Was uns die Raumformen erzählen

Wie schon erwähnt, zeigen uns die Quer- und Längsschnitte der Höhle, dass sie einst komplett mit Wasser gefüllt war und die Kohlesäure ringsum das Profil durch Lösung erweitern konnte.

4.1. Höhlenkarren sind Zeugen vieler Hochwässer

Karren sind meist zentimeter- bis metergroße Lösungsformen im Gestein. Auf vielen geneigten, nicht überhängenden Wandpartien der Nixhöhle finden sich sogenannte Höhlenkarren (Abb.3). Diese werden etliche Meter lang, sind meist relativ geradlinig und die V-förmigen Einschnitte sind bis zu 10 cm tief. Während ähnliche Karren an der Oberfläche Rinnenkarren genannt und direkt durch Regenwasser gebildet werden, kann das in der Höhle nicht der Fall sein, da hier kein flächiger Regen fällt. Hier sind es schwankende Wasserspiegel, die Wasser in das auf den Karren liegende Sediment oder in Fugen darüber pressen. Das nach der Flut herausrinnende Wasser läuft in den Rillen ab und erweitert diese durch Lösung. Diese Formen zeigen uns also, dass die Höhle im Laufe ihrer langen Geschichte vielen Flutereignissen ausgesetzt war.



Abb. 3: Mehrere Meter lange Höhlenkarren in der Nixhöhle. Foto: Lukas Plan

4.2. „Zipfelmützenkolke" – ein weiterer Hinweis auf viele Fluten

Einerseits gibt es schräg nach oben ziehende, an Fugen wie Störungen oder Schichtflächen gebundene Kolke (das sind kuppelartige Deckenformen) und gewundene Röhren, die auch oft auf etliche Meter Länge befahrbar sind. Diese Formen kommen in der gesamten Nixhöhle vor, sind aber auch in vielen anderen phreatischen Höhlen häufig zu finden. Andererseits gibt es auch flache, teils runde Kuppeln, wie sie im Geogang häufig zu sehen sind. Eine weitere Form von Kolken wurde jedoch nur aus wenigen Höhlen bisher beschrieben und ist in der Nixhöhle besonders schön ausgebildet: Es sind dies senkrecht nach oben ziehende zipfelmützenartige Kolke (Abb.4). Sie schließen mit einer Rundung ab, weisen aber sonst fast perfekte Kegelform auf und erreichen teils knapp 2 m Höhe.

Ihre Entstehung verdanken sie, wie die Höhlenkarren, einem über einen längeren Zeitraum schwankenden Wasserspiegel. Der Mechanismus, der zu ihrer Entstehung führt, ist aber recht kompliziert: Voraussetzung ist, dass das bei der Flut in die Höhle eindringende Wasser gänzlich oder nahezu mit Kalziumkarbonat (dem Mineral, aus dem der Kalk besteht) gesättigt ist und das Wasser eigentlich kaum mehr Kalk an den Wänden und der Decke lösen kann. Beim Steigen des Wasserspiegels

wird in einer Vertiefung an der Decke eine Luftblase eingeschlossen. Das weitere Ansteigen des Wassers bewirkt, dass der Luftdruck in der Blase steigt und dadurch auch der CO_2-Partialdruck. Jedenfalls führt es dazu, dass Kondenswasser an der Höhlendecke über der Luftblase mit Kohlendioxid angereichert und zur Kohlensäure wird, die das Gestein über der Blase lösen kann. Wenn sich dieser Vorgang bei vielen – vermutlich sind es tausende – Flutereignissen wiederholt, führt es zur Ausbildung der über meterhohen „Zipfelmützenkolke". Im Fachjargon heißen sie *Condensation Corrosion Cupolas* („Kondenswasser-Korrosions-Kolke") oder *Tube Karren* („Röhrenkarren" → Simms, 2002; Dreybrodt et al, 2005).



Abb. 4: Blick senkrecht nach oben in einen der „Zipfelmützenkolke" der Nixhöhle. Der Durchmesser an der Basis beträgt ca. 20 cm und die Höhe knapp 1 m. Foto: Lukas Plan

4.3. Deckenkarren zeugen von viel Sediment

Auch an den Decken etlicher Räume finden sich gewundene, durch Lösung entstandene Kanäle, die Querschnitte wie ein verkehrtes U aufweisen (Abb.5). Ihre Position an der Decke macht klar, dass sie nicht durch abfließendes Wasser entstanden, und es hat tatsächlich lange gedauert, bis ihre Entstehung schlüssig erklärt werden konnte. Heute geht man davon aus, dass sie entstehen, wenn die Gänge fast vollständig mit Sediment (z.B. Sand oder Lehm) gefüllt sind. Zwischen dem Sediment und der Decke bilden sich kleine Wasserwege aus und das leicht aggressive, kohlensäurehältige Wasser kann nur hier Gestein entlang der Decke lösen. Diese Deckenkarren zeichnen also die Wasserwege zwischen dem Sediment und dem Gestein nach. Sie zeigen uns, dass die Höhle einstmals mit Sediment verfüllt war, das zu einem späteren Zeitpunkt wieder von Wasser mit höherer Fließgeschwindigkeit abtransportiert wurde. Der Entstehungsmechanismus wird in der Fachsprache als anti-gravitative Erosion oder Paragenese bezeichnet (Pasini, 2009; Farrant & Smart, 2011). In der Nixhöhle sind meist nur Kanten betroffen, die von der Decke herabhängen und die Deckenkarren enden beiderseits abrupt. Dies deutet darauf hin, dass die Räume nur teilweise (bis zum Ansatz der Deckenkarren) mit Sediment verfüllt waren.



Abb. 5: Von Deckenkarren überprägte Höhlendecke. Die einzelnen Karren sind rund 10 cm breit. Foto: Lukas Plan

4.4. Fließfacetten zeigen, wie schnell und wohin das Wasser floss

In Höhlenteilen, die bei der Entstehung vollständig mit Wasser gefüllt waren, kann man die ehemalige Fließrichtung nicht von der Neigung des Ganges ableiten, zumal die Gänge in der Nixhöhle bergauf- und dann wieder bergab verlaufen. Die Strömungsrichtung war nicht direkt von der Schwerkraft vorgegeben, sondern vom Druckunterschied: Unter Druck stehendes Wasser kann bekanntlich auch bergauf fließen. Die Strömung führt aber zur Bildung von Wirbeln im Wasser und diese können Spuren an der Gesteinsoberfläche hinterlassen: Es entstehen sogenannte Fließfacetten. Das sind flächig auftretende, muschelförmige Vertiefungen im Gestein. Sie haben eine steilere und eine flachere Seite, wobei die steilere in die Richtung weist, aus welcher das Wasser strömte (Abb.6). Außerdem ist ihre Länge von der Fließgeschwindigkeit des Wassers abhängig. Kleine Formen bilden sich im schnell fließenden Wasser und lange Fließfacetten zeigen langsames Fließen an. Hier sollte angemerkt werden, dass Höhlen normalerweise nur während Flutereignissen erweitert werden. Nur wenn größere Wassermengen schnell genug fließen, schaffen es kalkaggressive Wässer, tief in den Berg zu gelangen, bevor die Lösungskapazität der Kohlensäure aufgebraucht ist und kein Kalkstein mehr gelöst werden kann. Die von Fließfacetten abgeleitete Fließgeschwindigkeit ist also immer die, die während Flutereignissen geherrscht hat.

In vielen Teilen der Nixhöhle, vor allem in den oberen Teilen der Gangquerschnitte finden sich undeutliche Facetten. Lediglich im unteren Teil des Bärenganges können diese eindeutig als Fließfacetten interpretiert werden. Sie zeigen eine ehemals aufwärts- bzw. nord-gerichtete Strömung parallel zum Nattersbach an. Die Fließfacetten haben eine durchschnittliche Länge von rund 20 cm, woraus eine Fließgeschwindigkeit von 0,15 Metern pro Sekunde (≈0,5 km/h) abgeleitet werden kann (Palmer, 2007). Man darf sich also in der Höhle, selbst bei Hochwässern, keine reißende Strömung vorstellen, sondern lediglich ein eher gemächliches Dahinfließen. Die Art der Spuren des Hochwassers vom September 2024 weisen ebenfalls darauf hin.



Abb. 6: Blick schräg nach oben auf Fließfacetten an der Decke. Sie zeigen eine ehemalige Fließrichtung nach rechts oben. Vom Maßstab (unten rechts der Mitte) sind 6,5 cm sichtbar. Foto: Lukas Plan

5. Augenstein-Sedimente und das Alter der Höhle

Auch die Höhlensedimente sind für die Entwicklungsgeschichte der Nixhöhle von Bedeutung. Hier sollen vornehmlich die sogenannten klastischen Sedimente betrachtet werden, die durch Zerbrechen von Gesteinen entstehen und verschiedene Korngrößen von Ton (kleiner 0,002 mm) über Sand bis Kies (ab 2 mm) und größer umfassen, wobei die an Ort und Stelle durch Zerbrechen des Muttergesteins entstandenen, meist eckigen Blöcke für die Rekonstruktion der Höhlenentstehung nicht relevant sind.



Interessanter sind ortsfremde Gesteinsbruchstücke, die einen Transport hinter sich haben, durch Abrollen gerundet sind und uns über die Herkunft der Wässer, die einst die Höhle formten, Auskunft geben können. Moderne Untersuchungen an der Zusammensetzung der Sedimente der Nixhöhle gibt es nicht, aber schon 1926 erwähnte Michael Müllner Quarzkörner, die er als sogenannte Augensteine interpretierte (Abb.7). Augensteine sind Sande und Kiese, in denen viel Quarz vorkommt und die heute verstreut auf etlichen Plateaus der Nördlichen Kalkalpen liegen. Vor rund 35 Millionen Jahren lagen die Kalkalpen nur wenig über dem Meeresspiegel des damals noch im Norden (im heutigen Donauraum) gelegenen Molassemeeres. Flüsse aus den damals bereits emporgehobenen Zentralalpen konnten daher über die Kalkalpen nach Norden fließen und ihre Sedimentfracht ablagern.

Abb. 7: Höhlensediment in der Neubauerhalle mit einzelnen bis 2 mm großen Quarzkörnern (gelbe Kreise). Foto: Lukas Plan

Reste dieser Ablagerungen finden sich heute noch auf vielen Kalkalpen-Plateaus wie Steinernes Meer, Dachstein, Hochschwab und Rax, und werden als Augensteine bezeichnet. Das ist eine alte Bezeichnung aus dem Volksmund, da die oft weißen Quarze an Augen erinnern und ihnen heilende Wirkung bei Augenleiden nachgesagt wurde. Auf den Plateaus der Voralpen wurden bislang jedoch keine Augensteine gefunden.

Eingehendere Untersuchungen der Sedimente der Nixhöhle wurden von Riedl (1960) unternommen. Auch er bestätigt in einigen Profilen, die aus unterschiedlichen Anteilen von Ton und Kiesen bis 1 cm Größe zusammengesetzt sind, dass Quarz der vorherrschende Bestandteil ist. Belege, dass die Quarze dieselbe Herkunft haben wie die Augensteine, stehen derzeit noch aus, aber umgekehrt gibt es auch keine andere zufriedenstellende Erklärung. Jedenfalls wäre es das nördlichste Vorkommen dieser von Quarz dominierten Gerölle aus den Zentralalpen, denn das nördlichste Vorkommen an der Oberfläche liegt am Rainstock, der 8 km südlich (und etwas westlicher) liegt, und das nördlichste in Höhlen ist im Geldloch am Ötscher bzw. im deutlich weiter im Westen liegenden Nixloch bei Losenstein zu finden.

Quarzhältiges Höhlensediment bietet Geowissenschaftlern die Möglichkeit zu bestimmen, wann die Quarze letztmalig nahe der Oberfläche lagerten. Dort entstehen nämlich durch kosmische Strahlung aus dem Silizium im Quarz unterschiedliche radioaktive Teilchen (sog. Isotope); von Interesse sind Beryllium-10 und Aluminium-26. Sobald die quarzhaltigen Sedimente von anderen Sedimenten überdeckt oder in die Höhle eingeschwemmt werden, wird der Quarz von der Strahlung abgeschottet und der radioaktive Zerfall verändert die Verhältnisse der beiden Isotope. Durch sehr aufwändige und kostspielige Verfahren können deren Gehalte analysiert und jener Zeitpunkt berechnet werden, wann der Quarz in die Höhle eingeschwemmt wurde. Wenn die Umstände darauf hindeuten, dass dieses Sediment während der Entstehungsphase der Höhle abgelagert wurde, ist es damit möglich, ein ungefähres (Mindest)Alter der Höhle zu datieren.

In einem umfangreichen Projekt der Universitäten Salzburg und Graz, an dem auch der Autor dieses Beitrages beteiligt war, ging es darum, die Hebungsgeschichte (Zeitpunkte und Geschwindigkeiten) in den Ostalpen zu rekonstruieren. Da bestimmte Höhlenteile im Niveau der Talböden entstehen, spielte die Bestimmung der Einschwemmalter von Quarzen in Höhlen eine zentrale Rolle in dem Projekt. Wenn man weiß, zu welchem Zeitpunkt eine heute hoch oben am Berg gelegene Höhle einstmals im Talniveau gebildet wurde, kann man ausrechnen, wie schnell sich das Tal eingeschnitten bzw. der Berg gehoben hat. Aufgrund der außergewöhnlichen Lage der Quarze in der Nixhöhle wurde auch hier eine Probe genommen und in einem Speziallabor in Glasgow analysiert. Es wurden 155.000 Atome Beryllium-10 und 538.000 Atome Aluminuim-26 pro Gramm Quarz gemessen, was ein Alter von 1,4 Mio. Jahren ergibt (wobei der Fehler dieser Analyse bei 0,3 Mio. Jahren liegt; Stüwe et al., 2025, eingereicht).

Leider passt dieses hohe Alter nicht zum erwarteten Ergebnis. Aufgrund der Lage der Nixhöhle relativ knapp über dem heutigen Bachniveau und der Tatsache, dass sie nach wie vor von Hochwässern geflutet wird, kann man aufgrund von plausiblen Datierungsergebnissen aus anderen Höhlen ähnlicher unvergletscherter Regionen (z.B. Hermannshöhle) schließen, dass sie vermutlich „nur“ einige 100.000 Jahre alt ist. Auch andere in dem erwähnten Projekt ermittelte Alter passen nicht recht zu dem hohen Wert für die Nixhöhle. Möglicherweise lagerten die Quarze in höher gelegenen und uns unbekannten Höhlenteilen, bevor sie wieder vom Wasser erfasst wurden und in die heute bekannten Teile der Nixhöhle transportiert wurden.

5.1. Besondere Minerale

Im Zuge der Untersuchungen zu den Raumformen der Nixhöhle wurden auch einige Proben von Höhlenmineralen entnommen, denn auch diese können unter Umständen Aufschluss über die Entstehungsgeschichte der Höhle geben. Im Gegensatz zu den oben beschriebenen klastischen Sedimenten sind diese sogenannten chemischen Sedimente an Ort und Stelle durch Ausfällung aus wässrigen Lösungen entstanden. Untersucht wurden die Proben im Röntgendiffraktometer, welches es

ermöglicht, Minerale aufgrund von charakteristischen Beugungswinkeln von Röntgenstahlen am Kristallgitter zu bestimmen.

Über die namensgebendene Bergmilch wird in einem anderen Kapitel ausführlich berichtet (→ Pavuza, 2.4.). Hier soll daher nur kurz erwähnt werden, dass die Untersuchung von zwei weiteren Bergmilchproben ebenfalls reinen Kalzit ergab.

Ungewöhnlicher sind indessen weiße, gebogene Mineralfasern, die in einer kranzförmigen Anordnung aus der Höhlenwand wachsen. Die Länge der Strahlen beträgt rund 0,5 cm und die Durchmesser der Kränze meist 2 cm. Die Vermutung war, dass es sich um Gips handelt, da ähnlich aussehende Gebilde als Gipsblumen bezeichnet werden. Dies wurde durch die Untersuchung im Röntgendiffraktometer bestätigt. Gips besteht aus Kalziumsulfat ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), und die Gipsblumen entstehen, wenn im Gestein Eisensulfide wie Pyrit (FeS_2) eingelagert sind. Kommt dieses Eisensulfid mit sauerstoffreichem Wasser aus der Höhle in Kontakt, wird das Sulfid oxidiert und es entsteht letztendlich Schwefelsäure, die den umgebenden Kalzit des Höhlenmuttergesteins in Gips umwandelt. Dies ist mit einer Zunahme des Volumens verbunden und der Gips wird aus der Höhlenwand gepresst. Die Nixhöhle beherbergt für Österreich ungewöhnlich schön ausgebildete Gipsblumen (Abb.8).



Abb. 8: Gipsblume aus der Nixhöhle mit 2,5 cm Durchmesser.

Foto: Lukas Plan

Weiters wurden kleine Proben von verschiedenen glitzernden Mineralausblühungen genommen. Dabei wurde ein recht seltenes Höhlenmineral nachgewiesen: Coelestin, ein Strontiumsulfat ($SrSO_4$). Es handelt sich um knapp millimetergroße farblose bis blassblaue Kristalle an der Höhlenwand (Abb.9). Coelestin ist weltweit ein seltenes Höhlenmineral und wurde bisher nur in zwei anderen österreichischen Höhlen nachgewiesen: in der relativ nahe gelegenen Schachernhöhle (1866/9) bei Hohenberg und in der längsten Höhle des Landes, dem Schönberg-Höhlensystem bei Bad Ischl im Toten Gebirge (1626/300; Bieniok & Knobloch, 2016). Das für die Bildung von Coelestin nötige Strontium ist in Gesteinen der Mittleren Trias wie dem Annaberger oder Gutensteiner Kalk nicht selten, und Coelestin-Kristalle wurden auch in einem Kalksteinbruch bei Ramsau (nahe Hainfeld) und einem Stollen bei Göstling an der Ybbs gefunden (www.mindat.org).

Die Bildung des Coelestins erfolgt analog zu der des Gipses.



Abb. 9: Mineralausblühungen in der Nixhöhle mit Coelestin, der sich durch einen blassblauen Farbton auszeichnet (Bildbreite zirka 2 cm). Foto: Lukas Plan

6. Resümee

Die Nixhöhle ist eine für die Kalkvoralpen typische Höhle, die unter vollständiger Wassererfüllung entstanden ist bzw. über einen langen Zeitraum bei Hochwässern geflutet war, wie uns die Höhlenkarren und die Zipfelmützen-Kolke zeigen. Fließfacetten zeigen an, dass das kohlensäurehältige Wasser recht langsam parallel zum heutigen Nattersbach floss und dabei vor allem entlang von Schichtfugen und untergeordnet an Störungen den Annaberger Kalk löste. Obwohl eine Altersdatierung kein plausibles Ergebnis brachte, kann ein Mindestalter der Höhle von einigen 100.000 Jahren abgeschätzt werden. Ungewöhnlich für eine voralpine Höhle sind quarzreiche Kiese und Sande, die wahrscheinlich über weite Strecken (zumindest 40 km) von ehemaligen Flüssen aus südlichen Richtungen transportiert wurden und so der Augenstein-Formation zugerechnet werden können. Deren Komponenten wurden vor rund 35 Mio. Jahren südlich der Kalkalpen abgetragen. Diese unlöslichen Sedimente verfüllten viele Höhlenabschnitte zu einem großen Teil, wie wir aus den Deckenkarren ablesen können: Alle bekannten Gänge enden nach wie vor an Verschlüssen mit Sediment.

Neben der namensgebenden, teils meterdicken Bergmilch und verschiedenen „normalen“ Sinterbildungen aus Kalzit gibt es in der Nixhöhle seltene Gipsblumen. Ferner wurde das in österreichischen Höhlen sehr seltene Mineral Coelestin nachgewiesen.

7. Dank

Dank geht an Anna Berger, Vera Hammer und Uwe Kolitsch vom Naturhistorischen Museum Wien, die bei der Probenahme und den Mineraluntersuchungen halfen. Gerit Gradwohl war bei der Beprobung der Augensteine beteiligt, und Jörg Robl und Kurt Stüwe leiteten das Projekt, in Rahmen dessen das Einschwemmalter bestimmt wurde.

8. Literatur

Bieniok, A. & Knobloch, G. (2016): Höhlenminerale. – In: Spötl, C., Plan, L. & Christian, E. (Eds.): Höhlen und Karst in Österreich. – OÖ-Landesmuseum, Linz: 97-112.

Dreybrodt, W., Gabrovšek, F. & Perne, P., (2005): Condensation corrosion: a theoretical approach.– Acta Carsologica, 34 (2): 317–348.

Farrant, A.R. & Smart, P.L. (2011): Role of sediment in speleogenesis; sedimentation and paragenesis. – Geomorphology, 134: 79–93.

Hartmann, H. & Hartmann,W. (1990): Die Höhlen Niederösterreichs, Band 4. – Die Höhle, Beihefte 37.

Hartmann, H. & Hartmann, W. (1987): Zur Neuvermessung der Nixhöhle bei Frankenfels (1836/20). – Höhlenkundl. Mitt. Wien, 43 (6): 128-134.

Moser, M. & Piros, O. (2021): Lithostratigraphic definition of the Anisian carbonate-ramp deposit of the Annaberg Formation (Middle Triassic, Northern Calcareous Alps, Austria). – Geologica Carpathica, 72, (3): 173–194.

Müllner, M. (1926): Die Nixhöhle und Gredlhöhle bei Frankenfels an der Mariazellerbahn. – Natur und höhlenkundl. Führer durch Österr., Bundeshöhlenkommission, 9 – Wien (Verlag der NÖ Landessammlungen).

Palmer, A. (2007): Cave Geology. – Daton (Cave Books).

Pasini, G. (2009): A terminological matter: paragenesis, antigravitative erosion or antigravitational erosion? – International Journal of Speleology, 38(2): 129-138.

Plan, L. & Spötl, C. (2016): Epigene Karsthöhlen. – In: Spötl, C., Plan, L. & Christian, E. (Eds.): Höhlen und Karst in Österreich. – OÖ-Landesmuseum, Linz: 35-48.

Riedl, H. 1960: Formengebung und Sedimententstehung in der Nixhöhle bei Frankenfels (NÖ). – Die Höhle (Wien), 11 (2): 33-45.

Simms, M.J. (2002): The origin of enigmatic, tubular, lake-shore karren: a mechanism for rapid dissolution of limestone in carbonate-saturated waters. – Physical Geography, 23 (1): 1–20.

Stüwe, K, Robl, J., Gradwohl, G., Fabel, D, Stuart, F., Plan, L. & Ruszkiczay-Rüdiger, Z. (2025, eingereicht): Uplift of the Eastern Alps. Was it much faster than we thought? – Earth Science Reviews., https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2025.105374

Höhlenklima und Höhleninhalt der Nixhöhle

Rudolf Pavuza

1. Höhlenklima

Beim Betreten einer Höhle fällt dem Besucher fast immer der deutliche Unterschied zur Außenluft auf: Im Sommer wirkt die Höhle kühl (bis sehr kalt) – im Winter hingegen zumeist merklich wärmer als die Luft im Freien. Dem Brillenträger beschlägt es dann zumeist die Brille (→ 1.3.1.).

Man kann das Temperaturverhalten vieler Höhlen durchaus mit jenem etwas tieferer Keller vergleichen: Die Lufttemperatur ist ganzjährig relativ ausgeglichen mit nur geringen jahreszeitlichen Schwankungen. Sie liegt dabei naturgemäß in der Größenordnung des Jahres-Temperaturmittels der Außenluft in der Umgebung der Höhle. Die (relative) Luftfeuchte indessen ist in unseren Breitengraden fast immer sehr hoch – vielfach erreicht sie 100 %.

1.1. Temperaturverhältnisse in der Nixhöhle und in ihrer Umgebung

Um die kurz- und langfristigen Temperaturänderungen in der Nixhöhle zu dokumentieren, waren ab Herbst 2006 an drei Stellen in der Höhle sowie beim Höhlenführerhaus oberhalb des Einganges automatische Datenlogger (testo 174) installiert, die die Temperaturwerte alle 4 Stunden registrierten (→ Abb. 1).

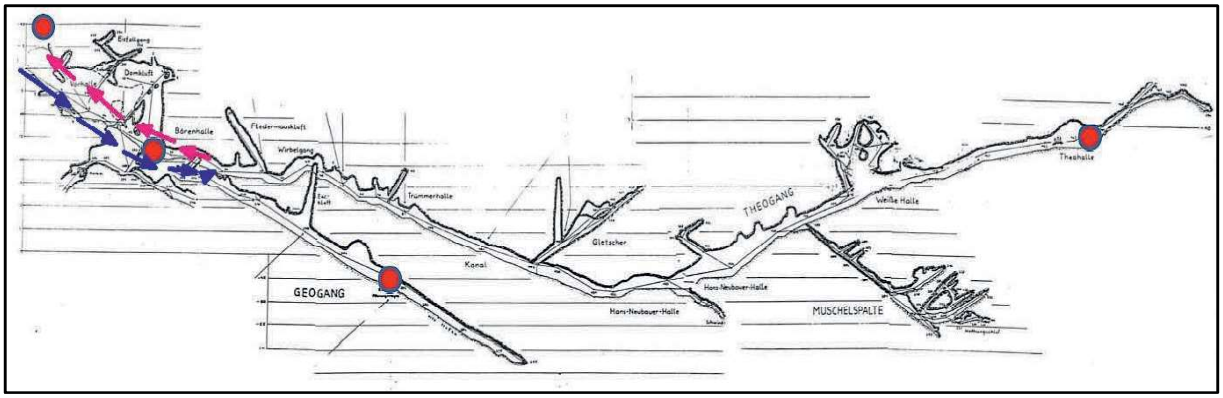


Abb. 1: Messstellen mit Temperatur-Datenloggern in der Nixhöhle (Längsschnitt) sowie die winterliche Luftbewegung im eingangsnahen Bereich (blau-rote Pfeile)

Die Logger wurden jährlich getauscht, ausgelesen sowie vor und nach der Messkampagne mittels eines BEV-geeichten Präzisions-Glasthermometers in einer thermisch isolierten Box rekalibriert. Trotz Schutzmaßnahmen kam es verhältnismäßig oft zu Ausfällen durch eindringende Feuchtigkeit, aber auch durch die zunehmend stark schwankende Qualität der verwendeten Batteriezellen. Dennoch konnten etliche vollständige Jahresgänge registriert und auch der besonders interessante Langzeittrend im entferntesten Höhlenbereich (Theahalle) gut erfasst werden.

Recht rasch war zu erkennen, dass die Höhle im Sommer – durch den abfallenden Eingangsteil und offensichtlich fehlende wetterführende Fortsetzungen – keine nennenswerte Luftbewegung aufweist. Im Winter indessen fließt die im Vergleich zur Höhle kältere Außenluft im Bodenbereich hinein bis unterhalb der Bärenhalle, wobei ihre stetige Erwärmung durch den Kontakt mit dem umgebenden Gestein erfolgt. Gleichzeitig strömt (vergleichsweise) warme Höhlenluft im Deckenbereich Richtung Ausgang, wodurch sich ein lokaler Luftkreislauf ausbildet, der aber eingangsfernere Abschnitte nicht erreicht (→ Abb.1). Die Nixhöhle kann daher höhlenwettermäßig als „pseudostatisch“ bezeichnet werden.

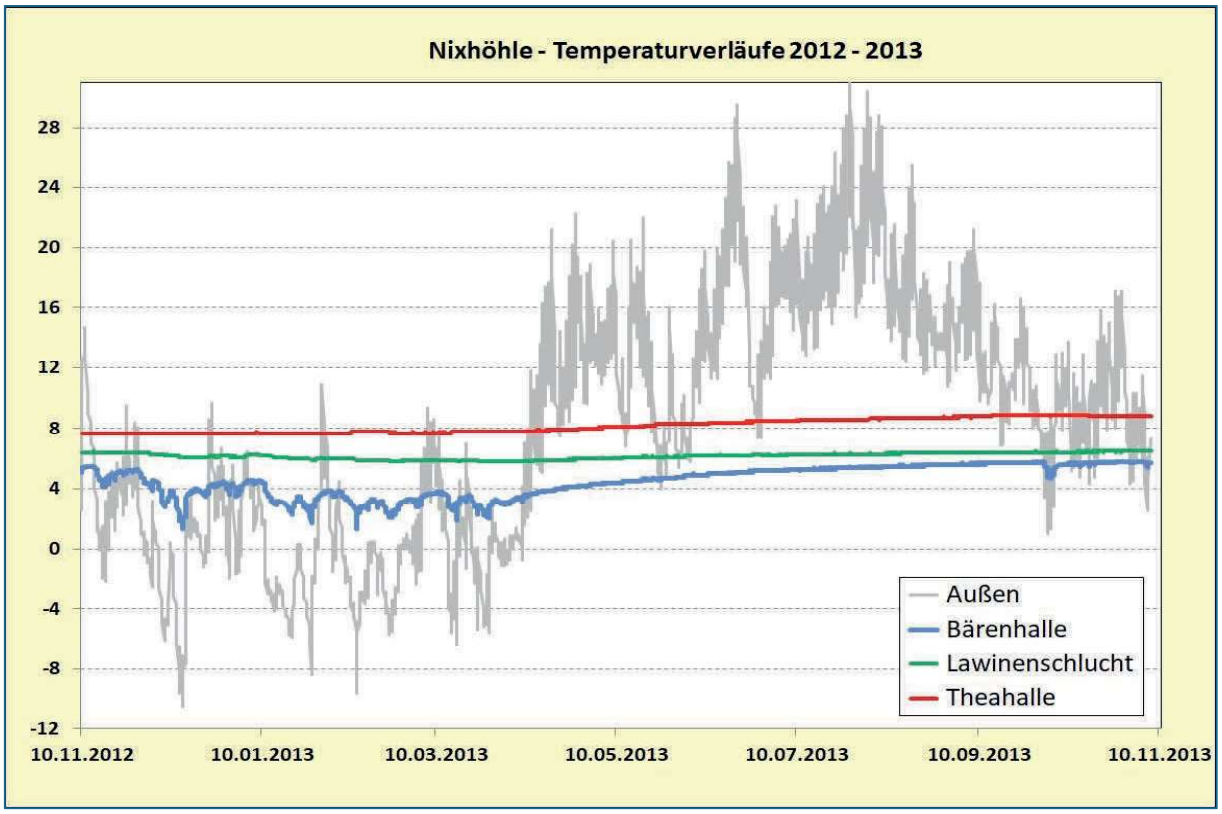


Abb. 2: Typischer Jahresgang (2012/2013) der Messstellen in der Höhle sowie beim Höhlenführerhaus

Betrachtet man den Temperaturverlauf im Detail vergleichend an einem Hochwinter- und Hochsommertag, so erkennt man den Wetterweg (→Abb.1) in den Kurven auf den Abbildungen 2 und 3 (→rechtes Diagramm): Nur der relativ eingangsnahe Bereich „Stiege“ zeigt im Winter eine Zyklik, die der Außenlufttemperatur entspricht.

Die anderen Höhlenteile weisen eine konstante Temperatur auf. Im Sommer bleibt auch diese eingangsnahe Messstelle von der Außenluft gänzlich unbeeinflusst (→Abb. 3 – linkes Diagramm).

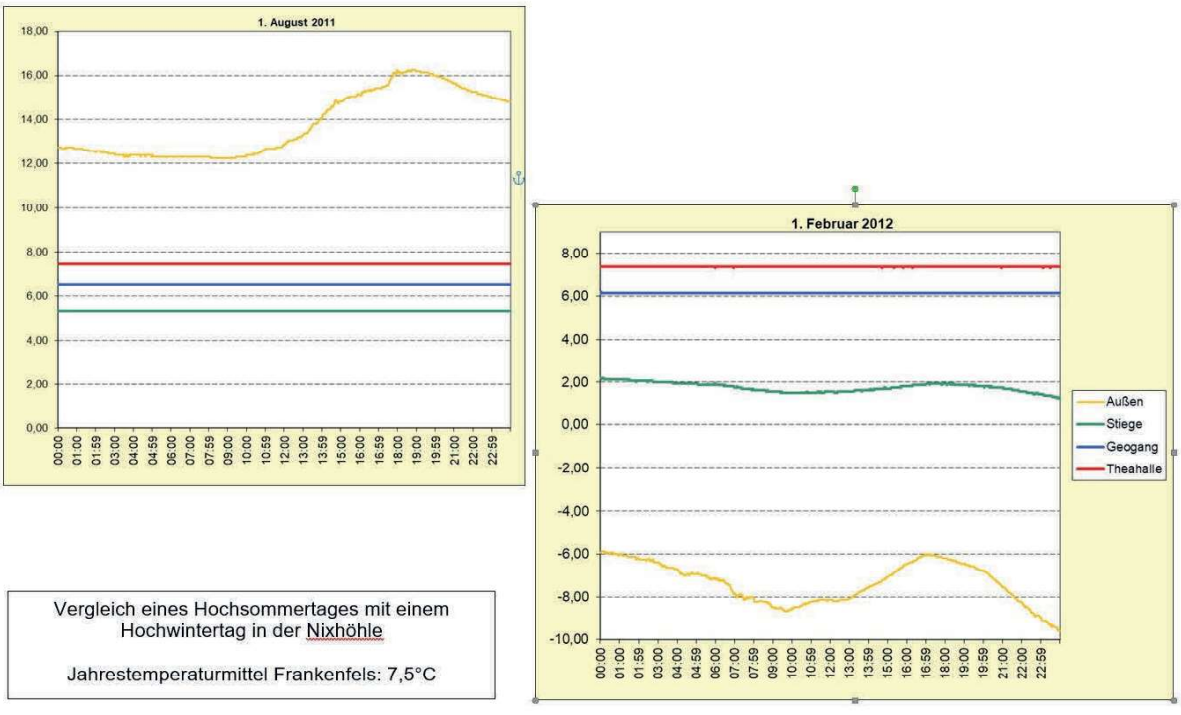


Abb. 3: Unterschiede zwischen einem Hochsommer- und einem Hochwintertag in der Nixhöhle

Vielleicht am interessantesten ist jedoch die Temperaturentwicklung in der Theahalle, dem eingangsfernsten Abschnitt der Nixhöhle, gleichzeitig aber jener Höhlenteil, der (abgesehen vom heutigen Höhleneingang) der Oberfläche am nächsten ist. Gemäß der letzten Höhlenvermessung (1985-1987) dürften vom höchsten Punkt der Theahalle nur mehr rund 10 Meter bis zur Oberfläche fehlen. Allerdings gibt es am Endpunkt keine merkbare Wetterführung und auch keine sonstigen Anzeichen der Oberflächennähe, wie etwa eingeschwemmte Blätter.

Über das Jahr herrscht in der tropfsteinreichen Theahalle ein weitgehend ausgeglichenes Temperaturregime, das nur durch die Besuchergruppen im Sommerhalbjahr merklich beeinträchtigt wird.

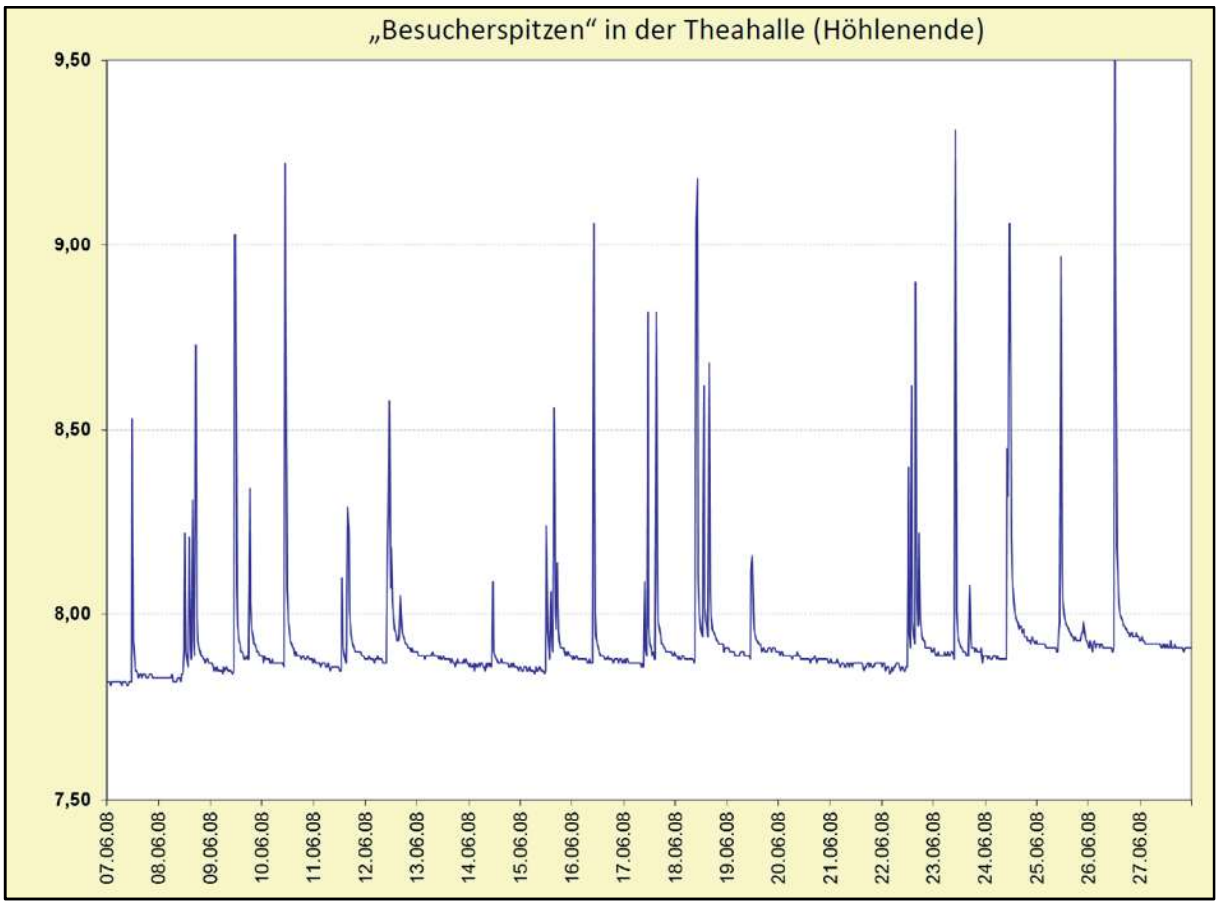


Abb. 4: Temperaturentwicklung in der Theahalle im Juni 2008 mit „Führungsspitzen“ (gemessen mit M-Log/GeoPrecision, Auflösung 0,01°C)

Zwischen den Besuchergruppen fällt die Temperatur exponentiell ab, ein stabiler Wert wird bis zur nächsten Besuchergruppe jedoch nicht erreicht. Generell ergibt sich dadurch ein extrapolierter Anstieg um ca. 0,1°C pro Monat, der in diesem Höhlenbereich im Sommerhalbjahr wohl größtenteils dem Besuchereinfluss zugeschrieben werden kann.

Damit wird aber auch erkennbar, dass sich die Sommertemperaturen – und damit leider auch die Jahresmitteltemperatur der Theahalle – nicht gut zur Untersuchung der Auswirkungen des exogenen Temperaturanstieges der Atmosphäre („Klimawandel“) auf die eingangsfernen Höhlenteile eignen. Im Umfeld der Höhle gibt es Temperaturaufzeichnungen aus dem Ort Frankenfels (→ Abb.5).

Aus diesen kann man ableiten, dass in den letzten 18 Jahren – seit Beginn der genaueren Temperaturmessungen in der Höhle – das Jahrestemperaturmittel variiert, im Ganzen gesehen jedoch eindeutig ansteigt, rechnerisch um ca. 0,1° pro Jahr.

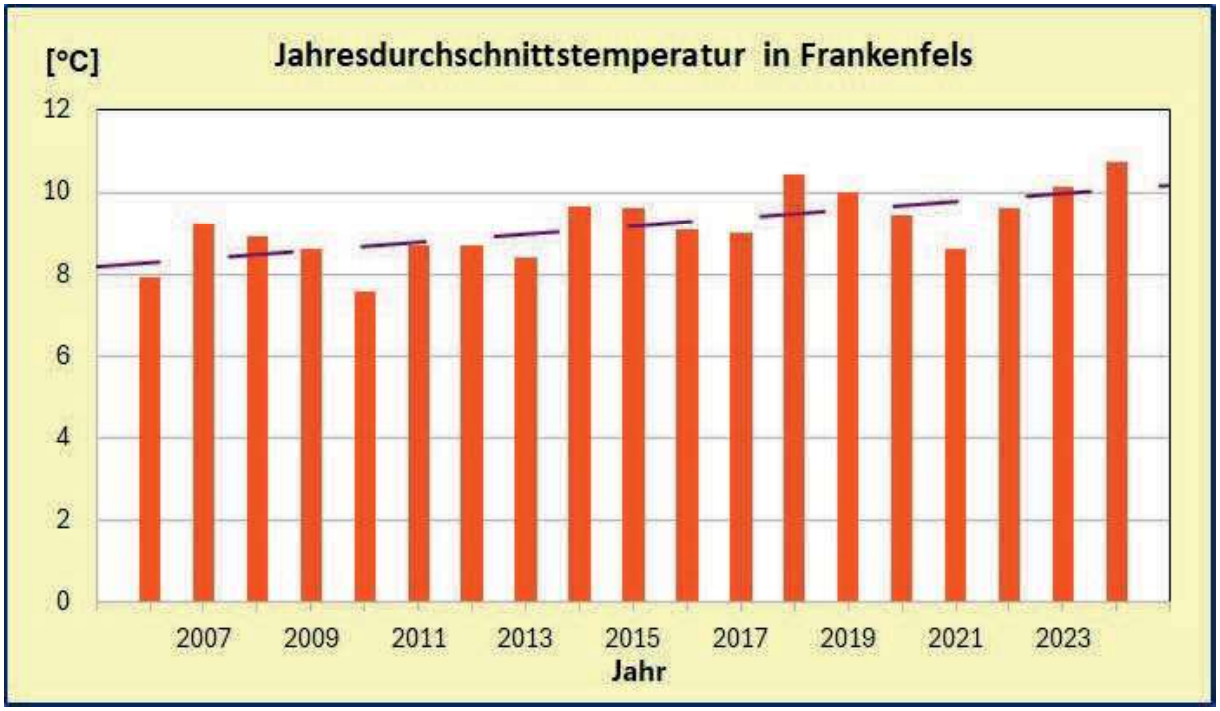


Abb. 5: Jahrestemperaturmittel der Station Frankenfels mit Trendlinie (Quelle: https://www.noel.gv.at/wasserstand/#/de/Messstellen/Map/Lufttemperatur)

Setzt man diese Jahresmitteltemperaturen der Außenluft nun mit den beobachteten Maximalwerten in der Theahalle in Beziehung, ergibt sich kein signifikanter Zusammenhang (→ Abb. 6) – zu stark war, wie bereits erwähnt, die Störung der Messung durch die sommerlichen Besuchergruppen in den meisten Jahren im Beobachtungszeitraum.

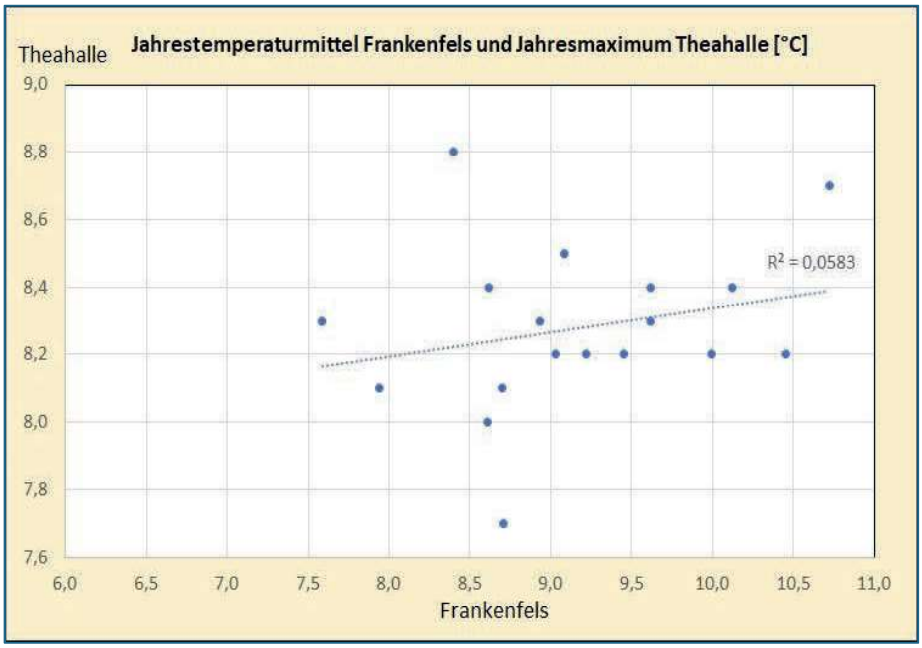


Abb. 6: Jahrestemperaturmittelwerte der Station Frankenfels im Verhältnis zum (sommerlichen) Temperaturmaximum in der Theahalle (2006 – 2024)

Wesentlich aussagekräftiger ist der Zusammenhang des Außentemperaturmittels mit den winterlichen Minimalwerten der Temperatur in der Theahalle – hier erfolgt ja keinerlei Beeinflussung der Messwerte durch Besucher. Der bereits optisch sichtbare Zusammenhang ist statistisch signifikant (hohes Bestimmtheitsmaß R^2), obschon die Zunahme in der Theahalle bedingt durch die Dämpfung des umgebenden Gesteinskörpers geringer ausfällt als in der Außenluft (→Abb. 7).

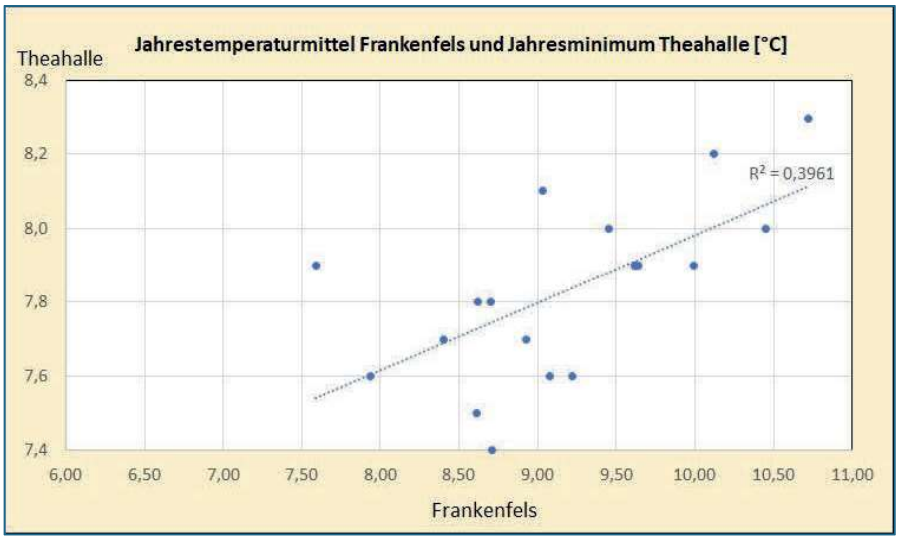


Abb. 7: Jahrestemperaturmittelwert der Station Frankenfels im Verhältnis zum (winterlichen) Temperaturminimum in der Theahalle (2006 – 2024)

Die Gesamtbesucherzahl in der Nixhöhle hat hingegen mit diesem recht eindeutigen Trend naturgemäß nichts zu tun (→ Abb. 8).

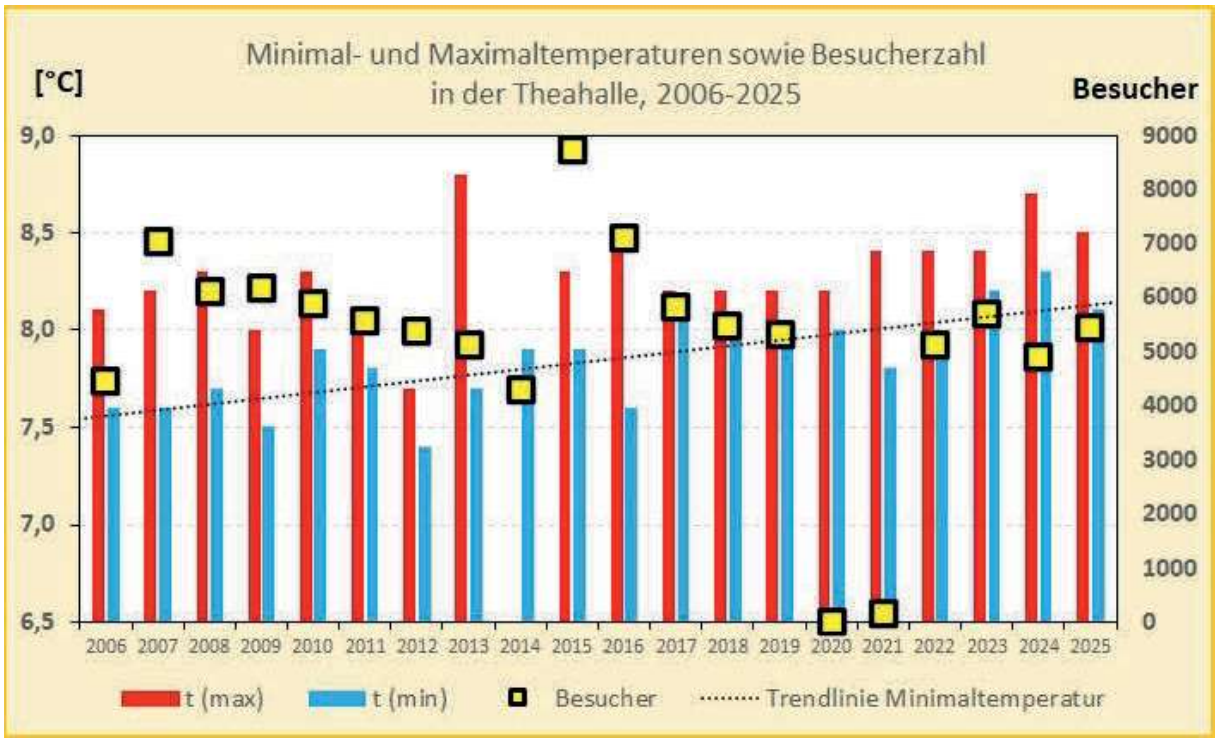


Abb. 8: Maximal- und Minimaltemperaturen sowie Besucherzahlen in der Nixhöhle (2006-2025)

Es gibt aber noch eine weitere – rein natürliche – Ursache der höheren Relevanz des Winterhalbjahres für die Temperatur in der Theahalle: Im Sommer gibt es, abgesehen von direkter Sonneneinstrahlung – sie ist durch die Waldbedeckung über der Nixhöhle relativ gering – zwischen warmer Außenluft und vergleichsweise kühlerer Bodenluft kaum einen Luftaustausch, da die Bodenluft und auch die Höhlenluft eine höhere Dichte aufweisen. Im Winter hingegen ist diese Relation umgekehrt und kalte Luft kann daher in den Boden, den Kluftraum und damit letztlich in bestimmten Bereichen auch langsam in die Höhle gelangen. Längerfristig steigende exogene Wintertemperaturen, wie sie derzeit zu beobachten sind, reduzieren diesen Effekt allerdings. Allerdings bedingen die klimabedingt kürzeren (und thermisch isolierenden) Schneeauflagen wiederum ein verstärktes Einsickern kalter Außenluft und reduzieren so bis zu einem gewissen Grad den Effekt der Klimaerwärmung in der Höhle.

1.2. Radon und Kohlendioxid in der Höhlenatmosphäre

In den Höhlen unterscheidet sich die Luftzusammensetzung hinsichtlich ihrer Hauptbestandteile – Stickstoff und Sauerstoff – nicht wesentlich von der Außenluft.

Anders ist dies bei Neben- und Spurenelementen, wobei für Höhlenklimastudien vor allem Radon und Kohlendioxid interessant sind. Jedoch auch für die menschlichen (und tierischen) Besucher der Höhle sind diese beiden Höhlenluftbestandteile durchaus relevant.

Radon ist ein farb- und geruchloses Edelgas, das überall auf der Erde, in der Atmosphäre, ja sogar im Menschen in (sehr geringen) Spuren auftritt. Radon-222, das häufigste Isotop der Radonreihe, entsteht durch den radioaktiven Zerfall von Radium-226, das sich wiederum aus dem langlebigen Uran-238 bildet. Dieses ist in fast allen Gesteinen der Erdkruste in allerdings sehr unterschiedlichen Konzentrationen zu finden. Im Vergleich zu Stickstoff und Sauerstoff ist das Radonatom riesengroß – und es ist nicht zuletzt deshalb instabil (= radioaktiv) mit einer Halbwertszeit von knapp 4 Tagen. Aus dem Gas Radon bilden sich nacheinander verschiedene, unterschiedlich langlebige radioaktive Schwermetallisotope von Polonium, Blei und Wismut, bis schließlich nach einigen Jahrzehnten das nicht radioaktive Isotop Blei-206 entsteht. Der Zerfallsprozess des langlebigen Uran-238 (Halbwertszeit über 4 Milliarden Jahre) im Gestein und im Sediment ist ein permanenter Prozess, sodass sich die Radongehalte in den Höhlen – abgesehen von kurzfristigen höhlenklimabedingten Variationen – auch langfristig kaum ändern.

Das chemisch nahezu inaktive Radon selbst ist an sich nicht „giftig", zerfällt jedoch unter Abgabe einer Alphastrahlung (= Heliumkerne), die jedoch für den Atemtrakt der Höhlenbesucher weniger gefährlich ist als die vorhin erwähnten, vorerst ebenfalls radioaktiven Folgeprodukte des Radonzerfalles. Aus balneologisch-medizinischen Untersuchungen ist bekannt, dass das Radon aus dem Atemtrakt nach dem Verlassen von Bereichen mit erhöhter Radonaktivität innerhalb 30 Minuten praktisch verschwunden ist. Dies gilt aber nicht für die nichtflüchtigen Folgeprodukte – die bereits genannten Schwermetalle. Sie setzten sich im Lungenbereich ab, verbleiben zumindest teilweise dort und können das Gewebe dauerhaft schädigen, in erster Linie durch die Strahlung beim Zerfall, längerfristig akkumuliert wohl aber auch durch ihre Toxizität.

Im freien Höhlenraum tendieren die ebenfalls großen Atome der Schwermetalle zum Anlagern an Aerosolpartikel der Höhlenluft, also v.a. an Wassertröpfchen, gegebenenfalls auch an Staubpartikel. Letztere sind in den feuchten alpinen Höhlen selten, doch in jenen Zeiten, wo man Fackeln und später Karbidlampen verwendete, bot man den Schwermetallen mit den Rauchpartikeln eine willkommene Anlagerungsmöglichkeit. Daraus wird klar, dass Rauchen in der Höhle auch aus diesem Grund zu einer erhöhten Strahlenbelastung des Atemtraktes führen kann. In gut bewetterten Höhlen ist dabei das Risiko naturgemäß geringer als in Bereichen stagnierender Luftbewegung. Die an Wassertröpfchen gebundenen radioaktiven Schwermetalle sind allesamt Ladungsträger. Nachdem aber die Höhlenwand nach Angaben aus der Literatur ihnen entgegengesetzt geladen ist, tendieren diese Schwermetallpartikel zur Ablagerung an den Höhlenwänden. Dies ist für den nicht selten länger unter Tage weilenden Höhlenforscher immerhin ein günstiger Aspekt!

Obgleich diese Hinweise auf den ersten Blick abschreckend für manche Höhlenbesucher (und -forscher) sein könnten – mit einiger Überlegung und Bedacht kann die Gefahr doch einigermaßen relativiert werden. Zum einen hört man über die positive speläotherapeutische Wirkung des Radons aus verschiedenen Heilbädern und auch Heilstollen und Höhlen (→ Bengesser & Pavuza, 2014), zum anderen gibt es aus der Arbeitsmedizin Grenzwerte, und auch für Wohnbereiche – in denen man sich wenigstens theoretisch 24 Stunden und 365 Tage im Jahr aufhält – werden Richtwerte angegeben. Nimmt man den sogenannten Planungsrichtwert von 200 Bq/m^3, so kann man grob abschätzen, wie lange man sich in Bereichen mit höheren Werten – zum Beispiel in Höhlen und Stollen – aufhalten darf („Bq" steht für die radioaktive Maßeinheit Becquerel und 1 Bq/m^3 bedeutet in unserem Fall, dass pro Sekunde und m^3 ein Radonatom zerfällt).

In der Nixhöhle wurden in den letzten 20 Jahren zahlreiche Messungen mit verschiedenen Geräten und Methoden durchgeführt (Doseman/Sarad, Radim 5 WP, Kodalpha u.a.), wobei sich die Theahalle am Ende des Führungsweges als „Hot Spot" für Radon herausstellte. Ihre höchsten Teile sind zwar kaum

mehr als 10 Meter von der Oberfläche entfernt, eine detektierbare Luftbewegung gibt es jedoch hier nicht (→ Abb. 2).

Die Messungen erfolgten unregelmäßig und in den Wintermonaten generell selten, doch zeigt sich dennoch der aus der Fachliteratur bekannte Trend mit einem Maximum in den Sommermonaten und einem Minimum im Winterhalbjahr. Die Radonaktivität schwankt dabei zwischen 1000 und 8000 Bq/m^3 (→ Abb. 9). Nimmt man die höchsten gemessenen Werte und setzt sie in Relation zum obgenannten Planungsrichtwert von 200 Bq/m^3, so ergibt sich, als freilich nur „empirische Faustregel", dass man sich in der Theahalle pro Jahr in Summe nicht länger als ca. 1 Monat aufhalten sollte. Das ist aber für Höhlenbesucher und Höhlenführer ein ohnehin unrealistischer Wert. Wir wissen allerdings, dass sich Fledermäuse, wenngleich auch nicht in großer Zahl, im Winterhalbjahr deutlich länger als ein Monat in jenen Höhlenabschnitten der Nixhöhle mit dann immer noch vergleichsweise hohen Radonwerten aufhalten – ganz ähnlich übrigens wie in anderen niederösterreichischen Schauhöhlen mit erhöhten Radonwerten (Eisensteinhöhle, Hermannshöhle). Über die genetische Adaptierung der höhlenbewohnenden Tiere an diese radioökologischen Gegebenheiten ist allerdings noch recht wenig bekannt.

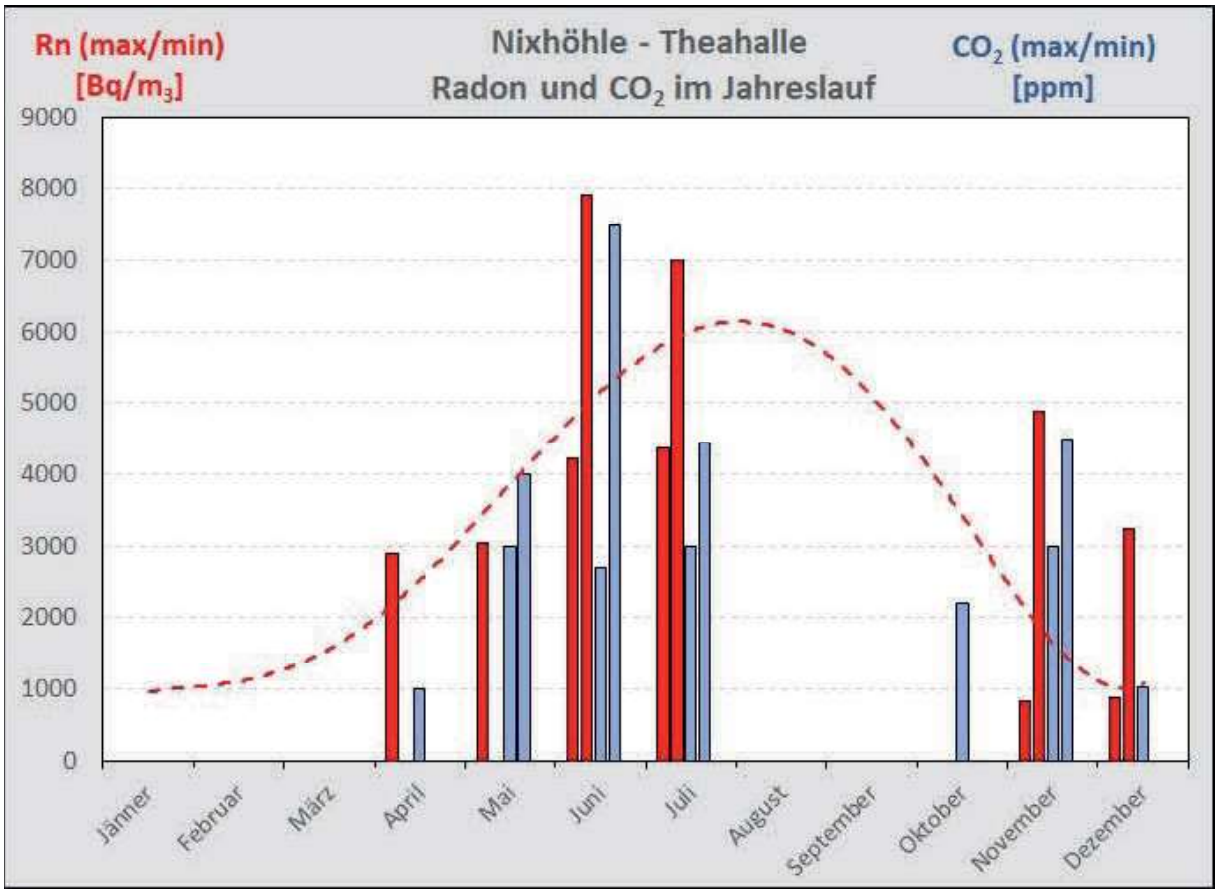


Abb. 9: Messungen von Radon und Kohlendioxid in der Theahalle (Nixhöhle), Minima und Maxima der gemessenen Werte im betreffenden Monat sowie Trendlinie für die Radonaktivität

In den anderen Höhlenteilen ist die Radonaktivität unterschiedlich: Während in der Neubauerhalle meist ebenfalls hohe Werte registriert wurden, liegen diese in den eingangsnäheren Bereichen deutlich darunter: Radon reagiert weitaus empfindlicher auf Außeneinflüsse als die Temperatur, die durch den Gesteinskörper massiv gedämpft wird.

Die Herkunft von Radon kann mannigfaltig sein, sein hoher Wert ist aber zum Teil auch durch die stagnierende Luft gegeben, wodurch Radon und seine radioaktiven Vorgängerelemente (Radium) im Gleichgewicht stehen. Radon kann einerseits durch die Urangehalte des Gesteins, aber auch durch die Höhlensedimente bedingt sein, die häufig uranreichere, ortsfremde Gesteinskomponenten aus Kristallingebieten enthalten (→ 2.2.). Jedoch tritt auch im Lösungsrückstand der Kalklösung – ebenfalls

ein Bestandteil des Höhlenlehms – eine gewisse Akkumulation uranhältiger Bestandteile des Muttergesteins auf.

Der Gehalt an **Kohlendioxid** (CO_2) in der Höhlenluft liegt in nahezu allen Höhlen über jenem der Außenluft (ca. 300 – 400 ppm = 0,03-0,04 %). Die höheren Werte können mehrere Ursachen aufweisen: Sehr selten – meist im Umfeld geothermaler Anomalien – dringen Gase aus tieferen Gesteinsschichten an die Oberfläche und erzeugen dort erhöhte Werte – unter anderem – an CO_2 auch in einigen Höhlen.

In den meisten alpinen Höhlen ist der CO_2-Gehalt indessen von zwei Faktoren abhängig. Zum einen entsteht bei der Tropfsteinbildung CO_2, zum anderen sickert vor allem im Sommer, wenn Boden und Felsen sehr viel kühler sind als die Außenluft, CO_2- und auch radonreiche Bodenluft über Felsspalten in den Höhlenraum. Die CO_2-Gehalte in den Höhlen sind in der Tat im Sommer merklich höher als im Winter (→ Abb. 9).

Besonders hohe Werte werden dort erreicht, wo die Bewetterung gering bis stagnierend ist – wie in den tagfernen Bereichen der Nixhöhle, also vor allem zwischen Neubauerhalle und Theahalle, dem Umkehrpunkt der Führung (außer Dräger-Röhrchen kamen für die CO_2-Messung die Geräte testo 553 sowie AirCO_2Control 3000 zum Einsatz). Die Theahalle ist – wie bereits erwähnt – zwar nur rund 10 Meter von der Oberfläche entfernt, doch scheint hier derzeit keinerlei direkter höhlenwettermäßiger Zusammenhang gegeben zu sein.

In vielen alpinen Höhlen, wie zum Beispiel in der Dachstein-Rieseneishöhle (eine der massiv Höhleneis führenden Schauhöhlen Österreichs) liegen in den gut bewetterten Bereichen die CO_2-Gehalte nur gering über der Außenluft, in stagnierenden Bereichen (z.B. im eisfreien Artusdom) können allerdings auch in dieser hochalpinen Höhle Werte bis rund 1000 ppm erreicht werden (Pavuza & Mais, 1999).

Zur Herkunft des Kohlendioxids der Nixhöhle gibt es einen Hinweis infolge der Isotopensignatur des Kohlenstoffs: Der Gehalt an ^{13}C – neben dem „gewöhnlichen", weitaus häufigsten Isotop ^{12}C und dem radioaktiven Isotop ^{14}C (→ 2.3.) das seltenere, nicht radioaktive natürliche Kohlenstoff-Isotop – zeigt eine starke Variabilität in Luft, Boden, Pflanzen und Niederschlag. Sein extrem geringer Gehalt am Gesamtkohlenstoff wird aus praktischen Gründen nicht in ppm oder %, sondern in Relation zu einem weltweit verwendeten Standard in Form der Abweichung von diesem „PDP"-Standard in ‰ angegeben.

Eine ^{13}C-Bestimmung der CO_2-reichen Höhlenluft aus der Theahalle vom 18.10.2006 (CO_2-Gehalt: 2200 ppm) – vom Geologischen Institut der Universität Innsbruck dankenswerterweise durchgeführt – zeigte einen ^{13}C-Wert von -21,78 ‰ und liegt somit im Bereich der Bodenluft bzw. der meisten Landpflanzen (im atmosphärischen CO_2 zeigt ^{13}C hingegen Werte um -7 ‰). Das bedeutet, dass das Kohlendioxid in der Höhlenluft der Nixhöhle überwiegend aus den überlagernden Bodenbildungen und nur zu einem sehr geringen Teil aus der Außenluft stammt.

1.3. Weitere Höhlenklima-Parameter

1.3.1. Luftfeuchte

In den meisten Höhlen bedingt die umgebende Bergfeuchte eine sehr hohe Luftfeuchtigkeit, meist zeigen die handelsüblichen Instrumente aber eher unverlässliche und unpräzise Werte nahe 100 % rH (relative Humidität) an. Die absolute Feuchte (in g/m^3) ist bei tiefen Temperaturen jedoch geringer als bei hohen, da das Wasseraufnahmevermögen von Luft mit sinkender Temperatur stark abnimmt (→ Abb. 10) . Bei bewetterten Höhlen, wo im Winter sehr kalte und dann oft auch bereits recht trockene Außenluft in die Höhle eindringen kann, bewirkt die relative Erwärmung dieser Luft im Höhleninneren das Auftreten bereichsweise extrem trockener Luft, die zum Austrocknen von Sedimenten in Form von eindrucksvollen Trockenrissen führen kann. Viele sonst sehr unangenehm zu befahrenden, lehmreichen Höhlenteile alpiner Höhlen sind auf diese Weise im Winter leichter passierbar.

Temperatur [°C]	absolute Feuchte [g/m3]
5	6,8
10	10,4
15	12,8
20	17,3
25	23,0

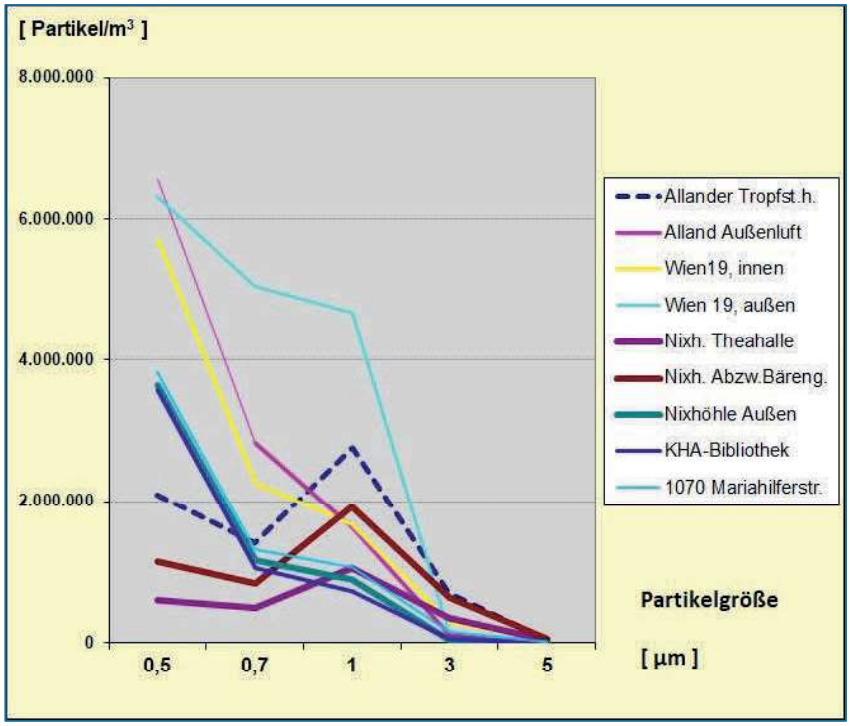
Abb. 10: Absoluter Wassergehalt von Luft bei 100 % relativer Feuchte (rH) bei verschiedenen Temperaturen in g/m³

Mittels Dräger-Röhrchen wurde am 5.12.2011 eine Messung der absoluten Feuchte in der Theahalle durchgeführt. Das Ergebnis ≈ 9 g/m³ entspricht – bei der gegebenen Messgenauigkeit – ziemlich genau der Höhlentemperatur und 100 % relativer Feuchte.

In den eingangsfernen, praktisch unbewetterten Bereichen der Nixhöhle ist die winterliche Abtrockung der einfließenden Kaltluft mit den verfügbaren Geräten nicht mehr messbar, es könnte allerdings sein, dass minimale Effekte zusammen mit den messtechnisch ebenfalls kaum detektierbaren Variationen der Lufttemperatur für Höhlentiere sehr wohl spürbar sind; immerhin verlassen auch die in diesen eingangsfernen, höhlenwettermäßig nahezu konstanten Bereichen überwinternden Fledermäuse die Höhle mitunter vorzeitig im Frühjahr – bei entsprechend günstigen Bedingungen im Freien. Die Tiere sind offenbar in der Lage, auch geringste Änderungen von Parametern der Höhlenbewetterung zu registrieren.

1.3.2. „Feinstaub“ in der Nixhöhle?

Das Thema „Feinstaubbelastung“ erhält im Zusammenhang mit Höhlen und ihrer gelegentlichen Verwendung als Therapiestätten vor allem bei Erkrankungen der Atemwege einen speziellen Stellenwert. In der Nixhöhle kam zu Testzwecken das Partikel-Zählgerät „MiniLAZ 510“ (Particle Measuring Systems Inc.) im Juli 2006 zum Einsatz. In einer Zusammenschau mit weiteren Messungen aus der Allander Tropfsteinhöhle, aus Wohnungen und Büroräumen sowie Außenmessungen im urbanen Bereich und auch außerhalb der Nixhöhle beim damaligen Höhlenführerhaus zeigte sich, dass die Unterschiede vor allem bei der kleinsten Staubfraktion (0,5 µm) zu sehen sind: Hier liegen die Werte in den Höhlen signifikant unter jenen der anderen Messstellen, wobei auch innerhalb der Höhle die eingangsferne Theahalle in allen Messbereichen geringere Partikelzahlen aufweist als die relativ tagnahe Messposition bei der Abzweigung zum Bärengang.



Zu diskutieren wäre, um welche Partikel es sich speziell in der Höhle mit ihrer hohen relativen Luftfeuchtigkeit handeln könnte. Vermutlich werden hier auch kleinste Wassertröpfchen mitregistriert. In jedem Fall aber unterstützen auch diese orientierenden Messungen die These von der grundsätzlichen speleotherapeutischen Eignung ausgewählter Höhlen oder auch Höhlenabschnitte.

Abb. 11: Feinstaubmessungen (0,5 bis 5 µm) in und vor der Nixhöhle im Juli 2006 im Vergleich mit der Allander Tropfsteinhöhle sowie verschiedenen Messungen in Wohnungen, Büros und im Freien

2. Höhleninhalt

2.1. Höhlenwässer

Die Wässer in der Nixhöhle – für den Besucher vornehmlich zu sehen als mengenmäßig wenig auffällige Abflüsse der „Nix-Gletscher“ beiderseits der Neubauerhalle - stellen verhältnismäßig mineralreiche „Calcium-Hydrogencarbonat-Wässer“ dar. Ihr Magnesiumgehalt ist, entsprechend dem kalkdominierten Muttergestein der Höhle, recht gering und auch die übrigen Bestandteile treten stark zurück: Natrium und Sulfat sind nur in Nebenmengen vorhanden und auch der Gehalt an Spurenelementen ist in diesem Höhlengerinne fast durchwegs unauffällig. Als Beispiel soll die Analyse des Wassers aus dem Wasserfass am unteren Ende der Neubauerhalle vom 15.2.2023 dienen, welches das über den Nix-Gletscher rinnende Wasser auffängt:

Calcium:	60 mg/l	Hydrogencarbonat:	213 mg/l
Magnesium:	5 mg/l	Sulfat:	< 20 mg/l

(Fe, Cu, Al, Pb, Cr, Ni, Zn liegen durchwegs unter 100 µg/l, die Bestimmung dieser Spurenelemente erfolgte durch das Umwelt Analyse Zentrum Preetz, Deutschland)

Interessanterweise ist nun der Gehalt an gelöstem Karbonat merklich höher als in anderen vergleichbaren Höhlen der Umgebung. Durch eine Vielzahl von Wasseranalysen aus österreichischen Höhlen wissen wir, dass der Gehalt an Hydrogencarbonat maßgeblich von der Seehöhe des Einzugsgebietes abhängt – was nun umgekehrt auch erlaubt, bei Kenntnis des Gehaltes an gelöstem Karbonat im Tropfwasser dessen Einzugsgebiets-Seehöhe aus dieser „Österreichfunktion“ ungefähr abschätzen zu können. Bei den Tropfstellen im Trockenen Loch (1836/34) und auch beim Nassen Loch (1836/19) rund 8 km SE der Nixhöhle liegt das auf die genannte Art ermittelte Einzugsgebiet ca. 130 Meter über der Messstelle, was von den topographischen Verhältnissen her plausibel erscheint. Die Nixhöhle indessen weicht von diesem Zusammenhang ab, denn das Wasser ist eigentlich deutlich „zu mineralisiert“ für die Seehöhe. Man könnte nun zunächst annehmen, dass der Grund für die erhöhte Mineralisation in potenten Vegetations- und Bodenbildungen über der Höhle liegt. Die Gewichtsabnahme von Kalkplättchen, die rund 40 Meter südöstlich des Höhleneinganges zur Ermittlung der aktuellen Kalklösung im Waldboden (in ca. 5-10 cm Tiefe) für 2 Jahre vergraben wurden, war indessen vergleichsweise gering: Rechnerisch betrug der hochgerechnete Abtrag im Durchschnitt nur 2 mm in 1000 Jahren. Dieser Wert liegt jedoch im unteren Bereich der von uns in verschiedenen vergleichbaren Karstgebieten ermittelten Werte. Diese Hypothese ist daher zu verwerfen.

Ein ähnliches Phänomen ist aus der Hermannshöhle bei Kirchberg am Wechsel bekannt, doch ist dort die bereichsweise erhöhte Mineralisation der Tropfwässer auf gleichzeitig merklich erhöhte Gehalte an Sulfat zurückzuführen, das seinen Ursprung in der Zersetzung mikroskopisch kleiner, lokal angereicherter Pyrite (=Eisensulfid) im dortigen Kalkmarmor hat. Lösungsversuche des Höhlen-muttergesteins der Nixhöhle mittels CO_2-hältigem destillierten Wasser haben zunächst keine Hinweise auf Sulfat – mit Pyrit als Ausgangsprodukt – erbracht, doch bei den Nachuntersuchungen der mergeligen dünnen Zwischenlagen (→ Beitrag Lukas Plan, Abb.1) ergaben sich dabei merkliche Gehalte an Sulfat, die auch die in der Höhle nachgewiesenen Sulfatminerale besser erklären können. Durch das Auskristallisieren der Sulfatminerale in der Nixhöhle (Gips und Coelestin, → Beitrag L. Plan, Abb. 8 und 9) sind die beobachteten Sulfatgehalte der abfließenden Höhlenwässer allerdings gering (< 20 mg/l). Auf der anderen Seite entsteht aber im Zuge der Verwitterung der Pyrite, der nachfolgenden Oxydation zu Schwefelsäure und der Auflösung der Karbonate durch diese unter Bildung der erwähnten Sulfatminerale auch freie Kohlensäure, die dann – zusätzlich zur „normalen“ Kalklösung durch das Kohlendioxid aus der Luft und aus den Bodenbildungen – letztendlich weiteres Karbonat lösen kann. Dieser subtile Mechanismus könnte jedenfalls die erhöhten Gehalte an gelöstem Karbonat der Höhlenwässer der Nixhöhle gut erklären und stellt darüber hinaus auch einen guten, durchaus über-regional relevanten Forschungsaspekt für die Zukunft dar.

Wie auch immer: Es ist anzunehmen, dass die erhöhte Mineralisation der Höhlenwässer auch die starke Bergmilchbildung mitbegünstigt, für die eine ausreichend mineralisierte Lösung eine wichtige Vorbedingung ist. Wir wissen allerdings noch nicht, warum in der Nixhöhle die Bergmilchbildung zu bestimmten Zeitpunkten dermaßen intensiv war – weitaus intensiver, als sie es gegenwärtig ist (→ 2.4.).

Bei den lokalen Wasseransammlungen der Nixhöhle war zu beobachten, dass die reizvollen, früher wassererfüllten kleinen Sinterbecken im Durchgang zur Theahalle in den letzten Jahren zumeist trockengefallen und teilweise daher auch von Degeneration und Zerfall bedroht sind. Noch im November 2012 konnte hier ein unmittelbar auf der Wasseroberfläche sitzender, winziger Doppelschwanz fotografisch dokumentiert werden (→ Beitrag E. Christian, Abb. 8), in den letzten Jahren war indessen leider keine Sichtung dieses fotogenen Höhlenbewohners in den nunmehr meist wasserfreien Becken mehr möglich. Beim „Jahrhundert-Hochwasser“ Mitte September 2024 wurden indessen die ansonst eher recht unscheinbaren Höhlenwässer der Nixhöhle für einige Zeit zu einem höchst unangenehmen Faktor in einigen Höhlenteilen.

Die zu dieser Zeit in die Höhle direkt eintretenden Niederschlagswässer – innerhalb weniger Tage wurden im Raum Frankenfels um 300 mm Niederschlag registriert – wirkten sich aber auch im Temperaturverhalten der Höhlenluft aus: Während bei der Außenluft ab 12. September ein dramatischer Temperaturrückgang um 15 – 20° festzustellen war, trat bei den beiden zu dieser Zeit aktiven Messstellen in der Höhle (unterhalb Stiege/Bärengang sowie Theahalle) ein zwar nicht spektakulärer, aber dennoch gut detektierbarer Temperaturanstieg vor allem beim Niederschlagsmaximum am 14.9. auf. Es gelangten dabei offensichtlich große Mengen an Regenwasser über die sommerlich aufgeheizten Boden- und Felsbereiche in die Höhle. Die messbare Erwärmung der betreffenden Höhlenabschnitte hielt bis Anfang Oktober 2024 an (→ Abb. 13). Einen Besuchereinfluss gab es zu dieser Zeit nicht: Der devastierte Führungsweg erlaubte in diesem Jahr keinen Führungsbetrieb mehr.

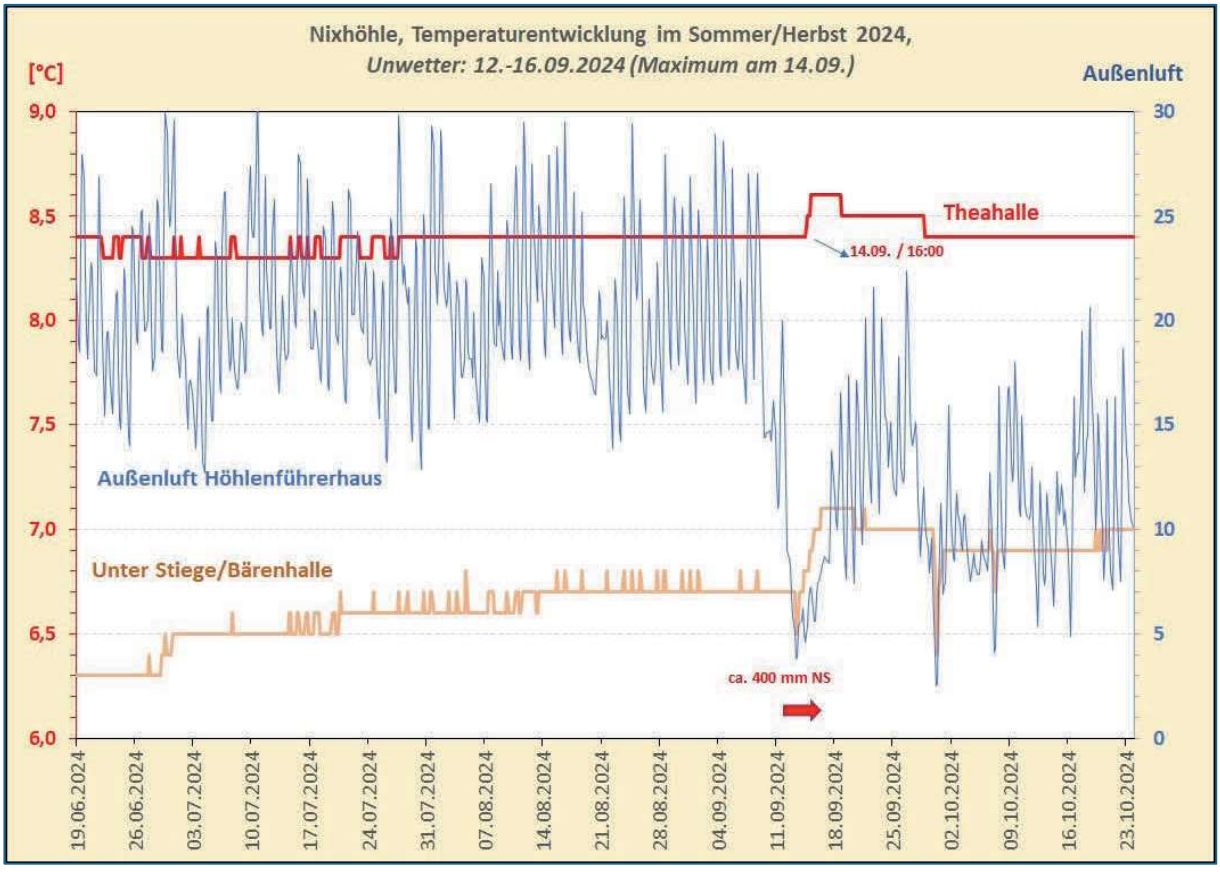


Abb. 13: Einfluss eindringender Niederschlagswässer auf die Höhlentemperatur im Zuge des Starkregenereignisses im September 2024 (roter Pfeil: Niederschlagsmaximum zwischen 12. und 16. September)

2.2. Höhlensedimente

Höhlensedimente in Form von (Höhlen)Lehm mit Gesteinsbruchstücken des Höhlenmuttergesteins und auch gerundeten ortsfremden Geröllen finden sich in fast allen Bereichen der Nixhöhle. Durch die Wegeinbauten und die Bergmilchmassen ist ihr Vorkommen dem Höhlenbesucher aber nicht immer ersichtlich. Gut beobachten kann man die Höhlensedimente indessen in jenen Bereichen, wo der Führungsweg – tief eingeschnitten – durch die Bergmilchmassen angelegt wurde, denn hier folgt unter der weißen Bergmilch oftmals gut sichtbar eine Abfolge brauner, mitunter steindurchsetzter lehmig-sandiger Höhlensedimente.

In den Höhlensedimenten der Bärenhalle, die unmittelbar auf die große Vorhalle folgt, fanden sich den Berichten nach auch Knochenreste eines Bären – ob es tatsächlich ein Höhlenbär (→ Beitrag G. Rabeder) war, lässt sich nicht mehr überprüfen, denn das Material ist seit Jahrzehnten verschollen, ebenso wie die Knochen jener „Bergziege“, die sich zwischen den Bärenresten befunden haben sollen (Skala, 1929). Spätere Nachsuchen waren ergebnislos. Möglicherweise könnten Sediment-DNA-Untersuchungen des Höhlensedimentes in Zukunft Hinweise auf die damaligen Funde geben.

Eigene kursorische Untersuchungen an Sedimentproben aus dem Bereich Bärenhalle enthielten keine Knochenspuren und auch keine sonstigen Tierreste bzw. Fossilien. Eine Sedimentprobe aus der Vorhalle ergab lediglich eine rezente bis subrezente Gastropodenfauna. Die gefundenen Arten stellen aber keine Elemente einer typischen Höhlenfauna dar (→ Beitrag E. Christian).

Der Geomorphologe Helmut Riedl untersuchte 1960 die Höhlensedimente an drei Stellen in der Nixhöhle und stellte den Gesamtkomplex der zum Teil auch Augensteine führenden Schichten – jene sind als umgelagerte Relikte einer alten Landoberfläche im Tertiär zu sehen – aus geomorphologischen und sedimentologischen Gründen ins Jungpleistozän. Die Möglichkeit einer absoluten Altersdatierung gab es damals freilich noch nicht. Für die Bergmilch sowie die Sinterbildungen nahm dieser Autor indessen ein holozänes (= nacheiszeitliches) Alter an, eine Annahme, die sich letztendlich – über 60 Jahre später (→ 2.4.) – bewahrheiten sollte.

Riedl stellte schließlich auch fest, dass das Alter der Sedimente viel geringer sei als das Alter des Höhlenraumes, in dem sie abgelagert wurden, und vermerkte in diesem Zusammenhang auch das Fehlen eindeutig älterer Sedimente. Aus regionalgeologischer Sicht kann man jedenfalls annehmen, dass die intensivere Verkarstung des aus mitteltriassischen Karbonaten aufgebauten Bereichs der Nixhöhle erst mit der erosiven Entfernung der ehemals überlagernden obertriassischen Reingraben-/Lunz-Formation (stauende Sandsteine und Schieferton), die heute etwas mehr als 500 m südlich der Nixhöhle ausstreicht, ihren Anfang genommen hat.

Auf diesen geochronologischen Themenkomplex wird jedoch in einem eigenen Abschnitt dieses Buches (→ Beitrag L. Plan) ausführlicher unter Einbeziehung moderner Analysenmethoden und aktueller karstgeomorphologischer Daten eingegangen.

2.3. Sinterbildungen

„Klassische“ Tropfsteine und verschiedene andere Sinterbildungen sind neben der in vielen Höhlenteilen auftretenden Bergmilch vor allem in der Theahalle auffallender vertreten. Neben den offenbar im Zuge der Erschließung abgeschlagenen Tropfsteinen fallen dabei auch einige Tropfsteine mit merkwürdigen Bruchstellen auf (→ 3.)

An einem unscheinbaren Tropfsteinstumpf an der Nordseite der Theahalle (→ Markierung in Abb. 14) wurde eine kleine Sinterprobe entnommen und eine Altersdatierung mittels Isotopenuntersuchungen (Th/U – MC-ICPMS) durch das Institut für Umweltphysik der Universität Heidelberg (Lab-Code IUPH 131196, NH_2024_Basis) durchgeführt.

Das ermittelte Alter von 8540 (±130) Jahren vor heute stellt den Beginn des Wachstums dieses eher kleinen Stalagmiten dar.

Nach neuesten umfangreichen Untersuchungen (Arosio et al. 2025) an holozänen Baumstämmen war dies der Zeitraum einer im Vergleich zur vorindustriellen Zeit wärmeren und feuchteren Phase des Holozäns („Atlantikum“) kurz vor dem sogenannten „8,2 ka – Event“, wo innerhalb kurzer Zeit (= wenige Jahrzehnte) die Durchschnittstemperaturen in Europa rasch um einige Grad zurückgingen und sich temporär auch ein trockeneres Klima einstellte. Die Dauer dieses markanten klimatischen Ereignisses wird in der Literatur unterschiedlich angegeben – man geht überwiegend von einigen Jahrhunderten aus.

Man kann vermutlich mit einigem Recht annehmen, dass der nicht allzu große Tropfstein in diesem Intervall sein Wachstum stark reduzierte oder überhaupt einstellte. Ob danach – in einem (nach Arosio et al. 2025) jedenfalls im Gesamten gesehen langsam trockener werdenden Klima – die Tropfsteine der Nixhöhle wieder aktiv wurden, lässt sich aus dieser einzelnen Altersbestimmung naturgemäß nicht ableiten.

Es fällt in der Theahalle allerdings auf, dass an den eher wuchtigen, hellbraunen Sinterfahnen und Sinterwulsten deutlich abgesetzt von diesen winzige – und offensichtlich derzeit aktive – weiße bis farblose Tropfröhrchen ansetzen. Messungen zum aktuellen Kalkabsatz stehen im Gegensatz zur Bergmilch allerdings noch aus.



Abb. 14: Ende des Führungsweges in der Theahalle mit Sinterbildungen. Die Position der Probenahme am Stalagmitenstumpf für die Altersbestimmung ist durch einen gelben Kreis gekennzeichnet. Foto Heiner Thaler (vgl. dazu auch Abb. 17).

2.4. Bergmilch

Diese feinkristalline Masse, die für die Höhle typisch und auch namensgebend ist, hat im Lauf der Zeit eine ganze Reihe unterschiedlicher Namen bekommen. Neben „Bergmilch“ gab es „Nix“, Mondmilch, Montmilch und etliche weitere Bezeichnungen. Gelegentlich erfolgte wohl auch eine Verwechslung mit Galmei (einem Zinkkarbonat). In einigen alpinen Höhlen konnte ein teilweise bergmännischer Abbau von Bergmilch nachgewiesen werden (Spötl, 2019). Die Bergmilch aus der Nixhöhle wurde bereits vor längerer Zeit durch die Mineralogische Abteilung des NHM mittels Röntgenuntersuchungen eindeutig –

und nach den späteren chemischen Wasseranalysen auch erwartungsgemäß – als nahezu reines Calciumcarbonat identifiziert. Die Untersuchung fand ferner sehr geringe Spuren von SiO_2, das allerdings in allen alpinen Karbonatgesteinen in Spuren enthalten ist.

Eine rasterelektronische Aufnahme zeigt schließlich die Dimension der calcitischen Kristallnadeln, die mit freiem Auge nicht mehr als solche zu erkennen sind (→ Abb. 15).

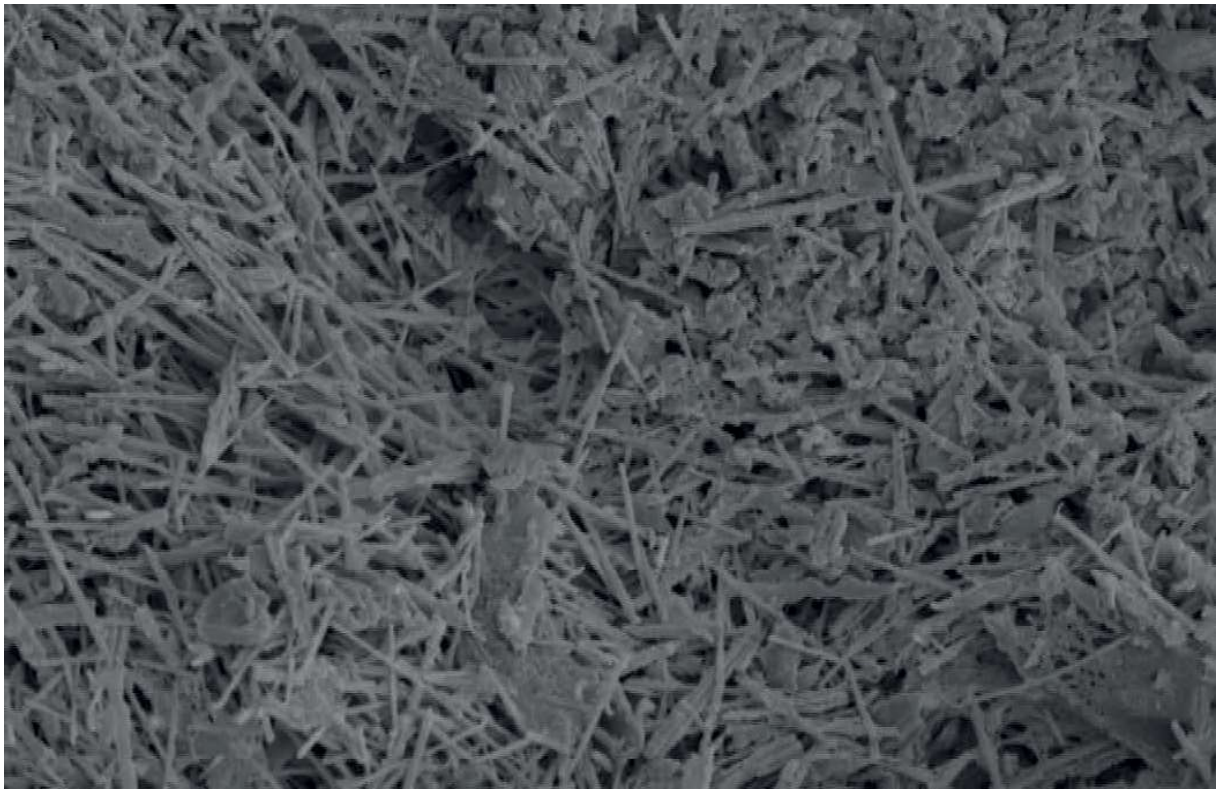


Abb. 15: Rasterelektronenaufnahme der Bergmilch aus der Nixhöhle, Breite des Bildes: 0,2 mm (Aufnahme: Mineralogisch-Petrographische Abt. NHM-Wien)

Eine Lösprobe von Bergmilch in kohlensäurehältigem Wasser (pH ≈ 3) ergab bei der Analyse ein Verhältnis von Calcium zu Magnesium, das recht ähnlich dem der Wasseranalyse des über den Nix-Gletscher abfließenden Wassers ist – Magnesium ist nur in geringen Nebenmengen enthalten. Unter den Spuren (Analyse durch Raiffeisen Laborservice, Omont Deutschland) fällt lediglich ein in Relation zu den anderen Spurenelementen höherer Gehalt an Zink auf. Er ist in der Bergmilch überdies im Verhältnis zu den Hauptbestandteilen rund 10x so hoch wie in den über die Bergmilch abfließenden Höhlenwässern. Möglicherweise sind diese Zinkspuren in einem größeren geologischen Zusammenhang mit den verschiedenen historischen Zink-Bleivorkommen in den Mitteltriaskalken der weiteren Umgebung (Raum Türnitz – Annaberg) zu sehen.

An der über einen Meter hohen Bergmilchwand links neben dem Weg zur Theahalle erfolgte eine kursorische Beprobung der Bergmilch in 10 cm-Abständen und eine nachfolgende Analyse hinsichtlich der stabilen Isotope von Sauerstoff und Kohlenstoff ^{18}O und ^{13}C am Geologischen Institut der Universität Innsbruck. Obgleich von dieser orientierenden Analyse keine detaillierten Rückschlüsse auf klimatische Variationen während der Bildung dieses Bergmilchpaketes zu erwarten waren, lässt sich doch ein Trend bei beiden Parametern (→ Abb. 16) erkennen.

Es zeigt sich, dass im Verlauf der Ablagerung der Bergmilch sehr wohl merkliche Veränderungen der Umweltparameter stattgefunden haben, die über kurzfristige Schwankungen hinausgehen: So deuten der Trend zu negativeren Werten von ^{18}O im Verlauf der Sedimentation der Bergmilch mit hoher Wahrscheinlichkeit auf eine abnehmende Temperatur, und die gleichzeitige Variation von ^{13}C auch auf gewisse Änderungen im Bewuchs über der Höhle während der Ablagerung der über einen Meter mächtigen Bergmilchmassen hin.

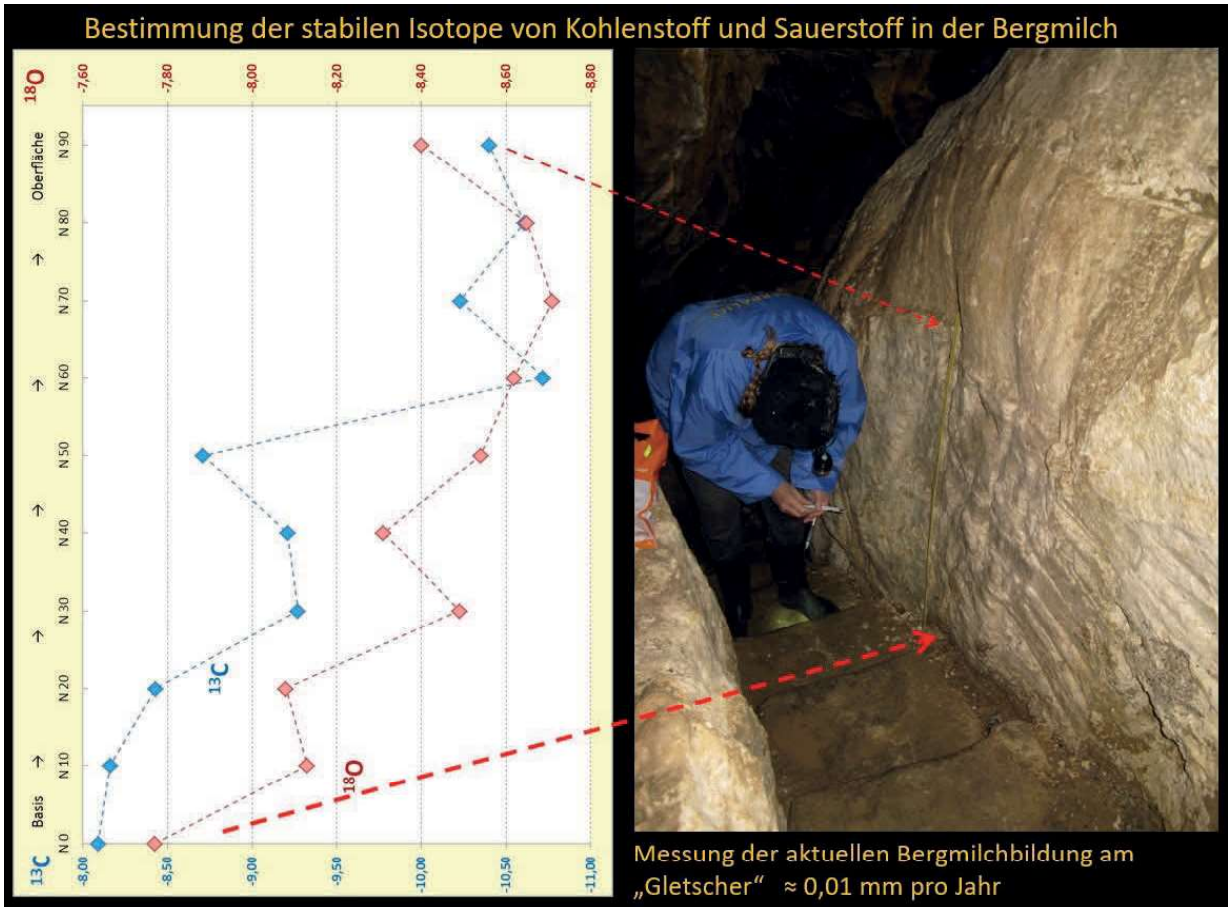


Abb. 16: Stabile Isotope in einer über einen Meter mächtigen Bergmilch-Abfolge nahe der Theahalle sowie Hinweis auf die aktuell gemessene Bildungsrate der Bergmilch am Bergmilchgletscher im Bereich Neubauerhalle.

Es wurde daher versucht, an einer Probe von der Basis der Bergmilch – unter jener folgt an dieser Stelle ein noch nicht untersuchtes lehmig-steiniges Höhlensediment – mittels einer ^{14}C Bestimmung das ungefähre Alter der Bergmilch zu bestimmen. Eine – genauere und in jeder Hinsicht aufwändigere – Bestimmung mittels einer Uran/Thorium-Altersdatierung erschien in diesem Fall wegen der massiven Gefahr durch Kontaminationen noch weniger sinnvoll.

Freilich ist die Auswertung des ^{14}C-Ergebnisses alles andere als einfach, denn es sind Annahmen über jenen Anteil an Kohlenstoff nötig, der durch die primäre Kalklösung des Gesteins (mit einem Alter von rund 240 Millionen Jahren ist in diesem kein messbares ^{14}C mehr enthalten) gegeben ist. Die Fachliteratur behandelt dieses nicht triviale Thema ausführlich. Wir haben bei der Nixhöhle schließlich jenen Korrekturfaktor zur Anwendung gebracht, der sich in den meisten publizierten Fällen aus dem Holozän als plausibel erwiesen hat.

Die Radiokohlenstoffbestimmung wurde durch das Institute of Physics/Division of Geochronology and Environmental Isotopes, Gliwice (Polen) durchgeführt und erbrachte ein kalibriertes Alter (OxCal v4.4.4) von ca. 8400 Jahren vor heute.

Korrigiert man dieses Alter nun empirisch durch Berücksichtigung des Anteils an ^{14}C-freiem Muttergestein, so kann man immerhin abschätzen, dass die Bergmilch vor rund 8000 Jahren zur Ablagerung gelangte. In einer Zusammenschau mit dem ermittelten Alter des Tropfsteinstumpfes aus der benachbarten Theahalle zeigt sich, dass sich Sinter- und Bergmilchbildung vielleicht überlappen, generell aber die Sinterbildungsphase in einer Zeit kurzzeitiger Klimaverschlechterung (→ 3.2.) durch die Bergmilchbildung abgelöst wurde.

Jedenfalls war an Stelle des heutigen Holzbodens in der Theahalle am Ende des Schauteiles noch vor 100 Jahren eine mächtige Bergmilchbedeckung, teilweise auch über den Sinterflächen zu sehen, in der ein schmaler Weg angelegt wurde (→ Abb. 17).

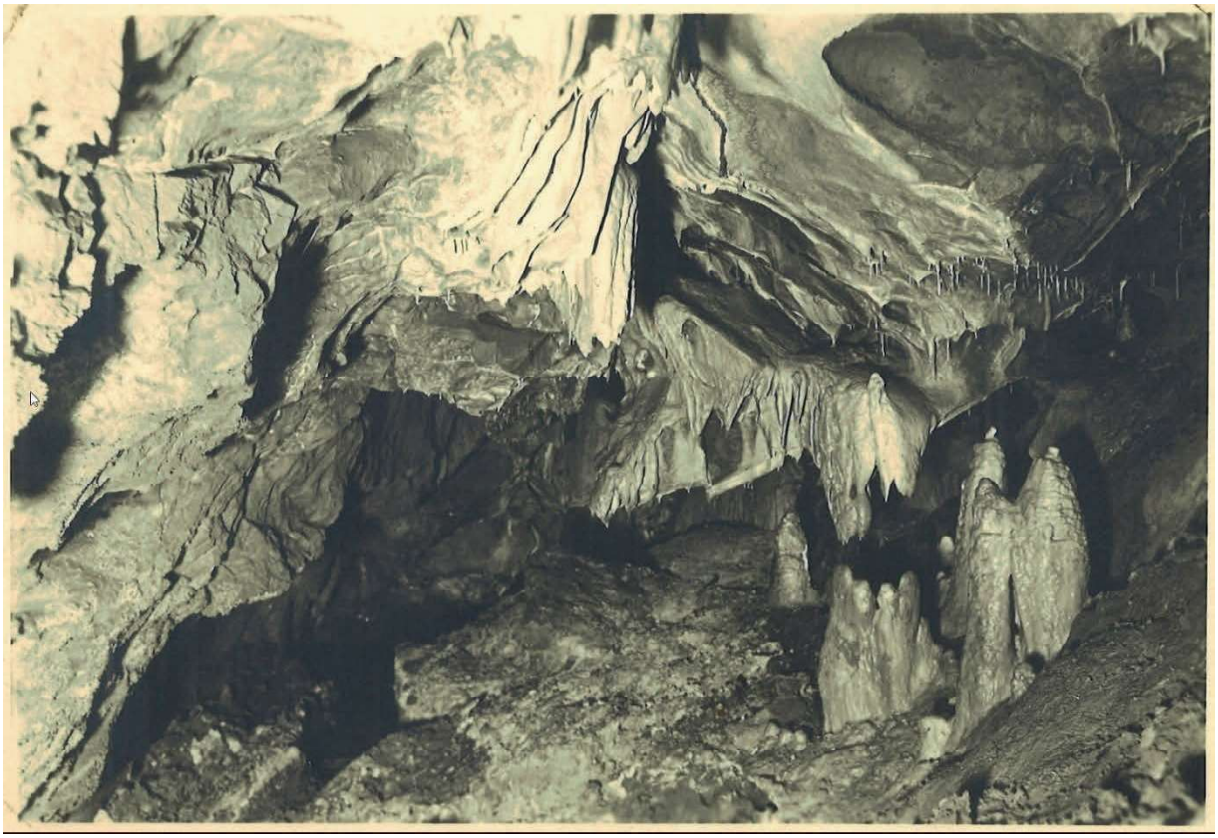


Abb.17: „Österreichische Natur- und Höhlenkarte Nr. 65 – Hrsg. Bundeshöhlenkommission“ (ca. 1930), im linken unteren Bildteil sieht man den aus Bergmilch gebildeten Höhlenboden.

Zur Frage der aktuellen Bergmilchbildung wurde ein Sedimentationstest mit einem 25 cm^2 großen Kalkplättchen im Abfluss des „Gletschers“ zwischen 10.7.2007 und 25.11.2009 durchgeführt. Es ergab sich dabei eine durchschnittliche Gewichtszunahme von 0,1 mg pro Tag. Linear hochgerechnet würde dies allerdings bedeuten, dass für die Sedimentation von 1 Meter Bergmilch ein wenig plausibler Zeitraum von ≈100 000 Jahren erforderlich wäre. Die aktuelle Bergmilchbildung ist demnach sehr gering in Relation zur aktiven Phase im mittleren Holozän. Dies steht im Einklang mit Beobachtungen in anderen alpinen Höhlen, wie etwa in den italienischen Alpen, wo die Bergmilchbildung um 6400 vor heute großteils zum Erliegen kam (Borsato et al. 2000).

Warum es offenbar Phasen verstärkter Bergmilchablagerung gab, ist ebenso wenig geklärt wie die Entstehung dieses namensgebenden, markanten Höhleninhalts: Man nimmt mit einigem Recht wohl eine Beteiligung von Mikroorganismen an (→ Cech, 2016, Seite 208, sowie Beitrag P. Cech in diesem Buch), wobei deren quantitativer Beitrag aber noch höchst unsicher ist.

Blickt man schließlich auf die Muttergesteine der österreichischen „Bergmilchhöhlen“ – es finden sich im österreichischen Höhlenverzeichnis rund 25 relevante Höhlen mit „Bergmilch“ im Höhlennamen und ebensoviele mit „Nix“ – so zeigt sich interessanterweise eine distinkte (allerdings nicht ausschließliche) Häufung in den Karbonaten der Mitteltrias, die in vielen Bereichen der Kalkalpen neben dunklen Lagen mit fein verteiltem Pyrit bereichsweise auch hydrothermale Zinkmineralisationen aufweisen. Auch die Bergmilch der Nixhöhle enthält, wie bereits erwähnt, gegenüber den anderen Spurenelementen einen etwas erhöhten Gehalt dieses Elements.

3. Zur nacheiszeitlichen Entwicklung des Höhleninhaltes

Soferne sich in der Nixhöhle Höhlenbären (→ Beitrag G.Rabeder) zumindest zeitweise aufgehalten haben, hat diese Aktivität auch in der Nixhöhle spätestens dann geendet, als dies auch in benachbarten Höhlen mit nachgewiesenen Höhlenbärenpopulationen der Fall war. Gegenwärtig wird davon

ausgegangen, dass der Höhlenbär vor ca. 24 000 Jahren ausgestorben ist – also noch innerhalb der letzten, sehr kühlen Phase der Würm-Eiszeit, die vor circa 12 000 Jahren zu Ende gegangen ist.

Die durch radiochemische Untersuchungen bisher ermittelten Alter von Bereichen der Bergmilch und der Tropfsteine der Nixhöhle deuten darauf hin, dass es im mittleren Holozän (10 000 bis 7000 Jahre vor heute), wo zumindest zeitweise ein wärmeres Klima vorherrschte als heute, zur ausgedehnten Ablagerung von Sinter bzw. Bergmilch kam, was aber gleichzeitig bedeutet, dass allfällige Höhlenbärenreste in manchen Höhlenbereichen durchaus noch unter Bergmilch und/oder Sinter begraben liegen könnten. Jedenfalls folgt – wie wir bei Handbohrungen sehen konnten – im Gang vor der Theahalle, unweit des Höhlenendes, wo eine fast 1 m hohe Bergmilchakkumulation durch den Wegebau angeschnitten wurde, unter der Bergmilch ein steindurchsetzter Höhlenlehm von noch nicht bekannter Mächtigkeit, Zusammensetzung und Bildungsalter.

In der Nacheiszeit, dem Holozän, kam es demnach in der Nixhöhle wechselweise – teilweise wohl auch parallel – zur Ablagerung bzw. Ausbildung von Bergmilch und Sinterbildungen (→ Abb. 18), die zumindest teilweise einem älteren Höhlensediment noch unbekannten Alters auflagern.



Abb.18: Sinterbildungen und Bergmilch im Bereich vor der Theahalle. Die Bergmilch ist hier – im rechten Bildteil – durch den künstlich erweiterten Zugang zur Theahalle als ein Meter hohe Stufe aufgeschlossen. Auch hier überlagern die Bergmilchmassen die älteren Sinterbildungen teilweise. Foto: Rudolf Pavuza

Ob sich auch vor dem Ende des Pleistozäns, etwa in den wärmeren Abschnitten der Würm-Kaltzeit oder auch davor im Eem-Interglazial (115-126.000 Jahre v.h.) wie in vielen anderen alpinen Höhlen (siehe z.B. Pavuza, 1988) Tropfsteine in der Höhle gebildet haben und auch Bergmilch abgelagert wurde, lässt sich mangels Datierungen weiterer Tropfsteine aus anderen Bereichen der Höhle derzeit noch nicht sagen. Signifikante Hinweise auf eine wesentlich frühere Phase der Sedimentakkumulation gibt es immerhin durch aktuelle Datierungen von Quarzen aus einer Höhlensediment-Sequenz (→ Beitrag L. Plan), wobei die Ergebnisse nur das mit den aktuell verfügbaren Methoden belegbare absolute Mindestalter der Nixhöhle darstellen, da die Höhlensedimente ja nur in einem bereits vorhandenen Höhlenraum abgelagert werden konnten.

Im Bereich der Theahalle, die einen schräg-südostfallenden und an einer älteren Trennfläche angelegten Höhlenraum darstellt, zeigen sich möglicherweise jüngere Spuren einer Bewegung an einigen Flächen, wobei offensichtlich die alten raumbestimmenden Trennflächen benutzt wurden. Dies zeigt sich in Form kleinster Aufschiebungen, die auch die teilweise noch aktiven bzw. holozänen Sinterbildungen betreffen (→ Abb. 19). Dabei bewegten sich die hangenden Gesteinspakete relativ zu ihrer Unterlage an der Trennfläche schräg aufwärts ungefähr in Richtung Nordwesten in Richtung Nattersbachtal. Aktuelle direkte Messungen – zum Beispiel mit Dilatometern – wurden hier allerdings noch nicht vorgenommen. Von gewisser Bedeutung für diese Beobachtung ist möglicherweise, dass die auch kleintektonisch fraglos stark beanspruchte Überschiebungsfläche der Lunzer- auf die Frankenfelser Decke, in deren Umgebung sich vermutlich zahllose kleinere Störungen gebildet haben, nur wenige Zehnermeter unterhalb der Theahalle verläuft.

Aktuelle Hang-Absetzbewegungen, wie sie in manchen alpinen Höhlen durchaus nachweisbar sind, sind indessen in der Theahalle trotz ihrer Nähe zum steilen Abhang ins Nattersbachtal nicht zu erkennen.



Abb. 19: Beispiele für mögliche (sub)rezente Bewegungen an Trennflächen im Bereich Theahalle. Hier überdeckt die (jüngere) Bergmilch (ältere) Wandsinterbildungen. Foto: Rudolf Pavuza

4. Literatur

Arosio, T., Leuenberger, M., Nicolussi, K, Esper, J., Krusic, P.K., Bebchuk, T., Tegel, W., Hafner, A., Kirdyanov, A., Schlüchter, C., Freinig, R., Muschitiello, F. & Büntgen, U. (2025): Tree-ring stable isotopes from the European Alps reveal log-term summer drying over the Holocene. – Sci. Adv. 11, eadr4161, 11p.

Bengesser, R. & Pavuza, R. (2014): Zum Stand der Speläotherapie in Österreich. – Die Höhle (Wien), 55 (1-4):43-29.

Borsato, A., Frisia, S., Jones, B. & Van der Borg, C. (2000): Calcite moonmilk: Crystal morphology and environment of formation in caves of the Italian Alps. – Jnl. Sed. Res., 70(5): 1171-1182.

Cech, P. (2016): Mikroorganismen in Höhlen. – In: Spötl, C., Plan, L. & Christian, E. (Hrsg.): Höhlen und Karst in Österreich. – Linz (Oberösterreichisches Landesmuseum): 199-210.

Pavuza, R. (1988): Ein geochronologisches Ergebnis aus der Brunnenhöhle bei Bad Vöslau (Niederösterreich) – Die Höhle (Wien), 39: 89 - 92.

Pavuza, R. & Mais, K. (1999): Aktuelle höhlenklimatische Aspekte der Dachstein-Rieseneishöhle. – Die Höhle (Wien), 50(3): 126-140

Riedl, H. (1960): Formengebung und Sedimenterfüllung der Nixhöhle bei Frankenfels (Niederösterreich). – Die Höhle (Wien), 11(2): 33-45

Skala, O. (1929): Die Nixhöhle bei Frankenfels. – Deutsche Heimat (Wien), 24 (I): 5-9.

Spötl, C. (2019): Historischer Bergmilch-Abbau in Nordtiroler Höhlen. – Die Höhle (Wien), 70 (1-4): 141-158.

Höhlenbären in der Nixhöhle?

Gernot Rabeder

1. Einleitung

Im Jahre 1926 erschien ein Führer für die Nixhöhle und die Gredlhöhle bei Frankenfels (Müllner 1926). An mehreren Stellen dieser Broschüre wird das Vorkommen von Bären bzw. Höhlenbären angesprochen. In der "Bärenhalle" wurden *„zahlreiche Höhlenbärenknochen sowie ein Ziegenschädel gefunden ...*" und *an der Decke des „Bärenganges" sind schön erhaltene „Bärenschliffe".*

Leider sind die Höhlenbärenknochen seit längerer Zeit nicht mehr auffindbar und die Natur der Bärenschliffe ist durchaus umstritten (pers. Mitt. Albin Tauber). Daher können an dieser Stelle vorerst lediglich allgemeine Informationen über den Höhlenbären sowie Höhlenbärenfunde in der weiteren Umgebung der Nixhöhle gegeben werden. Dass aber die Möglichkeit der einstigen Präsenz von Höhlenbären in der Nixhöhle durchaus real ist, soll die folgende Zusammenstellung vor allem der jüngsten Forschungsergebnisse zeigen.

2. Neue Erkenntnisse über fossile Bären in den Alpen

Die Erforschung der fossilen Bären in den Alpen hat in den letzten drei Jahrzehnten große Fortschritte gemacht. Diese beruhen einerseits auf dem großen Zuwachs an fossilen Knochen und Zähnen aus den zahlreichen Grabungen in alpinen Höhlen, andererseits in der Weiterentwicklung der Methoden in der physikalischen Altersbestimmung (Beschleuniger-Methode), der Analyse stabiler Isotope von Stickstoff und Kohlenstoff (^{15}N und ^{13}C) und vor allem in der Entwicklung der genetischen Analysen von Fossilien (aDNA-Analyse).

2.1. Vielzahl der Arten

Durch die Grabungen in der Ramesch-Knochenhöhle (Hille & Rabeder 1986) und in der Gamssulzenhöhle (Rabeder 1995), beide im Toten Gebirge, wurden so große Mengen an Knochen und Zähnen geborgen, dass auch statistische Auswertungsmethoden herangezogen werden konnten. Aus der Morphologie der Zähne und den Dimensionen der Extremitätenknochen wurde vermutet, dass die Höhlenbären dieser beiden Höhlen zu zwei verschiedenen Arten gehören. Durch genetische Untersuchungen (DNA-Analyse) konnte diese Vermutung bestätigt werden, es konnte sogar noch ein drittes Taxon (Art bzw. Unterart) festgestellt werden.

Die Höhlenbären der Alpen gehören zu folgenden Taxa: Rameschbär (*Ursus spelaeus eremus*), Gamssulzenbär (*Ursus ingressus*) und Conturinesbär (*Ursus spelaeus ladinicus*). Ramesch- und Gamssulzenbären haben zur gleichen Zeit bei uns in den Alpen gelebt, ohne sich zu vermischen (Rabeder & Hofreiter 2004, Rabeder & Frischauf 2016).

2.2. Massenvorkommen von Bärenfossilien in Höhlen

Wie kam es dazu, dass sich Schädel und Knochen vom Höhlenbären in manchen Höhlen massenhaft anhäuften? An – aus heutiger Sicht – phantastischen Begründungen fehlte es nicht: Die Höhlenbären hätten in großen Herden gelebt, Epidemien hätten sie hinweggerafft, oder der steinzeitliche Jäger hätte sie dort in Scharen abgeschlachtet. In der Drachenhöhle bei Mixnitz sind, nach Schätzungen der geborgenen Reste, über 30.000 Individuen verendet. Diese gewaltige Zahl hat nicht nur die Neugier der Höhlenbesucher und (Raub)Gräber, sondern auch das Interesse der Wissenschaft entfacht. Der deutsche Paläontologe W. Soergel (1940) publizierte eine umfangreiche Studie unter dem Titel: „Das Massenvorkommen des Höhlenbären", die sich eigens mit diesem Thema befasst. Der Geologe Albrecht Penck, der als erster zwischen den vier Eiszeiten Günz, Mindel, Riss und Würm unterschied, hatte sich kurz

zuvor (Penck, 1938) gar zu dieser Übertreibung hinreißen lassen: *„Das massenhafte Auftreten des Höhlenbären ist die bei weitem auffälligste Erscheinung des Eiszeitalters. Solange man glaubte, dass es sich um Wohnplätze des Bären handle, war sie nicht so bemerkenswert wie heute, da wir wissen, daß viele Bärenlöcher Stätten gewesen sind, wo der Mensch seine Jagdbeute verzehrte oder hinterlegte. (...) der Höhlenbär drängt alles zurück, er bildet geradezu eine Überschwemmung in der Tierwelt."*

Penck ging, wie wir heute wissen, von zwei falschen Voraussetzungen aus. Er war der Ansicht, dass alle Höhlenbären der letzten großen Warmzeit, dem sogenannten Riss-Würm-Interglazial, entstammten, und dass die Massenanhäufung der Knochen auf den steinzeitlichen Jäger zurückginge.
Die zahlreichen Altersbestimmungen lassen heute jedoch keinen Zweifel daran bestehen, dass sich die Höhlenbärenreste über viele Jahrtausende (in den Alpen von etwa 65.000 bis 24.000 Jahre vor heute) hinweg angesammelt haben (Rabeder & Frischauf 2016, Döppes & al. 2029, Nagel & al. 2023).

2.3. Lebensspuren des Höhlenbären

Von den Höhlenbären sind nicht nur Knochen und Zähne übriggeblieben: In manchen Höhlen finden sich auch Dokumente ihrer Tätigkeiten und Lebensäußerungen, die sogenannten Lebensspuren wie Bärenschliffe, Tatzenspuren und Schlafgruben. Sie geben uns Kunde, wie sich die Tiere bewegten und in der finsteren Höhle orientierten. Die häufigsten Lebensspuren der Höhlenbären sind die sogenannten Bärenschliffe. So bezeichnet man glatte, glänzend polierte Felsflächen, die wahrscheinlich dadurch entstanden sind, dass sich die Bären immer wieder an denselben Stellen der Felswand gerieben und so den Stein mit ihrem Fell im Laufe der Zeit geglättet haben. Dabei haben sie vermutlich Duftstoffe abgesondert, die es ihnen ermöglichten, sich in der Finsternis der Höhle gut zurechtzufinden. Solche Bärenschliffe kommen nicht nur an Engstellen vor, durch die sich die Bären zwängen mussten, sondern auch in großen Hallen und Gängen (Abb. 1), wo die Duftmarkierungen den Weg durch die Höhle wiesen (Rabeder & Frischauf 2016).



Abb. 1. Besonders schöne Bärenschliffe gibt es an der Decke eines Höhlenganges in der Arzberghöhle bei Wildalpen (Steiermark). Foto: G. Rabeder

Die Bärenschliffe in der Nixhöhle an der Decke des Bärenganges sind nicht typisch ausgeprägt, sodass ihre Zuordnung ungewiss ist (mündl. Mitt. A. Tauber).

2.4. Lebensweise des Höhlenbären – was haben die Höhlenbären gefressen ?

Die Ernährungsweise ausgestorbener Tiere gehörte schon immer zu den interessantesten Fragestellungen der Paläobiologie (Lehre von den Lebewesen der Vergangenheit). Durch Vergleiche mit heute lebenden Tieren ist es möglich, aus der Gestalt der Zähne und des ganzen Kauapparats auf die bevorzugte Nahrung zu schließen. Die so gewonnenen Ergebnisse können nun mit modernen Methoden wie der Analyse stabiler Isotope überprüft werden. Dabei geht es nicht nur um die Frage Fleischfresser (carnivor), Allesfresser (omnivor) oder Pflanzenfresser (herbivor), sondern auch um genauere Kenntnis der Pflanzennahrung (Gräser, Kräuter oder Blätter) oder der tierischen Nahrung (Fleisch, Aas, Knochen, Insekten, Weichtiere etc.).

2.5. Höhlenbären als Klimazeugen

Schon unter dem Paläontologen Othenio Abel (Universität Wien) wurde die Ansicht vertreten, dass die ausgestorbenen Höhlenbären *(Ursus spelaeus)* vorwiegend Pflanzen gefressen haben. Abel (1914) schreibt wörtlich: *„...indessen scheint Ursus spelaeus ein im ganzen friedliches Tier gewesen zu sein, das sich vorwiegend von Pflanzenkost ernährt hat, wie aus den häufig tief abgekauten Backenzähnen zu erschließen ist".* Das geht auch aus den Spezialisierungen ihres Gebisses (Rabeder 1999) hervor: Im Vergleich zum omnivoren Braunbären sind die einspitzigen Prämolaren (Vormahlzähne) stärker reduziert, so dass ein Diastem (Zahnlücke zwischen Eck- und Backenzähnen) entsteht, wie es für reine Pflanzenfresser (Pferde, Rinder, Nagetiere etc.) typisch ist, und die Mahlzähne zeigen Abkauflächen, wie sie nur bei Pflanzenfressern vorkommen. Wegen der großen Eckzähne wird auch heute noch immer der Idee nachgehangen, dass Höhlenbären zumindest zeitweise tierische Nahrung aufgenommen haben. Die Anwendung der Analyse stabiler Isotope vor allem des Stickstoffs (^{15}N) und des Kohlenstoffs (^{13}C) brachte eindeutige Resultate: Höhlenbären waren reine Pflanzenfresser, die großen Eckzähne sind als Droh- und Brunftwaffe zu deuten (Bocherens & al. 2011). Aus den Maßverhältnissen der Unterkiefer kann geschlossen werden, dass die Hauptnahrung der Höhlenbären die Blätter von Laubbäumen waren (van Heteren & al. 2016). Höhlenbären waren Bewohner von Laubmischwäldern, wie sie heute in den Alpen unterhalb der Meereshöhe von 1300 Metern wachsen. Aus der Höhenlage der Höhleneingänge und dem geologischen Alter der Höhlenbärenreste kann auf das einstige Klima geschlossen werden, weil die Höhlenbären in einer Umgebung gelebt haben müssen, die ihnen genug Nahrung bot. Wenn diese Umgebung ein Laubmischwald war, muss das damalige Klima zumindest so warm gewesen sein wie das heutige Klima unter der Laubwaldgrenze. Diese Grenze, auch Buchengrenze genannt, liegt heute bei 1200 bis 1300 Meter über dem Meer.

Höhlenbärenreste aus Höhlen, die heute oberhalb der Buchengrenze liegen, sind Zeugen dafür, dass das Klima zur Höhlenbärenzeit wärmer war als heute. Extremwerte liefern die höchstgelegenen Bärenhöhlen der Alpen: Conturineshöhle 2775 m, Schreiberwandhöhle 2225 m, Schneiberhöhle 2300 m. Wenn die Buchengrenze zur Höhlenbärenzeit in fast 2800 Meter lag, muss das Klima um etwa 10 °C wärmer gewesen sein als heute. Der Temperaturunterschied (Tu) zwischen heute und der Höhlenbärenzeit wird aus dem Höhenunterschied in Metern (Hu) von Höhle und heutiger Buchengrenze und dem Temperaturgradienten (Tg, = ca. 0,65 °C pro 100 Meter) errechnet.:

$$Tu = Hu/100*Tg$$

Für den Extremfall der Conturineshöhle (Hu = 1575 m, Tg = 0,65 °C) ergibt sich ein Wert von 10,24° C, (Nagel et al. 2023).

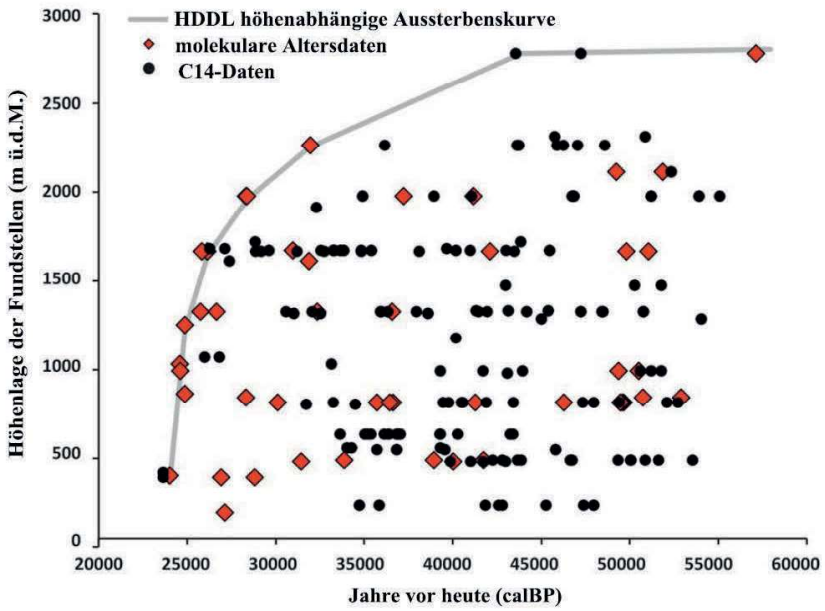


Abb. 2: Absolute Altersdaten der alpinen Höhlenbären in Bezug zur Höhenlage der Fundstellen für die Zeit zwischen 20.000 und 60.000 Jahre vor heute. Die höhenbedingte Verbreitungslinie (HDDL =height dependent distribution line) verbindet die höchstgelegenen Fundstellen pro Zeitspanne (nach Nagel et al. 2023).

2.6. Klimakurve der Höhlenbärenzeit

Die Rekonstruktion der Temperaturmittelwerte in den Alpen beruht für den Zeitabschnitt des Mittelwürms (ca. 65.000 bis 25.000 Jahre vor heute) vorwiegend auf den datierbaren Höhlenbärenresten aus alpinen Höhlen. Die Bärenreste aus den pro Zeitabschnitt höchstgelegenen Höhlen werden zur Berechnung der einstigen Temperaturwerte herangezogen (→ Abb. 2) und ergeben – durch Linien verbunden – die „höhenbedingte Aussterbenskurve" (HDDL = height dependent distribution line, Döppes et al. 2011, 2019). Jeder Punkt dieser Kurve sagt uns, dass zu einem bestimmten Zeitpunkt in einer bestimmten Höhenlage der Alpen ein für Höhlenbären ausreichendes Klima geherrscht haben muss.

Die Schlüssel-Fundstelle für die Rekonstruktion der mittleren Temperaturen in den Alpen ist die Conturineshöhle in den Dolomiten. Ihr Eingang liegt mit einer Höhenlage von 2775 m heute in der nivalen Zone und fast 1500 Meter über der heutigen Buchengrenze (Abb. 2). Die für sie geeignete Nahrung würden die Höhlenbären heute in der so genannten montanen und collinen Vegetationszone (Laubmischwald) finden – also erst unterhalb der Buchengrenze bei 1200 bis 1300 Meter. Daraus ist zu schließen, dass das Alpenklima zur Zeit der Höhlenbären im Durchschnitt um ≥ 10° wärmer war als heute (→ Abb. 4).

2.7. Verbreitungskurve der Höhlenbären (HDDL) als Modell eines Klimawandels

Im Zeitraum von ca. 31.000 bis 24.000 Jahren vor heute kam es zu einer zuerst allmählich, dann immer schnelleren Absenkung der höhenabhängigen Temperaturmittelwerte (→ Abb. 4): Innerhalb eines Zeitraumes von ca. 7000 Jahren ist die Altitude der höchst gelegenen Bärenhöhlen von ca. 2300 m (z.B. Schneiberhöhle, Bayern) auf 800 m (Beispiel Schwaigerhöhle bei Mixnitz, Steiermark) gesunken, was zur Schlussfolgerung führt, dass die Mittelwerte der alpinen Sommertemperaturen in diesem Zeitraum von rund +7,2°C auf – 2,4° Celsius im Vergleich zu heute gesunken ist.

Um 24.000 Jahre vor heute sind die Höhlenbären aus den Alpen verschwunden. Die geologisch jüngsten Höhlenbären-Daten stammen von Höhlen in Oberitalien (Trene, Paina 350 m Sh.) und der Steiermark (Schwaigerhöhle, 830 m Sh., Kat.Nr. 2839/47).

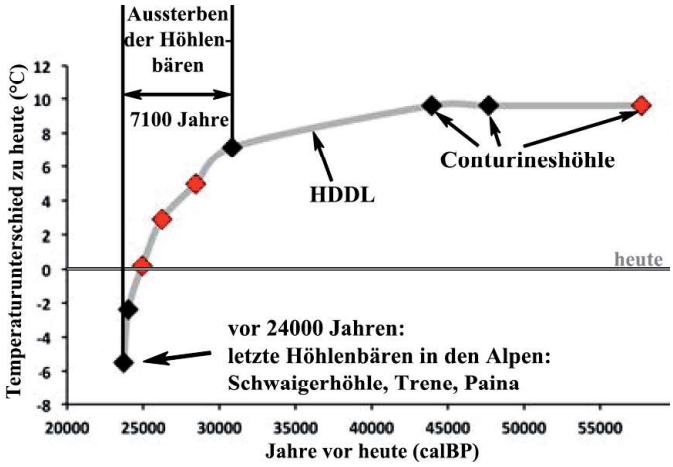


Abb. 3. Temperaturkurve für das alpine Mittelwürm (Höhlenbärenzeit) nach der Ausbreitungskurve der Höhlenbären. Die Punkte der Kurve sind „Minimalwerte" (≥).

Die „Aussterbephase" der alpinen Höhlenbären dauerte etwa 7000 Jahre und ist mit der Abkühlung des Klimas infolge der herannahenden Kaltzeit „Würm-Hoch-glazial" zu erklären.

Eine Bestätigung dafür gibt es durch Hyänen und Hamster (→ Abb.4):

Hyänen sind Raubtiere, die heute nur in tropischen und subtropischen Regionen Afrikas und Asiens vorkommen und damit unter einem Klima leben, das um mindestens 10 °C wärmer ist als das heutige Klima in den Alpen. Höhlenhyänen waren engste Verwandte der heute noch in Afrika heimischen Tüpfelhyäne *(Crocuta crocuta).* Ihre fossilen Reste wurden in mehreren alpinen Höhlen gefunden zusammen mit Resten von Löwen, Leoparden und Halbeseln, die den subtropischen Charakter noch deutlicher machen. Nach den absoluten Altersdaten lebten diese wärmeliebenden Säugetiere nur in der Höhlenbärenzeit in den Alpen und bestätigen damit die geschätzte Temperatur von mehr als zehn Grad Celsius über dem heutigen Niveau (≥ +10° C).

Feldhamster *(Cricetus cricetus)* sind Bewohner der warm-gemäßigten Steppengebiete Asiens und Europas. Ihr Verbreitungsgebiet reicht heute bis zum Fuß der Alpen z.B. am Westrand des Wiener Beckens, es reicht nur bis zu einer Höhenlage von 350 m. Ihr fossiles Vorkommen in den Hochalpen kann daher als Hinweis gewertet werden, dass sie bei einem wesentlich wärmeren Klima als heute in Höhen von fast 2000 Metern gelebt haben. Damit sind fossile Hamsterreste auch Klimazeugen für die Höhlenbärenzeit, aber auch für die sogenannte „Hamster-Warmzeit" unmittelbar nach der letzten großen Vereisung (→ Abb.4) nach Nagel et al. (2018, 2023).

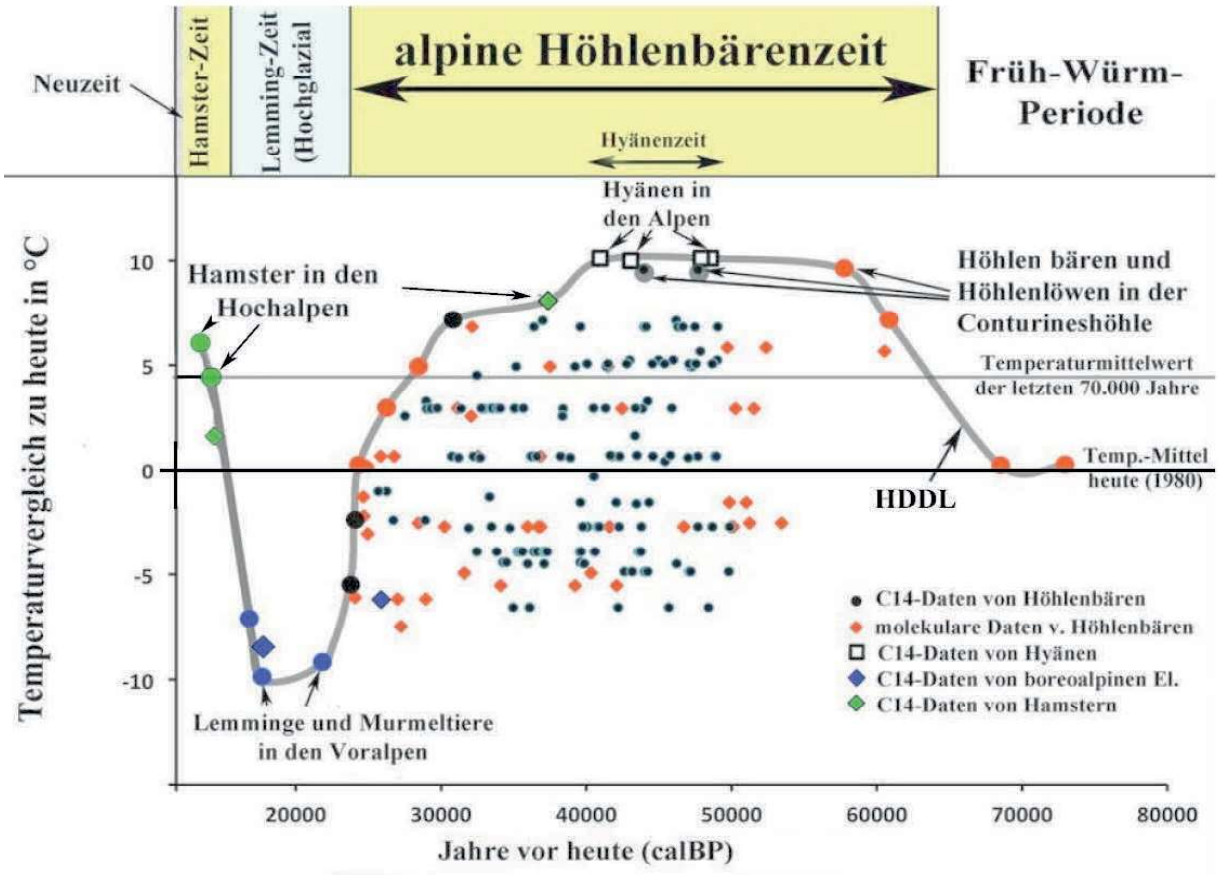


Abb. 4. Rekonstruktion der alpinen Temperaturkurve nach fossilen Wirbeltierfunden in Höhlen und die Gliederung der letzten 70.000 Jahre nach paläontologischen Befunden (n. Nagel & al. 2023). Die Höhenlage der Höhlenbärenfundstellen zeigt, dass in der Zeit zwischen 65.000 und 30.000 Jahren vor heute die Sommer in den Alpen um fünf bis 10° Celsius wärmer waren.

2.8. Ursache der Klimaänderungen

Die Verursacher dieser großen Klimaschwankungen wie die Höhlenbärenzeit (Mittelwürm) und die darauffolgende Lemmingzeit (Hochglazial) sind schon lange bekannt (Hille & Rabeder 1986): Es sind astronomisch berechenbare regelmäßige Veränderungen der Erdbahn um die Sonne, die durch die so genannten Erdbahnparameter dargestellt werden können. Auf diesen astronomischen Berechnungen beruht die Sonneneinstrahlungskurve, auch Milankovitch-Kurve genannt.

Für die Zeit der alpinen Höhlenbärenära und der alpinen Lemmingzeit stimmt die Milankovitch-Kurve mit der aus den Höhlenfossilien erhobenen „speläobiologischen Klimakurve" so eng überein, dass nicht daran gezweifelt wird, dass die Ursachen der großen Klimaänderungen auch von astronomischen Kräften gesteuert wurden (Döppes et al. 2011, 2019).

Die warmen Phasen der speläobiologischen Kurve (Höhlenbären- und Hamsterzeit) stimmen – etwas zeitversetzt – mit den positiven Bereichen der Sonneneinstrahlungskurve (Mittelwürm-Warmzeit und holozäne Warmzeit) überein und die Lemmingzeit mit dem letzten Hochglazial.

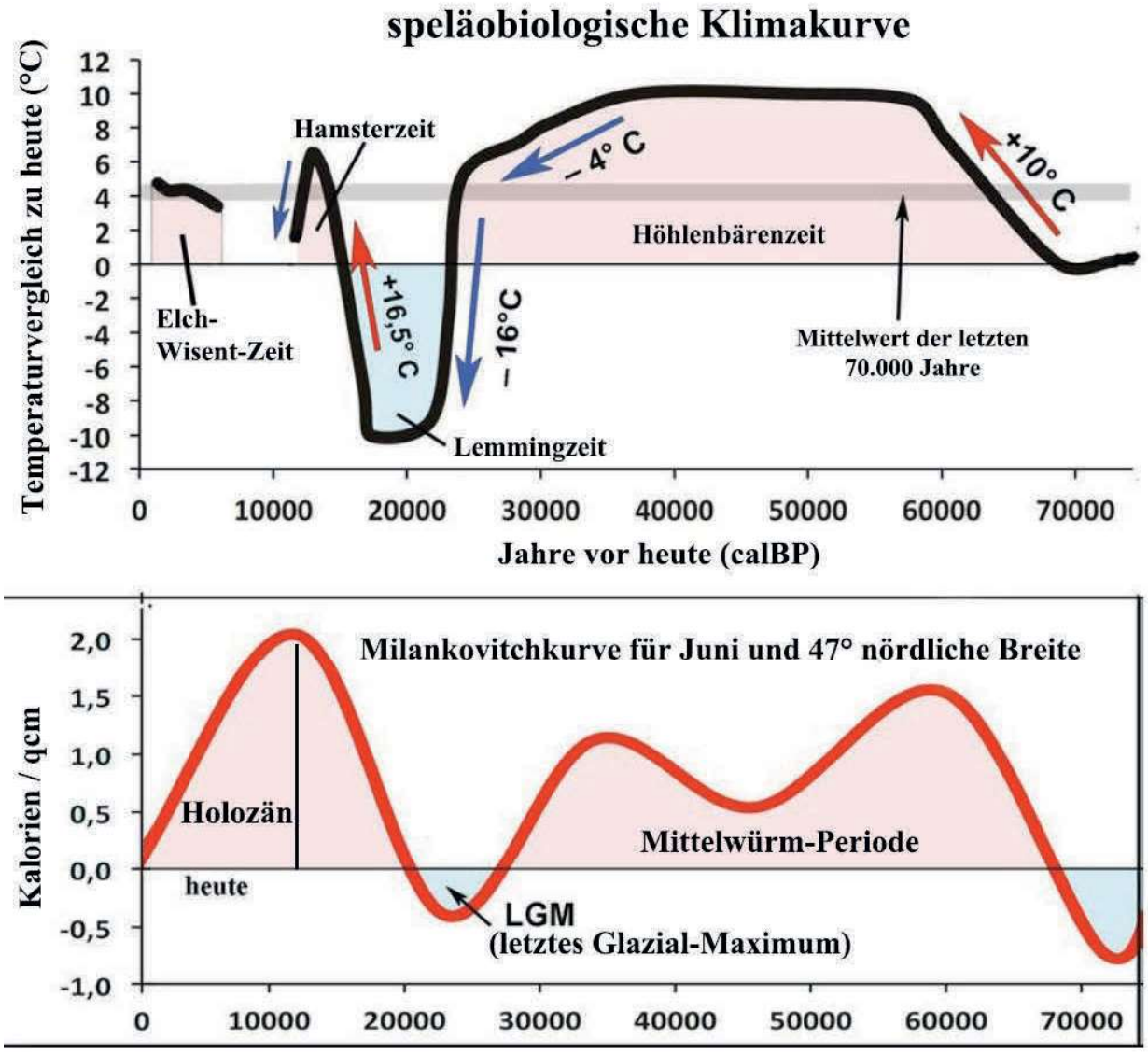


Abb. 5. Vergleich der nach Höhlenfossilien rekonstruierten „speläobiologischen Klimakurve" der Alpen und der nach astronomischen Parametern errechneten Sonneneinstrahlungskurve (=Milankovitch-Kurve) für die geographische Breite von 47° Nord.

3. Bärenhöhlen in der Umgebung der Nixhöhle

In den Alpen gibt es insgesamt etwa 40 „große" Bärenhöhlen. Darunter versteht man Höhlen, die von Höhlenbären über einen sehr langen Zeitraum oder von sehr vielen Höhlenbären bewohnt worden sind, wodurch das bislang geborgene Fossilmaterial einen so großen Umfang erreicht hat, dass beschreibend-statistische Methoden ohne Einschränkungen angewendet werden können. In Niederösterreich gibt es zwei „große Bärenhöhlen" im Gemeindegebiet von Lunz am See, nur 25 Kilometer von der Nixhöhle entfernt: die Herdengelhöhle (878 m Sh., Kat. Nr.:1823/4) und die Schwabenreith-Höhle (960 m Sh., 1823/32). Neue absolute Altersdaten zeigen, dass sie viele tausend Jahre lang von Höhlenbären bewohnt wurden: die Herdengelhöhle mindestens von 64.400 bis 30.300 vor heute und die Schwabenreith-Höhle von 52.200 bis 32.100 Jahre v.h. (Nagel et al. 2023).

Zahlreicher sind Fundstellen mit einem kleinen Fundinventar wie zum Beispiel die Köhlerwandhöhle bei Türnitz (591 m Sh., 1835/6) und die Feuersteinmauerhöhle am Dürrenstein (1230 m Sh., 1815/407), → Döppes & Rabeder (1979), Rabeder et al. (2023).

Es ist auch aus wissenschaftlicher Sicht sehr bedauerlich, dass die Bärenfunde aus der Nixhöhle – um welche Art auch immer es sich dabei handelte – auf ungeklärte Art verschwunden sind. Aus tiergeographischer Sicht wären Höhlenbärenfunde in der Nixhöhle jedenfalls keine Überraschung.

4. Literatur

Abel O., (1914): Die vorzeitlichen Säugetiere. – Jena (Fischer).

Bocherens, H., Stiller, M., Hobson, K.A., Pacher, M., Rabeder, G., Burns, J.A., Tütken, T., Hofreiter, M. (2011): Niche partitioning between two sympatric genetically distinct cave bears (*Ursus spelaeus* and *Ursus ingressus*) and brown bear (*Ursus arctos*) from Austria: isotopic evidence from fossil bones.- Quaternary International, 245: 238-248.

Döppes, D. & Rabeder, G (Hrsg.) (1997): Pliozäne und pleistozäne Faunen Österreichs. Ein Katalog der wichtigsten Fossilfundstellen und ihrer Faunen. – Mitt. Komm. Quartärforsch. Österr. Akad. Wiss. 10: 1-411, Wien.

Döppes, D., Rabeder, G., Stiller, M. (2011): Was the Middle Würmian in the High Alps warmer than today? – Quaternary International 245 (2011): 193-200.

Döppes, D., Rabeder, G., Frischauf, C., Kavcik-Graumann, N., Kromer, B., Lindauer, S., Friedrich, R. & Rosendahl, W. (2019): Extinction pattern of Alpine cave bears – new data and climatological interpretation. Historical Biology 31, 4: 422-428.

Hille, P. & Rabeder, G., G. (Hrsg.) (1986): Die Ramesch-Knochenhöhle im Toten Gebirge. – Mitt. Komm. Quartärforsch. österr. Akad. Wiss., 6: 1-66, Wien.

Müllner, M. (1926): Die Nixhöhle und Gredlhöhle bei Frankenfels an der Mariazeller Bahn – Natur- und höhlenkiundl. Führer durch Österr., Bundeshöhlenkomission, 9 – Wien (Verlag der NÖ Landessammlungen): 1-26.

Penck, A. (1938): Säugetierfauna und Paläolithikum des Jüngeren Pleistozäns in Mitteleuropa. – Abh. Preuß. Akad. Wiss., phys.-math. Kl., 1938, 5: 1-72.

Rabeder G. (Hrsg.) (1995): Die Gamssulzenhöhle im Toten Gebirge. – Mitt. Komm. Quartärforsch. Österr. Akad. Wiss. 9: 1-133, Wien.

Rabeder, G. (1999): Die Evolution des Höhlenbärengebisses. – Mitt. Komm. Quartärforsch. Österr. Akad. Wiss. 11: 1- 102, Wien.

Rabeder, G., Frischauf, C. (2016): Fossile Bären in Höhlen. – In: Spötl, C., Plan, l., Christian, E. (eds.): Höhlen und Karst in Österreich. – Linz (OÖ Landesmuseum): 183-198.

Rabeder, G. & Hofreiter, M. (2004): Der neue Stammbaum der Höhlenbären. – Die Höhle (Wien), 55 (1-4): 58-77.

Rabeder, G., Kavcik-Graumann, N., Oberender, P. 2023. Höhlenbärenreste aus der Feuersteinmauerhöhle im Dürrensteingebiet (Niederösterreich). – Die Höhle (Wien), 74 (1-4): 65-6.

Rabeder, G., Döppes, D., Lindauer, S., Friedrich, S., Kromer, B., Rosendahl, W., Pacher, M. (2018): Die systematische und chronologische Stellung der Bären aus der Merkensteinerhöhle. – Wissensch. Mitt. aus dem Niederösterr. Landesmuseum, 28: 9-52.

Soergel, W. (1940): Die Massenvorkommen des Höhlenbären. Ihre biologische und ihre stratigraphische Deutung. – Jena (G. Fischer).

Van Heteren, A., MacLarnon, A., Soligo, C. & Todd, C.R. (2016): Functional morphology of the cave bear (*Ursus spelaeus*) mandible: 3D geometric morphometric analysis. – Organisms Diversity & Evolution 16: 299–314.

Fledermäuse – die geheimen Bewohner:innen der Nixhöhle

Katharina Bürger

1. Fledermäuse in Höhlen

Bei dieser Überschrift kommt vielen Menschen das Bild von Höhlen mit tausenden, dicht aneinander gedrängten Fledermäusen in den Sinn. Meist stammen diese Bilder aus den Medien oder im besten Fall aus Urlaubserinnerungen. Allerdings stellt sich in unseren Höhlen ein anderes Bild dar. Es finden sich nur sehr selten Höhlen oder Höhlenbereiche, in denen hunderte Individuen nahe beisammen hängen. Die meisten Fledermäuse sieht man in den Höhlen vermutlich gar nicht, und wenn, dann verteilen sie sich so gut, dass erst durch genaues Beobachten und Zusammenzählen deutlich wird, dass sich hier mehrere hundert Individuen verstecken. Dies macht unsere Fledermäuse aber nicht weniger spannend.

Es lohnt es sich auf jeden Fall, ganz genau hinzuschauen: Auch wenn es keine großen Ansammlungen an Tieren sind, können wir anhand von Zahlen und Daten wichtige Aussagen treffen, beispielsweise zur Vielfalt der Arten, zur Artzusammensetzung und ihrer Veränderung mit der Zeit. Bevor wir aber tiefer die Vielfalt der Fledermäuse ergründen, begeben wir uns zuerst auf eine Spurensuche und erkunden, was der Lebensraum Höhle für Fledermäuse bedeutet.

1.1. Höhlen als Winterquartiere



Etwa zwei Drittel der Fledermausarten in Österreich besuchen im Winter regelmäßig Höhlen (Bürger 2010). Die Kleine Hufeisennase bevorzugt Höhlenbereiche mit einem stabilen Mikroklima und hängt häufig völlig frei von der Höhlendecke oder anderen Objekten wie Tropfsteinen, Wurzeln oder Lampen.

Abb. 1: Kleine Hufeisennase (Rhinolophus hipposideros) im Winterschlaf. Foto: Lukas Plan

Das Mausohr hingegen findet man oft in Kontakt mit der Wand, wo es sich in verschiedenen Bereichen der Höhle niederlässt. Im Vergleich zu vielen anderen Arten kann es sich aber auch in Kolken oder horizontalen und vertikalen Spalten verstecken (Zukal 2005).

Einige Arten zeigen jedoch keine klare Präferenz bei der Wahl ihres Hangplatzes (z. B. Wimperfledermaus, Bart- und Brandtfledermaus, Langohr, Bechsteinfledermaus, Wasserfledermaus, Fransenfledermaus). Sie hängen in unterschiedlichen Höhen und Bereichen der Höhle sichtbar an der Wand oder nutzen – oft auch sehr enge – Spalten als Versteck. Hier scheint die Größe und Beschaffenheit des Winterquartiers entscheidend dafür zu sein, welchen Hangplatztyp die Tiere bevorzugen. Kältetolerante Arten wie die Mopsfledermaus wählen auch kältere, zugigere Spalten im eingangsnahen Bereich. Typische Spaltenbewohner wie die Breitflügelfledermaus oder

Zwergfledermäuse überwintern gerne in Spalten im Eingangsbereichen von Höhlen oder in Felswänden.

„Nur wer viel frisst, überlebt den Winter“

Fledermäuse müssen sich im Herbst große Fettreserven anfressen, um auch möglicherweise sehr lange Winter zu überleben. Dies ist nicht immer leicht, da der Herbst gleichzeitig Paarungszeit ist und sich die Männchen bei der Balz, auf der Suche nach einem Weibchen, sehr verausgaben können. Gerade für die Jungtiere ist der erste Winter sehr kritisch und viele schaffen es nicht bis ins kommende Frühjahr. Sowohl natürliche Aufwachvorgänge als auch jene infolge von Störungen spielen beim Überleben ebenfalls eine wesentliche Rolle.

Fledermäuse sind darauf angewiesen, in den kalten Wintermonaten einen feuchten, kühlen, aber frostsicheren Ort aufzusuchen. Diese Winterquartiere müssen gut gewählt sein, da ungünstige Bedingungen lebensbedrohlich sein können. Wenn es zu warm ist, verbrauchen Fledermäuse mehr Energie als nötig, und auch bei zu tiefen Temperaturen müssen sie Energie aufwenden, um die Mindestkörpertemperatur aufrecht zu erhalten und ein Erfrieren zu verhindern. Geeignete und auch möglichst konstante Temperaturen liegen je nach Art zwischen 0 und 10° C. Außerdem bietet eine hohe Luftfeuchtigkeit im Winterquartier Schutz vor dem Austrocknen der dünnen Flughäute.

Einige Fledermausarten können mit der Kälte besser umgehen als andere. Kälteresistente Arten wie zum Beispiel die Mops- oder Nordfledermaus hängen oft auch in zugigen, tagnahen Höhlenbereichen mit einer Temperatur um den Gefrierpunkt, während kälteempfindliche Arten wie die Kleine Hufeisennase und die Wimperfledermaus wärmere Bereiche (7-10°C) im Inneren der Höhle bevorzugen. Erstaunlich sind auch Spaltenbewohner wie die Zwergfledermaus oder die Breitflügelfledermaus, die in Spalten von Halbhöhlen oder Felswänden gefunden werden können. Diese Hohlräume werden durch das umgebende Gestein warm gehalten, sodass es nicht friert. Sie stellen so einen geeigneten Ort zur Überwinterung dar.

Fledermäuse der gemäßigten Klimazonen sind Insektenfresser. Sie halten einen unterbrochenen Winterschlaf (= Hibernation), da es ihnen in den Wintermonaten aufgrund der Kälte – über längere Zeiträume – an Nahrung fehlt. Dieser energiesparende physiologische Zustand wird überbegrifflich als Torpor (lat. „Erstarrung“) bezeichnet. Andere Säugetiere (Hamster, Murmeltier, Schläfer etc.) und einige Vögel (Segler, Ziegenmelker, Kolibris) können sich ebenfalls kurzzeitig je nach Umweltbedingungen und Nahrungsknappheit aktiv in eine Art Torpor versetzen. Eine weitere Form von Torpor ist die Tages- oder Kältelethargie, die es den Fledermäusen erlaubt, während ihrer aktiven Phase (Frühjahr bis Herbst) bei schlechten Bedingungen (niedrige Temperaturen, lange Regenperioden) durch kontrolliertes Herabsetzen der Körpertemperatur und -funktionen Energie zu sparen. Während des Winterschlafs senken Fledermäuse ihre Körpertemperatur auf 1 - 2° C über der Umgebungstemperatur ab und verlangsamen somit ihren Stoffwechselkreislauf. Auf Wärmebildkameras sieht man dann oft kaum einen Unterschied zur Umgebung. Im Extremfall wird der Stoffwechsel so weit herabgesetzt, dass nur mehr die wichtigsten Organe versorgt werden. Messungen der Atemfrequenz eines Mausohrs (*Myotis myotis*) ergaben beispielsweise Atempausen von über einer Stunde (Gebhart 1997). Das Gewicht gesunder Fledermäuse liegt am Beginn des Winters 20 bis 25 % über ihrem normalen Körpergewicht. Diese Fettreserven helfen ihnen den Winter zu überstehen. Während dieser Zeit verlangsamen sich ihre physiologischen Prozesse erheblich. Sie atmen nur 2 bis 3 Mal pro Stunde, ihr Herz schlägt mit 10 bis 80 Schlägen pro Minute, und ihre Körpertemperatur sinkt auf Werte zwischen 2 und 12 °C. Beim Aufwachen aus dem Winterschlaf verbrauchen sie etwa 120 Joule pro Gramm bei einer Temperatur von 16 °C, wobei sie rund 108 mg pro Gramm Fettgewebe verlieren. Fledermäuse verlieren also während des Winters in Summe 30 bis 40 % ihres Körpergewichts (Thomas et al. 1990, Gebhard 1997, Dietz et al. 2007, Wojciechowski 2007).

1.2. Höhlen als Schwärmquartiere

Höhlen sind für unsere Fledermäuse nicht nur im Winter von großer Bedeutung, sondern auch im Herbst (=Paarungszeit) und im Frühjahr, da sich hier alle Generationen und Geschlechter verschiedenster Arten treffen. Vorwiegend werden höhlen-überwinternde Arten angetroffen, wobei das Schwärmquartier nicht unbedingt mit dem Winterquartier übereinstimmen muss.

Das Schwärmen selbst ist ein faszinierendes Schauspiel, das je nach Art zwischen Juli und November vor Höhleneingängen, Felswänden, aber auch vor Schlössern und Kirchen (mit offenen Dachböden) stattfindet (Dietz et al. 2007). Während Männchen der Nordfledermaus, Wimperfledermaus und Wasserfledermaus bereits im August auf Partnersuche gehen, dauert die Schwärmzeit der Kleinen Hufeisennase und der Fransenfledermaus meist bis Oktober und bei der Zweifarbfledermaus oft bis in den November (Dietz et al. 2007, sowie Daten der Koordinationsstelle für Fledermausschutz und -forschung in Österreich (KFFÖ). Bart- und Brandtfledermaus (*Myotis mystacinus, Myotis brandtii*) sind besonders früh unterwegs und schwärmen bereits im Juli an den Höhleneingängen (Daten KFFÖ). Der genaue Zeitraum kann je nach Lage des Schwärmquartiers – ob wärme- oder kältebegünstigt – variieren. Generell erscheinen zunächst die Männchen an den Schwärmquartieren, die Weibchen folgen etwas später.

Die genaue Funktion der Schwärmquartiere ist jedoch noch nicht vollständig geklärt. Oft treffen sich dort neben Männchen und Weibchen auch Jungtiere und ältere Individuen. Es wird vermutet, dass diese Treffen dazu dienen, auf noch weitgehend unbekannte Art und Weise Informationen über geeignete Winterquartiere auszutauschen.

2. Fledermäuse und ihre Lieblingsschlafplätze in der Nixhöhle

Ähnlich dem Menschen suchen sich auch Fledermäuse ihre Schlafplätze ganz genau aus. Dabei spielen vordergründig abiotische Faktoren, allen voran die Lufttemperatur und -feuchtigkeit, eine sehr große Rolle. Immerhin sind ihre Flughäute hauchdünn und laufen Gefahr, im Schlaf auszutrocknen, daher hängen sie gerne in Bereichen mit höherer Luftfeuchte. Jede Fledermausart hat dabei besondere Lieblingsorte.



Die kälteliebende Mopsfledermaus (Abb. 2) ist fast ausschließlich dort zu finden, wo es am kühlsten ist, nämlich in der Vorhalle oder kurz nach der Gittertüre beim Stiegenabgang. Sobald die Temperaturen 0°C übersteigen, verlässt sie das Quartier, während die anderen Arten erst ab ca. 10°C aufbrechen (Abb. 3).

Abb. 2: Die dunkelbraune Mopsfledermaus (Barbastella barbastellus) ist hier ausnahmsweise durch das helle Gestein gut sichtbar. Oft sitzt sie in Spalten und ist dann nur schwer zu entdecken. Foto: Katharina Bürger

Die Bärenhalle bzw. Wirbelhalle bis zur Trümmerhalle, inklusive Fledermauskluft, wird gerne von den Kleinen Hufeisennasen besetzt. Im Bärengang, Geogang und in der Lawinenschlucht werden immer wieder Mausohren, aber auch Hufeisennasen beobachtet. In der Kanzelhalle und Excentriqueskluft

wurde ein Braunes Langohr entdeckt, gelegentlich kommt hier auch die Mopsfledermaus vor. Dies deutet auf niedrigere Temperaturen im Vergleich zur restlichen Höhle hin. In der Neubauerhalle haben neben einigen Hufeisennasen, die meist sehr verteilt hängen, ein bis zwei Wimperfledermäuse ihren Stammhangplatz. Sie hängen gerne Jahr für Jahr an der exakt gleichen Stelle. Der Theogang bis zur Weißen Halle und die Theahalle sind generell nur vereinzelt mit Individuen gesäumt, allerdings sind es dann verschiedene Arten: gelegentlich ein Langohr, ein Mausohr, eine Fransenfledermaus oder eine Kleine Hufeisennase.

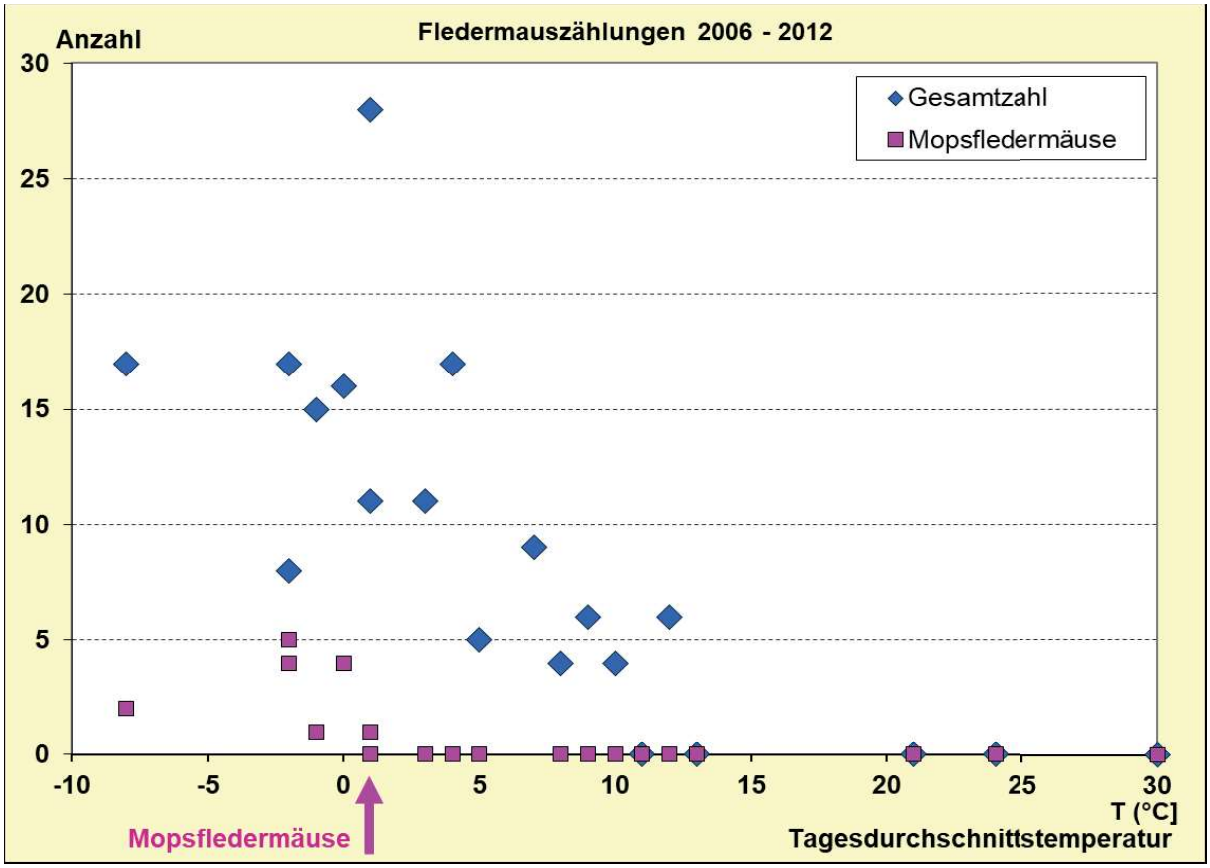


Abb. 3: Fledermausbeobachtungen in Abhängigkeit der Temperatur zwischen 2006 und 2012 (Fledermaus- und Temperaturdaten: A.Tauber & R.Pavuza).

3. Längerfristige Fledermausbeobachtungen in der Nixhöhle

Aus der Nixhöhle sind seit den ersten Aufzeichnungen aus 1966 mindestens 13 Arten bekannt, die die Höhle regelmäßig aufgesucht haben oder noch immer aufsuchen (Tab. 1). Bis heute wurden insgesamt 1354 Individuen gezählt.

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Artikels wurde an einer Neueinstufung in die Rote Liste Österreichs gearbeitet, da diese bereits 20 Jahre alt ist. Es ist davon auszugehen, dass sich bei einigen Arten die Einstufung ändern wird.

Die Nixhöhle bei Frankenfels befindet sich in 10 km Entfernung zum Europaschutzgebiet „Ötscher-Dürrenstein“. Europaschutzgebiete, auch als Natura-2000 Gebiete bezeichnet, sind Schutzgebiete, die zum Schutz besonders gefährdeter Tier- und Pflanzenarten, aber auch seltener Lebensraumtypen ausgewiesen werden. Für dieses Gebiet sind fünf Fledermausarten gelistet, wovon vier Arten in der Nixhöhle vorkommen (unterstrichen): Kleine Hufeisennase (*Rhinolophus hipposideros*), Große Hufeisennase (*Rhinolophus ferrumequinum*), Mausohr (*Myotis myotis*), Wimperfledermaus (*Myotis emarginatus*) und Mopsfledermaus (*Barbastella barbastellus*).

Fledermausart deutsch	Fledermausart (wissenschaftlich)	Rote Liste Ö
Kleine Hufeisennase	*Rhinolophus hipposideros*	VU
Mopsfledermaus	*Barbastella barbastellus*	VU
Breitflügelfledermaus	*Eptesicus serotinus*	VU
Bartfledermaus*	*Myotis mystacinus*	NT
Bechsteinfledermaus	*Myotis bechsteinii*	VU
Wasserfledermaus	*Myotis daubentonii*	LC
Wimperfledermaus	*Myotis emarginatus*	VU
Mausohr	*Myotis myotis*	LC
Kleines Mausohr**	*Myotis oxygnathus*	CR
Fransenfledermaus	*Myotis nattereri*	VU
Zwergfledermaus	*Pipistrellus pipistrellus*	NT
Braunes Langohr	*Plecotus auritus*	LC
Graues Langohr	*Plecotus austriacus*	VU

* Alte Nachweise aus 1966 & 1967 ** Einzelnachweis aus 1969

Tab. 1: Auflistung der Fledermausarten aus der Nixhöhle und ihre Einstufung in der Roten Liste der Säugetiere Österreichs RLÖ (Spitzenberger 2005). CR = „Vom Aussterben bedroht"; EN = „Stark gefährdet"; VU = „Gefährdet"; NT = „Gefährdung droht (Vorwarnliste)"; LC = „Nicht gefährdet".

3.1. Winterquartierkontrollen damals und heute

Die ersten (uns zugänglichen und vollständigen) Aufzeichnungen von Winterquartierkontrollen in der Nixhöhle stammen aus dem Jahr 1967. In einem Artikel der Zeitschrift „Die Höhle" wurden von den Autoren Anton Mayer und Josef Wirth Fledermausbeobachtungen aus diesem Jahr aus ganz Österreich von zahlreichen Beobachter:innen zusammengetragen. Weitere Aufzeichnungen sind uns aus den Höhlenkundlichen Mitteilungen und einigen Ausgaben der Zeitschrift „Die Höhle" (1966 - 1968) bekannt, allerdings sind die Angaben unvollständig (Auflistung der Arten ohne Individuenzahl). Danach gibt es wieder Daten aus dem Jahr 1989 von der Fledermauskundlichen Arbeitsgemeinschaft.

In der Zeitschrift „Die Höhle" wurde 1967 folgende Fahrtenmeldung von A. Mayer mitgeteilt: „Ebenfalls im Jänner konnten anlässlich einer Befahrung der Nixhöhle bei Frankenfels **sieben Arten** von Fledermäusen festgestellt werden, was sehr bemerkenswert ist. Es waren dies: Wimper-, Wasser-Mops- und Bartfledermaus, Großes Mausohr, Braunes Langohr und Kleine Hufeisennase."

Im Jänner 1966 und 1967 wurden 35 Individuen von sieben Arten und 1969 (ebenfalls im Jänner) 31 Individuen von vier Arten gezählt (Mayer & Wirth 1967, 1968, 1970). Im Detail wurde im Jahr 1966 erstmals die Bartfledermaus beobachtet und bestimmt sowie im Jänner 1969 insgesamt 31 Individuen der Kleinen Hufeisennase, des Mausohrs, der Wasserfledermaus und der Mopsfledermaus gezählt (Mayer & Wirth 1970). Im Dezember 1987 wurde zumindest eine Kleine Hufeisennase erfasst und dies später veröffentlicht. Gegen Ende November 1998 ergab eine Zählung 21 Individuen von 6 Arten, darunter auch eine Bechsteinfledermaus als Besonderheit.

Seit 2007/2008 wird jährlich ein Wintermonitoring durchgeführt. Den größten Beitrag leisten dabei der Höhlenchef Albin Tauber sowie Arthur Vorderbrunner, unterstützt von zahlreichen Gast-zähler:innen wie Martin Pollheimer, Ingrid Leutgeb-Born, Michael Leutgeb sowie der Autorin selbst. Rudolf Pavuza von der Karst- und Höhlenabteilung des NHM Wien nahm an einigen Zählungen teil. Durch das Engagement der Höhlenführer wurden seit 2007 über 60 Zählungen durchgeführt.



Abb. 4: Mausohr (Myotis myotis, links im Bild) und Fransenfledermaus (Myotis nattereri) mit Respekt-abstand im Winterschlaf. Foto: Katharina Bürger

3.2. Wintermonitoring (seit 2007/2008)

Die aktuelle Artenliste der Nixhöhle umfasst 13 bisher nachgewiesene Arten (Tab. 1). Diese Zahl stellt nur eine Mindestanzahl dar, da insbesondere im Winter einige Arten nicht eindeutig bestimmt werden können. Frühere Methoden, bei denen Tiere einfach gefangen und bestimmt wurden, sind heute nicht mehr zeitgemäß. Dadurch können heute beispielsweise Arten aus dem Komplex „Bartfledermäuse“ in den Winterquartieren nicht eindeutig zugeordnet werden. Diese Gruppe besteht aus Bartfledermaus (*Myotis mystacinus;* früher auch Kleine Bartfledermaus), Brandtfledermaus (*Myotis brandtii*; früher auch Große Bartfledermaus), Nymphenfledermaus (*Myotis alcathoe*) und Steppen-Bartfledermaus (*Myotis davidii*).

Die Nymphenfledermaus wurde 2001 als neue Art beschrieben (Helversen et al. 2001) und 2006 in Österreich erstmals nachgewiesen (Spitzenberger et al. 2008). Die Steppen-Bartfledermaus scheint aus dem Süden/Südosten nach Österreich einzuwandern und wurde 2023 in Kärnten bestätigt (Milchram et al. 2023). Letztere ist der Wasserfledermaus im Verhalten und vom Erscheinungsbild her sehr ähnlich, nur ist sie kleiner. Die Nymphenfledermaus ist die kleinste in diesem Bartfledermaus-Komplex und oft nur schwer von der Bartfledermaus zu unterscheiden. Die Autorin orientiert sich dabei an der aktuellen Nomenklatur aus dem Handbuch „Fledermäuse Europas und Westafrikas“ von Dietz, Kiefer & Nill (2007), das unter anderem einen detaillierten Bestimmungsschlüssel enthält und von den deutschsprachigen Fledermausforscher:innen als Grundlage genutzt wird. Im Folgenden werden einige zusammenfassende Diagramme präsentiert, die auf Daten der oben genannten Beobachter basieren.

3.3. Das Wintermonitoring in Zahlen

Für die Erstellung der Diagramme und zum besseren Vergleich wurden lediglich Zählungen innerhalb des Wintermonitoring-Zeitraums (Dezember bis Februar, mit Ausnahme des Jahres 1998, welches bereits Ende November sehr winterliche Temperaturen aufwies) berücksichtigt. In jenen Winter-saisonen, die mehrere – meist zwei – Zählungen aufweisen, wurde der Mittelwert herangezogen. Es werden Diagramme der häufigsten Arten gezeigt: Kleine Hufeisennase, (Großes) Mausohr und Mopsfledermaus. Während die Kleine Hufeisennase einen Aufschwung erlebt und das Mausohr abnimmt, schwanken die Zahlen bei der Mopsfledermaus von Jahr zu Jahr stark. Die Interpretation dieser Ergebnisse ist eine besondere Herausforderung, sie zeigt allerdings auch, wie wichtig langjährige Zählungen sind, um überhaupt realistische Aussagen zu Populationstrends treffen zu können.

Die häufigste Art in der Nixhöhle ist die **Kleine Hufeisennase**. Seit den Anfängen der Winterzählungen (1969) und auch seit den regelmäßigen Zählungen (2008) nimmt die Art in der Nixhöhle deutlich zu (Abb. 5). Die höchste Anzahl wurde mit 51 Individuen im Dezember 2024 gezählt. Interessant ist, dass innerhalb einer Saison eine recht große Schwankung beobachtet werden konnte: Wurden im Dezember 2020 noch 26 Individuen gezählt, so lag die Anzahl im Jänner 2021 – nur zweieinhalb Wochen später – bei 39 Individuen. Eine mögliche Erklärung ist eine für diese Zeit ungewöhnliche Temperaturerhöhung, die den Tieren einen vorzeitigen Frühling vorgaukelte.

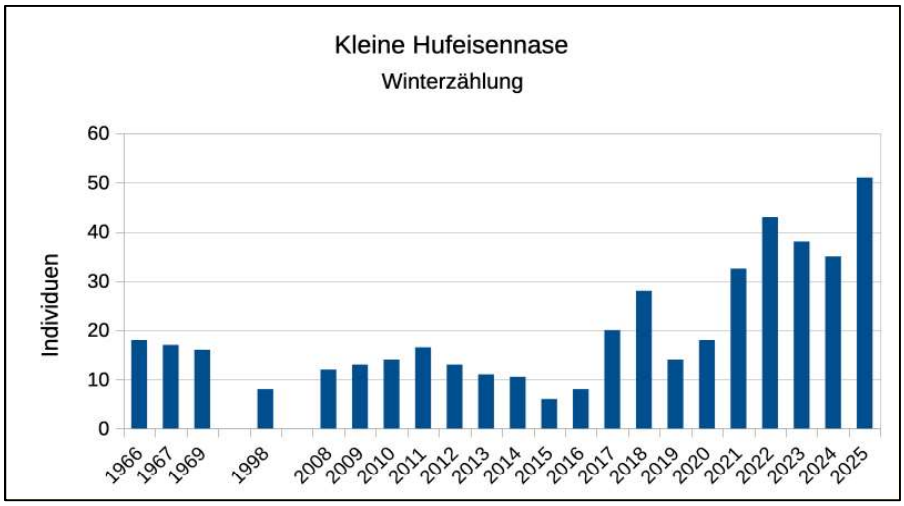
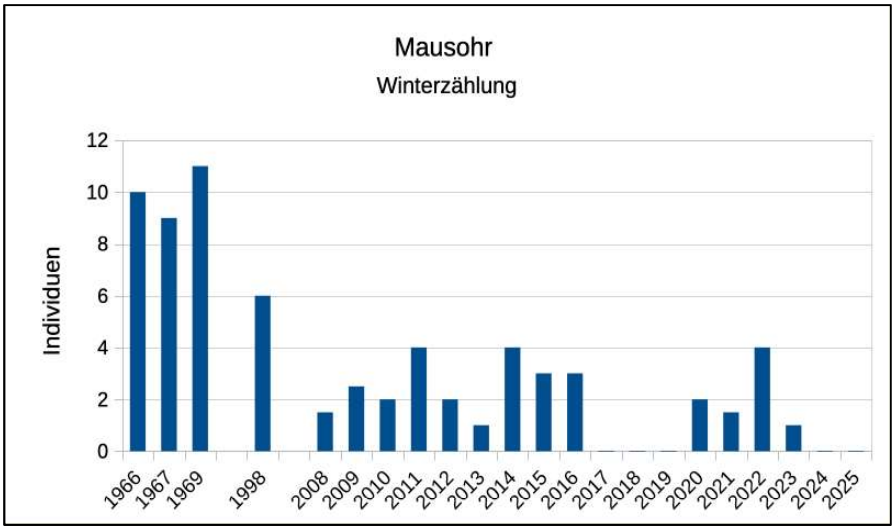


Abb. 5: Jährliche Zählungen der Kleinen Hufeisennase (Rhinolophus hipposideros) im Winter. Erste Zählungen in den Jahren 1966-69 sowie 1998, danach regelmäßig seit 2008. Bei mehrmaligen Zählungen innerhalb einer Saison ist der Mittelwert dargestellt.

Es ist normal, dass sich im Frühjahr mehr Individuen in den Höhlen einfinden, da sie diese als Zwischenquartier nutzen, bevor sie weiter zu ihren Sommer- oder Wochenstubenquartieren fliegen.

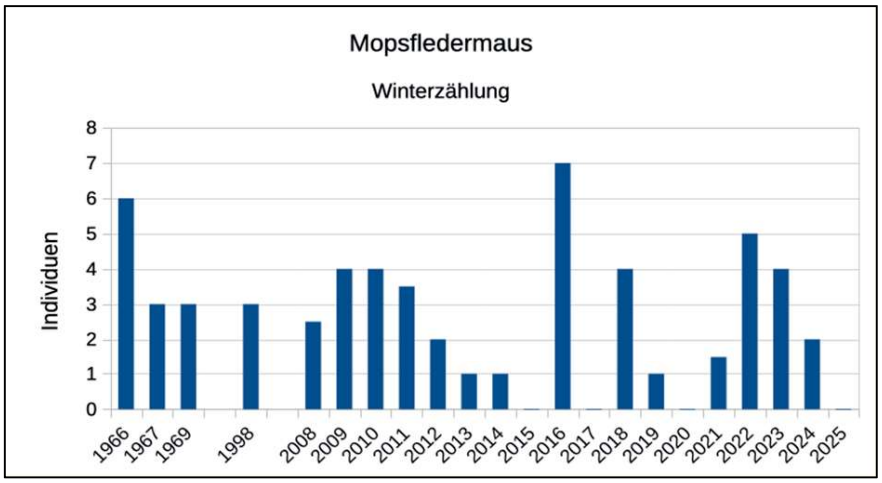
Mit einiger Vorsicht lässt sich für die Kleine Hufeisennase eine durchaus positive Entwicklung einhergehend mit der gegenwärtigen Temperaturerhöhung im Zuge des Klimawandels feststellen.



Bei den **Mausohren** zeigt sich ein ganz anderes Bild (Abb. 6). In den ersten Aufzeichnungsjahren (1966 bis 1969) wurden Höchstwerte zwischen 9 und 11 Individuen erreicht.

Abb. 6: Jährliche Zählungen vom Mausohr (Myotis myotis) im Winter. Erste Zählungen in den Jahren 1966-69, danach regelmäßig seit 2008. Bei mehrmaligen Zählungen innerhalb einer Saison ist der Mittelwert dargestellt.

Danach überstieg die Anzahl nie mehr als 4 Individuen, in einigen Jahren (2017, 2018, 2019) wurden gar keine Mausohren beobachtet, so auch in den letzten zwei Jahren (Abb. 6). Von außerhalb der Wintersaison liegen vergleichsweise wenige und vor allem kaum vollständige Beobachtungen vor. Sie dienen daher lediglich als zusätzliche Information. So wurden beispielsweise im März 1993 noch 12 Individuen, sechs Jahre später im gleichen Monat nur mehr 4 Individuen beobachtet.



Auch bei der **Mopsfledermaus** ist eine Schwankung zwischen den Jahren ersichtlich (Abb. 7). Während bei der ersten Zählung und jenen ab 2008 anfangs annähernd gleiche Zahlen beobachtet wurden (3-4 Individuen), gab es zwischen 2011 und 2015 einen deutlichen Einbruch.

Abb. 7: Jährliche Zählungen der Mopsfledermaus (Barbastella barbastellus) im Winter. Erste Zählungen in den Jahren 1966-69, danach regelmäßig seit 2008. Bei mehrmaligen Zählungen innerhalb einer Saison ist der Mittelwert dargestellt.

Dieser wurde 2016 mit einer Höchstanzahl von 7 Individuen durchbrochen. Danach schwanken die Zahlen von Jahr zu Jahr sehr stark zwischen 0 und 5 Individuen. Bei insgesamt sechs Winterzählungen gab es keine Sichtung. Diese Beobachtungen lassen sich mit einer Veränderung im Überwinterungsverhalten, bedingt durch wärmere Winter, erklären (De Bruyn et al. 2021). Die Tiere passen ihr Verhalten den abiotischen Faktoren an. Umso wichtiger ist es, dass sie nicht nur verschiedene Winterquartiere kennen, sondern dass diese auch erhalten bleiben. Ein oder zwei Jahre ohne Sichtungen von Tieren bedeutet keinesfalls, dass sie dieses Quartier nicht nutzen oder aufgegeben haben.

An mindestens vier Zählterminen (1969, 2011, 2012, 2021) wurde zusätzlich die **Wasserfledermaus** (Abb. 8) entdeckt. Möglicherweise gibt es diese regelmäßiger in der Höhle, sie konnte aber nicht immer auf Artniveau bestimmt werden und versteckt sich so hinter den „unbestimmten Individuen".



Abb. 8: Eine von Wassertropfen benetzte Wasserfledermaus. Foto: Katharina Bürger

Eine kleine Sensation stellt die in den Jahren 1998, 2009 und 2012 beobachtete **Bechsteinfledermaus** (Abb. 9) dar. Beobachtungen dieser Art sind sehr selten. Durch verschiedene Methoden und Untersuchungen wissen wir, dass sie sich gerne in Laubbwäldern und Streuobstwiesen gut versteckt in Baumhöhlen aufhält. Selbst im Winter wird sie nur sehr selten und vereinzelt in Höhlen vorgefunden.



Abb. 9: Die Bechsteinfledermaus ist mit ihren langen Ohren gut bestimmbar. Foto: Katharina Bürger



Abb. 10: Zwei Wimperfledermäuse (Myotis emarginatus) in der Nixhöhle. Foto: Albin Tauber

Im Jahr 2018 und seit 2020 werden regelmäßig mindestens zwei Individuen der **Wimperfledermaus** (Abb. 10) beobachtet. In den Jahren 2020, 2021 und 2022 wurde je ein Individuum der **Fransenfledermaus** (Abb. 4) entdeckt. Eine weitere seltene und bereichernde Entdeckung ist das **Braune Langohr** (Abb. 11) aus den Jahren 1998, 2010 und 2023.



Abb. 11: Das Braune Langohr (Plecotus auritus) klappt beim Schlafen die langen Ohren unter die Flügel. Sichtbar ist nur mehr der spitze, lange Tragus (Ohrdeckel). Foto: Katharina Bürger

3.4. Erhebungen abseits der Winterzählungen



In den Jahren 2011 und 2015 wurden zusätzliche Erhebungen im Eingangsbereich der Höhle durchgeführt. In je einer Nacht im August und September wurden Netze aufgestellt, um das Artenspektrum zur Schwärmzeit zu erfassen. Durch diese Methode konnte eine Art festgestellt werden, die im Winter bis dato noch nie beobachtet wurde: das **Graue Langohr** (*Plecotus austriacus,* Abb. 12). Auch die **Breitflügelfledermaus** (*Eptesicus serotinus,* Abb. 13) ist ein sehr seltener Gast in der Nixhöhle und wurde neben dem Netzfang erst einmal im Winter 2015 beobachtet.

Abb. 12: Das Graue Langohr (Plecotus austriacus) hängend in einem Sommerquartier. Foto: Katharina Bürger

Es wurden insgesamt 22 Individuen von sieben Arten beider Geschlechter gefangen. Eine Art stach besonders hervor, da sie in beiden Nächten mit der höchsten Individuenanzahl (11) auftrat: die Mopsfledermaus. Weitere Arten waren die Kleine Hufeisennase, die Wimperfledermaus, die Wasserfledermaus und das Braune Langohr.



Auch hier stellen die Erhebungen kein vollständiges Artenspektrum dar, da manche Arten, wie die Fransenfledermaus, erst viel später im Jahr (Oktober, November) an den Schwärmquartieren auftauchen, während andere Arten, wie die Bartfledermaus, ihre Hauptschwärmzeit bereits im August abgeschlossen haben.

Abb. 13: Breitflügelfledermäuse sind selten in Höhlen zu finden, sie bevorzugen Spaltenquartiere im Eingangsbereich oder in Felswänden. Foto: Katharina Bürger

4. Literatur

Bürger, K. (2010): Kopfüber durch den Winter – Ein Überblick zum „Internationalen Jahr der Fledermaus“. – Die Höhle (Wien), 62 (1-4): 98-106.

De Bruyn, L., Gyselings, R., Kirkpatrick, L., Rachwald, A., Apoznański, G. & Kokurewicz, T. (2020): Temperature driven hibernation site use in the Western barbastelle *Barbastella barbastellus* (Schreber, 1774). – Scientific Reports (2021), 11:1464. https://doi.org/10.1038/s41598-020-80720-4

Dietz, C., von Helversen, O. & Nill, D. (2007): Handbuch der Fledermäuse Europas und Nordwestafrikas. – Kosmos Naturführer.

Gebhard, J. (1997): Fledermäuse. – Birkhäuser Verlag, Basel, Schweiz. 381 Seiten.

von Helversen O., Heller, K.-G., Mayer, F., Nemeth, A., Volleth, M. & Gombkötö, R. (2001): Cryptic mammalian species: a new species of wiskered bat (*Myotis alcathoe* n. sp.) in Europe.- Naturwissenschaften, 88: 217 223.

Mayer A. & Wirth, J. (1967): Über Fledermausbeobachtungen in österreichischen Höhlen im Jahre 1966. – Die Höhle (Wien), 18: 69 –73.

Mayer A. & Wirth, J. (1968): Über Fledermausbeobachtungen in österreichischen Höhlen im Jahre 1967. – Die Höhle (Wien), 19: 87-91.

Mayer A. & Wirth, J. (1970): Über Fledermausbeobachtungen in österreichischen Höhlen im Jahre 1969. – Die Höhle (Wien), 21: 134-138.

Milchram, M., Dietz, C., Mayer, F., Gurke, M., Krainer, K., Mixanig, H., Wieser, D. & Reiter,G. (2023): Moving north: Morphometric traits facilitate monitoring of the expanding steppe whiskered bat *Myotis davidii* in Europe. – Hystrix It. J. Mamm., 34(1): 19-23.

Spitzenberger F. (2005): Rote Liste der in Österreich gefährdeten Säugetierarten (Mammalia). – In: Zulka K . P. (Hrsg.): Rote Listen gefährdeter Tiere Österreichs. – Grüne Reihe des Lebensministeriums Band 14/1: 45-62.

Spitzenberger, F., Pavlinić, I. & Podnar, M. (2008): On the occurrence of *Myotis alcathoe* Von Helversen and Heller, 2001 in Austria. – Hystrix It. J. Mamm., 19 (1): 3–12.

Thomas, D.W., Dorais, M. & Bergeron, J.M. (1990): Winter energy budgets and cost of arousals for hibernating little brown bats, *Myotis lucifugus*. – J. Mamm., 71: 475-479.

Wojciechowski M. S., Jefimow, M. & Tegowska, E. (2007): Environmental conditions, rather than season, determine torpor use and temperature selection in large mouse-eared bats (*Myotis myotis*). – Comp. Biochem. Physiol., Part A 147: 828-840.

Zukal, J., Berková, H. & Řehák, Z. (2005): Activity and shelter selection by *Myotis myotis* and *Rhinolophus hipposideros* hibernating in the Kateřinská cave (Czech Republic). – Mamm. Biol., 70 70(5): 271-281

Die wirbellosen Tiere der Nixhöhle bei Frankenfels

Erhard Christian

1. Einleitung

Mitte des 19. Jahrhunderts ordnete der Wiener Jurist und Insektenforscher Ignaz Rudolph Schiner die Höhlentiere nach ihrem Verhältnis zum unterirdischen Lebensraum: Zufallsgäste an einem Ende des Spektrums, obligatorische Höhlenbewohner am anderen. Sein System (Schiner, 1854) blieb das gebräuchlichste in der Biospeläologie, der Wissenschaft von den Höhlenorganismen. Heute verwendet man eher die Ausdrücke Subterranbiologie und Subterranorganismen, weil Höhlen, also mehr als menschengroße, natürlich entstandene Gesteinshohlräume, nicht die einzigen unterirdischen Habitate sind. Höhlentiere, wenn man bei diesem Wort bleiben will, können auch in engen, für den Menschen unzugänglichen Spalten vorkommen und ebenso in Bergwerksstollen, Katakomben und anderen künstlichen Räumen unter der Erde.

Schiners System wurde im Lauf der Zeit verfeinert und erweitert. Üblicherweise werden vier Kategorien von Höhlentieren unterschieden, die alle ein griechisches Wortelement für Höhle (troglo-) im Namen tragen. Die Einordnung ist nicht immer sicher, weil wir von der Lebensweise mancher Arten noch zu wenig wissen und weil es naturgemäß Zwischenformen gibt.

2. Kategorien von Höhlentieren

Höhlenfremdlinge, so die wörtliche Übersetzung des Fachbegriffs **Trogloxene**, sind rasch abgehandelt – sie haben keine regelhafte Beziehung zur Höhle. Sie gelangen „ohne Absicht“ in den unterirdischen Raum und können hier keine Population gründen. Trogloxene Tiere finden wir in den eingangsnahen Höhlenabschnitten in großer Zahl: Schnecken, Spinnen, Insekten und andere, die es zufällig hierher verschlagen hat. Bei manchen ist ein kurzfristiger Höhlenaufenthalt aber offenbar doch nicht ganz unabsichtlich. So haben einige Nachtfalterarten in den extremen Sommern der letzten Jahre entdeckt, dass Höhlen schon knapp hinter dem Eingang angenehm kühle Rastplätze bieten. Diese Fälle leiten über zur folgenden Gruppe.

Höhlengäste (**Subtroglophile**) suchen unteridische Räume gezielt auf und erscheinen hier regelmäßig, aber nur zu bestimmten Zeiten und in bestimmten individuellen Lebensabschnitten. Wer sich in der Nixhöhle mit zoologischem Interesse umschaut, wird am ehesten subtroglophile Tiere zu Gesicht bekommen. Im Sommer sitzt die Gemeine Höhlenstelzmücke (*Limonia nubeculosa)* oft in großer Zahl an der Höhlenwand. Sie ist mit einer Körperlänge von zehn, zwölf Millimetern und den langen Beinen durchaus ansehnlich und außerdem an den braun gemusterten, in Ruhe übereinander gefalteten Flügeln zu erkennen. Die Jugendstadien vom Ei bis zur Puppe leben unter freiem Himmel in verrottendem Holz, im Laubteppich und in den obersten Bodenschichten, meist in Gewässernähe. Nur die Erwachsenen (die Imagines) übersommern in Höhlen und anderen unterirdischen Hohlräumen.



Abb. 1: Die Gemeine Höhlenstelzmücke sieht wie eine übergroße Stechmücke aus, ist aber kein Blutsauger.

Im kalten Halbjahr ist das Spektrum der Subtroglophilen viel artenreicher. Der Grund für einen Höhlenaufenthalt während des Winters liegt auf der Hand: Die Tiere profitieren vom ausgeglicheneren Klima unter der Erde. Zwar liegen die Überwinterungsorte oft nicht weit hinter dem Höhleneingang und somit in einer Zone, wo Temperaturen unter Null auftreten können, aber vor scharfem Frost sind die Höhlengäste sicher. Die ersten Schmetterlinge – Wegdornspanner (*Triphosa dubitata*) und Zackeneulen (*Scoliopteryx libatrix*) – beziehen das Winterquartier schon im Spätsommer. Bei reduziertem Stoffwechsel reichen ihre Reserven bis zur Rückkehr in die Außenwelt im Frühling. Sie paaren sich noch in der Höhle oder gleich nach dem Ende der Winterruhe. Die Weibchen legen Eier auf den Futterpflanzen der Raupen ab – Wegdornspanner auf Kreuzdorn und anderen Gehölzen, Zackeneulen auf Weiden und Pappeln. Die Raupen häuten sich mehrmals und aus den Puppen schlüpfen schließlich die Falter der nächsten Generation.

Insekten, die in Höhlen überwintern, sind durch ihre Jugendstadien an die Welt über Tage gebunden: Die Larven der Schmetterlinge fressen Pflanzen, die nur im Licht gedeihen. Die Vierpunkt-Höhlenschlupfwespe (*Diphyus quadripunctorius*) entwickelt sich als tödlicher Parasit in einer Schmetterlingsraupe. Und die Mistbiene (*Eristalis tenax*) – sie sieht einer Biene ähnlich, ist aber eine Schwebfliege – bekam den unappetitlichen Namen, weil sie als Larve von faulenden Stoffen in sauerstoffarmem Wasser lebt, sogar in Jauche.



Die Schmetterlinge sind leicht zu entdecken, sie sitzen einzeln oder in kleinen losen Gruppen an der Höhlenwand. Vierpunkt-Höhlenschlupfwespe und Mistbiene überwintern indessen gesellig.

Sie kriechen in kleine Löcher und enge Spalten, wo sich manchmal ein Dutzend oder auch mehr Artgenossinnen drängen (tatsächlich sind es Weibchen; selten wurden Mistbienen-Männchen in Höhlen gefunden).

Abb. 2: In Höhlen überwinternde Insekten (v.l.n.r.): Wegdornspanner und Zackeneule; Vierpunkt-Höhlenschlupfwespe und Mistbiene, darunter Überwinterungsgesellschaften.



Auch einige Spinnentiere verbringen den Winter im klimatisch ausgeglichenen Höhlenraum. In der Nixhöhle und in vielen anderen Höhlen zwischen den Westalpen und dem Balkan ist das Höhlenlangbein (*Amilenus aurantiacus*) ein vertrauter Anblick. Dieser Weberknecht trägt auf der hinteren Körperhälfte charakteristische Zeichen, die wie schwarze Buchstaben aussehen. Manche lesen sie als „SZ“, andere als die Zahl 52. Höhlenlangbeine sind in einem späten Jugendstadium, wenn sie das Winterquartier beziehen. Oft zu Tausenden sitzen sie dicht gedrängt an der Höhlenwand, die dann wie mit einem Schleier von Weberknechtbeinen überzogen erscheint. In der Höhle häuten sie sich, ehe sie im Frühling – meist bereits als geschlechtsreife Tiere – zurückwandern und den Rest ihres Lebens im Freien verbringen.

Abb. 3: Das Höhlenlangbein ist der häufigste Weberknecht in mitteleuropäischen Höhlen.

In den Lebenszyklus von Kollars Höhlenheuschrecke (*Troglophilus cavicola*) sind Höhlenaufenthalte auf komplexere Weise eingebunden. Im Norden Sloweniens reifen die Tiere über sieben oder acht Larvenstadien heran und wechseln zweimal aus einer überwiegend oberirdischen Sommerphase in eine unterirdische Winterphase (Novak & Kustor, 1983): Sie schlüpfen im Freien, wandern im Herbst in die Höhle, verlassen diese im Frühjahr, gehen im Herbst neuerlich unter Tag, werden dort geschlechtsreif, pflanzen sich im Frühling fort und bleiben dann bis zum Tod in der oberirdischen Phase. Dieses Grundmuster gilt wohl auch für die niederösterreichischen Höhlenheuschecken. Es hat zur Folge, dass im Sommer bis zu drei Generationen die Höhle bevölkern: Erwachsene nach der zweiten Überwinterung, ältere Larven nach der ersten Überwinterung und junge Larven, die noch nicht überwintert haben.



Abb. 4: Kollars Höhlenheuschecke, ein Weibchen mit schwertförmigem Ei-Legeapparat.

Höhlenheuschrecken sind auch als Erwachsene völlig flügellos und können nicht zirpen. In Österreich leben zwei Arten, die nicht leicht zu unterscheiden sind. Krauss‘ Höhlenheuschrecke (*Troglophilus neglectus*) wurde aber in Niederösterreich noch nicht nachgewiesen.

Die Subtroglophilen suchen Höhlen aus verschiedenen Motiven auf. Sie sind stets Gäste auf absehbare Zeit und können nicht ununterbrochen im Untergrund existieren. In bestimmten Lebensphasen und für gewisse Zwecke, etwa für Fortpflanzung oder Nahrungssuche, müssen sie den unteridischen Schutzraum verlassen. Demnach sind auch Fledermäuse wie das Mausohr (*Myotis myotis*) oder die Kleine Hufeisennase (*Rhinolophus hipposideros*) subtroglophil.

Höhlenfreunde (**Eutroglophile**, meist kurz als **Troglophile** bezeichnet) können hingegen ihr gesamtes Leben in unterirdischen Räumen zubringen und dort dauerhafte Populationen bilden. Sie sind nicht auf Ausflüge in die Außenwelt angewiesen, aber nicht strikt an den subterranen Lebensraum gebunden. Von troglophilen Arten existieren auch oberirdische Populationen: Sie kommen in beiden Reichen zurecht. Der Grad der „Höhlenfreundschaft“ variiert von Art zu Art. Manche findet man in Höhlen häufiger als außerhalb, und einige treten in einer bestimmten Region ausschließlich in Höhlen auf. Die Troglophilie kann sich auch mit der Seehöhe ändern. Einige Arten, die im Hochgebirge unter tief eingebetteten Steinen leben, kommen in tieferen Lagen fast nur in Höhlen vor. Unter den Tieren der Nixhöhle ist es die pigmentlose, blinde Höhlenassel (*Mesoniscus alpicola*), die dieses Verbreitungsbild zeigt. Die Höhlenassel frisst schlechthin alles. Sie nascht sogar an der roten Kreide, mit der man früher Vermessungspunkte markiert hat. Diese Wendigkeit in der Ernährung ist keine schlechte Voraussetzung für das Leben in einer kargen Umwelt.

Mit einer speziellen Fähigkeit ist die Große Glanzschnecke (*Oxychilus draparnaudi*) ausgestattet, die ihr das Fortkommen in Höhlen, Kellern und Bergwerksstollen erleichtert. Sie kann Chitin verdauen und nagt gern an toten (und angeblich auch an lebenden) Höhleninsekten. Die Trauermücke *Bradysia forficulata* und die Buckelfliege *Triphleba aptina* entwickeln sich in der Höhle am Kot und an Kadavern von Fledermäusen. Tiere mit solcher Nahrungspräferenz werden oft als guanophil bezeichnet. Manche kommen nicht nur in Höhlen, sondern auch in den Bauen von wühlenden Kleinsäugern vor.



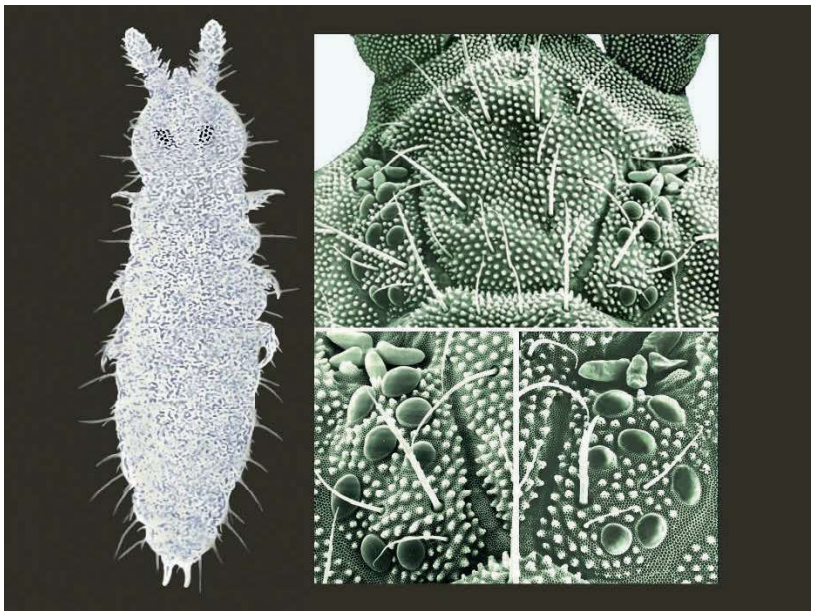
Abb. 5: Die Höhlenassel (linkes Bild) ist schneeweiß, man sieht aber den Darminhalt durchschimmern. Sie ist ein Allesfresser, während die Große Glanzschnecke auch in der Höhle tierische Kost vorzieht.

Die imposanteste Erscheinung unter den Troglophilen ist die Große Höhlenspinne (*Meta menardi*). Sie frisst Mücken, Käfer, Asseln, Tausendfüßer, kurz alles, was ihr in passender Größe vor die Kieferklauen kommt. Mit dem Bau eines kunstvollen Netzes gibt sie sich nicht ab. Dafür verwendet das Weibchen

umso mehr Mühe auf den Bau eines gut zwei Zentimeter großen Kokons aus schneeweißen Seidenfäden, der ihre bis zu 200 Eier birgt. Bis zum Schlüpfen der Jungen bewacht die Mutter das Gelege. Eine nah verwandte Art, die Kleine Höhlenspinne (*Metellina merianae*), ist weniger auffällig. Wegen der charakteristischen dunklen Zeichnung auf dem Vorderkörper, die an einen Pokal mit hochgezogenen Henkeln erinnert, ist sie aber leicht zu identifizieren.



Abb. 6: Ein Weibchen der Großen Höhlenspinne (linkes Bild) bewacht den Kokon; man sieht die gelben Eier durchschimmern. Rechts eine Kleine Höhlenspinne mit dem typischen Pigmentmuster.



Blindheit, Pigmentlosigkeit und die Verlängerung von Fühlern und Beinen gelten als Merkmale vieler „echter“ Höhlentiere. Ansätze zur Entwicklung solcher Merkmale findet man aber schon bei manchen troglophilen Arten. Der Springschwanz *Ceratophysella cavicola* hat gewöhnlich acht Augen auf jeder Kopfseite. In Höhlenpopulationen findet man jedoch Individuen mit reduzierter Augenzahl, wobei der Prozentsatz der betroffenen Tiere von Höhle zu Höhle variiert.

Abb. 7: Ceratophysella cavicola, erwachsenes Tier von 1,3 mm Körperlänge. Die Rasterelektronenmikroskop-Fotos (rechts) zeigen die vordere Kopfhälfte mit den beiden Augenfeldern (8+8 Augen) und darunter die Augenfelder eines anderen Individuums mit kompletter (8) und reduzierter (7) Augenzahl. Das vor den Augen liegende schleifenförmige Postantennalorgan ist ein Temperatur- und Feuchte-Sinnesorgan.

Am 5.4.1987 wurden in der Nixhöhle 27 Exemplare gefangen. Davon hatten 12 die maximale Zahl von 8+8 Augen, 15 hatten mindestens ein Auge weniger (8+7, 7+7, 8+6). Zum Vergleich: In der Dreidärrischenhöhle am Anninger (1914/4) wichen nur 3 von 108 Exemplaren von der Maximalausstattung ab, in der Falkensteinhöhle am Semmering (2861/3) hingegen 88 von 101 (E. Christian, unveröffentlicht). Überspitzt könnte man sagen, dass *Ceratophysella cavicola* in ostösterreichischen Höhlen auf dem Weg zum „echten" Höhlentier verschieden weit vorangekommen ist.

„Echte" Höhlentiere (**Troglobien**, häufiger **Troglobionte**) leben dauernd und ausschließlich in lichtlosen Gesteinshohlräumen. Populationen über Tage sind unbekannt. Sie haben sich nach und nach an die Bedingungen der Unterwelt angepasst, sinnlos gewordene Strukturen eingespart und nutzbringende Eigenschaften verstärkt. Das betrifft nicht nur augenfällige körperliche Merkmale wie die Rückbildung von Lichtsinnesorganen und Pigment und die Verlängerung von Körperteilen, die mit dem Tast- und Geruchssinn zu tun haben. Auch die physiologischen Umstellungen sind beträchtlich. So etwa ersparen sich viele Höhlentiere unter der konstant hohen Luftfeuchtigkeit den Schutz vor Austrocknung. Der Stoffwechsel ist langsamer, daher werden „echte" Höhlentiere älter als ihre oberirdischen Verwandten. Sie pflanzen sich über einen längeren Zeitraum fort und produzieren weniger, aber größere Eier. Alle Aktivitäten – Nahrungsaufnahme, Paarung, Eiablage – sind von Tages- und Jahreszeiten kaum beeinflusst.

Nicht alle Troglobionten zeigen diese Merkmale in voller Ausprägung. Die Anpassungen an eine subterrane Umwelt sind aber so einschneidend, dass die Tiere in der Oberwelt nicht dauerhaft existieren können.

Die landbewohnenden Troglobionten der Nixhöhle sind klein, unscheinbar und ausnahmslos blind und bleich. Manche wurden bisher so selten gefunden, dass ihre Artzugehörigkeit noch nicht mit modernen Methoden überprüft werden konnte. Die unter dem Namen *Troglocheles strasseri* verbuchte räuberische Milbe wurde zu einem Zeitpunkt bestimmt, als in Österreich keine andere Art dieser Gattung bekannt war. Ob die Tiere aus der Nixhöhle mit der viel später aus dem Türkenloch bei Kleinzell (1866/17) beschriebenen *Troglocheles christiani* (Zacharda et al., 2011) identisch sind, wird man nur anhand von neuen Funden feststellen können.

Leicht zu erkennen ist der Doppelschwanz *Plusiocampa strouhali cavicola*: Der flügellose Sechsbeiner sieht aus, als würde er auch am Hinterende ein Paar Fühler tragen. Diese Schwanzanhänge haben Sinnesfunktion wie die eigentlichen Fühler, sind aber nicht so beweglich; sie können nur gehoben und gesenkt werden. Da im Osten Österreichs kein anderer troglobionter Doppelschwanz vorkommt, ist eine Verwechslung unwahrscheinlich. Fraglich ist aber nach wie vor, ob die Unterart *cavicola* berechtigt ist. Die Unterschiede zu *Plusiocampa strouhali strouhali* sind so geringfügig (wenn überhaupt stichhaltig), dass berechtigter Zweifel besteht (Sendra et al., 2020).



Abb. 8: Plusiocampa strouhali cavicola ist in der Nixhöhle ein recht selten gewordener Anblick. Foto: Rudolf Pavuza

Auch die Springschwänze oder Collembolen sind sechsbeinig und flügellos, aber mit einer maximalen Körperlänge von wenig mehr als zwei Millimetern noch kleiner als der Doppelschwanz (oberirdische Arten erreichen sieben, im Extrem neun Millimeter). Während Doppelschwänze sehr einheitlich gebaut sind, zeigen die Collembolen eine erstaunliche Formenvielfalt. In weiten Teilen Europas übertreffen sie die anderen landlebenden Tiergruppen in der Zahl der Troglobionten. Von den neun bisher in der Nixhöhle nachgewiesenen Springschwanzarten können drei als „echte“ Höhlentiere angesehen werden. *Deuteraphorura trisilvaria* und *Onychiuroides vornatscheri* sind „Springschwänze ohne Springschwanz“ – ihnen fehlt die Sprunggabel, das namensgebende Organ. Sie wurden nie außerhalb von Höhlen gefunden, sind aber in ihrer Gestalt den bodenbewohnenden Verwandten sehr ähnlich; ihre Vorfahren waren schon weiß und augenlos, als sie in den Untergrund gingen. *Pseudosinella vornatscheri* hingegen zeigt die typischen „Höhlentiermerkmale” in reinster Ausprägung. Auffällig sind die langen Fühler und Beine, und die Sprunggabel reicht fast bis zum Kopf, wenn sie in Ruhestellung unter dem Bauch eingeklappt ist. Die troglobionten Springschwänze der Nixhöhle sind aus mehreren Höhlen Niederösterreichs und der Steiermark bekannt: fast ausnahmslos aus Gegenden, die auch während der maximalen Gletscherausdehnung vor über 20.000 Jahren außerhalb des eisbedeckten Gebietes lagen.

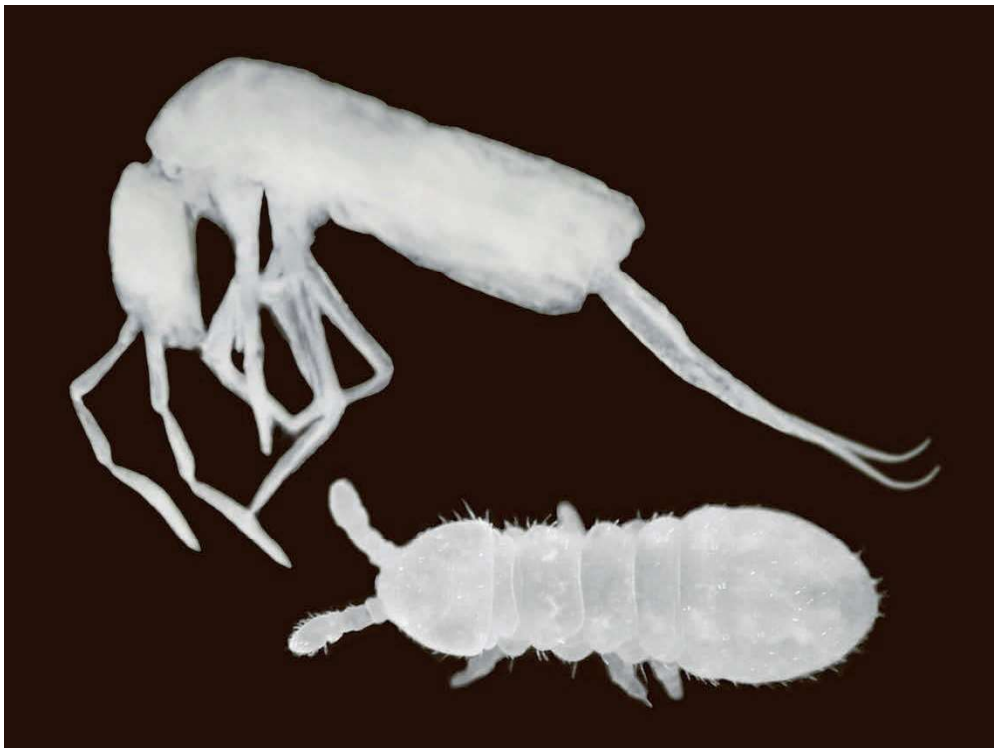


Abb. 9: Springschwänze können sehr unterschiedlich gebaut sein. Pseudosinella vornatscheri (oben ein konserviertes Exemplar im Profil) hat die lange Sprunggabel ausgeklappt, der plumpe Onychiuroides vornatscheri (Rückenansicht) besitzt keine Sprunggabel.

Pseudosinella vornatscheri ist für die Nixhöhle ein besonderes Schmuckstück. Die Art wurde von dem führenden Schweizer Collembolen-Spezialisten Hermann Gisin (1964) beschrieben, der ein Individuum aus der Frankenfelser Nixhöhle zum *Holotypus* und damit zum Maßstab für diese Art machte. Gleichzeitig wurde die Nixhöhle zum *locus typicus*, zur klassischen Fundstelle von *Pseudosinella vornatscheri*. (Der *locus typicus* von *Onychiuroides vornatscheri* ist übrigens die von der Nixhöhle nicht weit entfernte Ötscher-Tropfsteinhöhle.)

In der Nixhöhle leben zwei Arten, die zu Ehren von Josef Vornatscher (1898–1984) benannt wurden. Vornatscher hat eine ganze Reihe von Höhlentieren entdeckt und zur wissenschaftlichen Beschreibung an die jeweiligen Spezialisten weitergeleitet. Er gab ab den 1930er-Jahren in der österreichischen

Biospeläologie den Ton an und amtierte späterhin ein Vierteljahrhundert lang als Präsident des Verbandes Österreichischer Höhlenforscher.

Die obligatorischen Bewohner unterirdischer Gewässer werden entweder als troglobiont oder als stygobiont beizeichnet, wobei sich stygo- von Styx, dem Fluss der Unterwelt herleitet (entsprechend gibt es auch stygophile und stygoxene Organismen). Aus dem Wasser der Nixhöhle ist eine einzige Art bekannt: der Salzburger Höhlenflohkrebs (*Niphargus salzburgensis*). Die Tiere sind fast transparent, aber für Troblobionten mit einer Länge bis über ein Zentimeter ziemlich groß und damit gut sichtbar, wenn sie sich in Seitenlage über den schlammigen Boden von Tropfwasserbecken schieben. Der Salzburger Höhlenflohkrebs erwies sich als die häufigste unterirdische Flohkrebsart in den Karstgebieten der Nördlichen Kalkalpen zwischen der Salzach und dem Alpenostrand (Stoch et al., 2020). Dort ist er auch in Quellen zu finden.

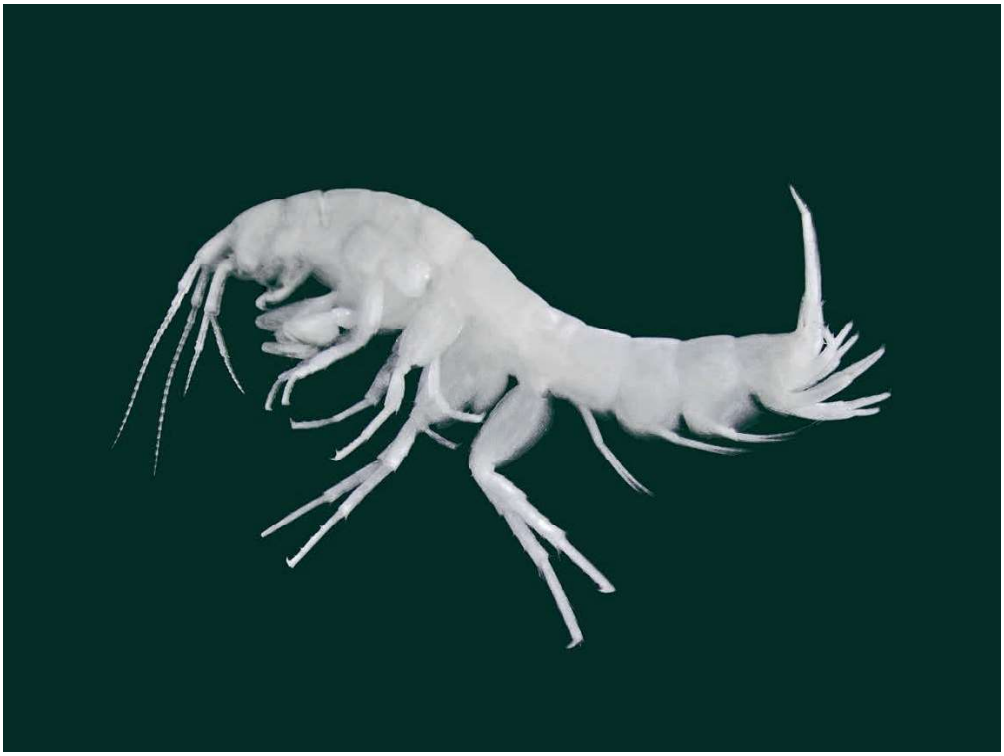


Abb. 10: Der Salzburger Höhlenflohkrebs lebt in stehenden und langsam fließenden Höhlengewässern und kann mit Quellwasser ins Freie gelangen. Dieses Exemplar stammt aus einer kleinen Karstquelle in Puchenstuben.

3. Arteninventar der Nixhöhle

Die Höhlenheuschrecke wurde als erste rezente Tierart aus der Nixhöhle gemeldet (Müllner, 1926). Der Höhlentier-Katalog von Strouhal & Vornatscher (1975) verzeichnet für diese Höhle 13 Arten von Wirbellosen. Ihre Namen sind in vielen Fällen durch den Fortschritt der Taxonomie veraltet; sie wurden für die folgende Liste aktualisiert (die obsoleten Namen aus dem Katalog sind mit dem Vermerk S-V nachgestellt). Ein Sternchen * kennzeichnet unveröffentlichte Nachweise. Sie stammen von Protokollen über die Tierwelt der Höhlenwände (O. Moog & E. Christian), von Fallenfängen (E. Christian, 1987) und von händischen Aufsammlungen in den 1980er-Jahren (H. Hartmann).

Die Zahl der nachgewiesenen Arten hat sich in den letzten 50 Jahren mehr als verdoppelt, aber von einer kompletten Erfassung der Nixhöhlenfauna kann nicht die Rede sein. Die Inspektion der Höhlenwände in der kalten Jahreszeit würde die Liste um Spinnen, Pilzmücken, Stechmücken und Scheufliegen erweitern, mit Becherfallen könnte man weitere troglophile und vielleicht auch troglobionte Gliederfüßer nachweisen, und Proben aus den Tropfwasserbecken würden zeigen, dass neben dem Salzburger Höhlenflohkrebs auch andere aquatische Tiere in der Nixhöhle vorkommen. Als

Zwischenbilanz kann sich die Liste allerdings sehen lassen. Wer die Fauna der Nixhöhle in einen größeren Rahmen stellen will, findet bei Christian & Spötl (2010) einen kurzgefassten Überblick über die österreichische Höhlenfauna.

In der folgenden Aufzählung werden folgende Abkürzungen den einzelnen Arten nachgestellt:

stp= subtroglophil tph=troglophil tbt= troglobiont.

Schnecken – Gastropoda
Oxychilus draparnaudi (Beck, 1837)* – Große Glanzschnecke tph

Milben – Acari
Parasitus loricatus (Wankel, 1861), S-V: *Eugamasus loricatus* tph
Veigaia propinqua Willmann, 1936, S-V: *Cyrtolaelaps propinquus* tph
Troglocheles strasseri (Willmann, 1932), S-V: *Rhagidia strasseri* tbt

Weberknechte – Opiliones
Amilenus aurantiacus (Simon, 1881), S-V: *Nelima aurantiaca* – Höhlenlangbein stp

Webspinnen – Araneae
Meta menardi (Latreille, 1804)* – Große Höhlenspinne tph
Metellina merianae (Scopoli, 1763)* – Kleine Höhlenspinne tph

Doppelfüßer (Tausendfüßer im engeren Sinn) – Diplopoda
Polyphematia moniliformis (Latzel, 1884) tph

Asseln – Isopoda
Mesoniscus alpicola (Heller, 1858) tph

Flohkrebse – Amphipoda
Niphargus salzburgensis Schellenberg, 1935, S-V: *Niphargus tatrensis* – Salzburger Höhlenflohkrebs tbt

Doppelschwänze – Diplura
Plusiocampa strouhali cavicola Vornatscher, 1943 tbt

Springschwänze – Collembola
Hymenaphorura polonica Pomorski, 1990* tph
Deuteraphorura trisilvaria (Gisin, 1962), S-V: *Onychiurus fimetarius* tbt
Onychiuroides vornatscheri (Stach, 1946)* tbt
Ceratophysella cavicola (Börner, 1901)* tph
Pseudosinella duodecimpunctata Denis, 1931* tph
Pseudosinella vornatscheri Gisin, 1964 tbt
Oncopodura crassicornis Shoebotham, 1911* tph
Pygmarrhopalites pygmaeus (Wankel, 1860)* tph
Megalothorax incertus Börner, 1903* tph

Heuschrecken – Orthoptera
Troglophilus cavicola (Kollar, 1833) – Kollars Höhlenheuschrecke stp

Hautflügler – Hymenoptera
Diphyus quadripunctorius (Müller, 1776)* – Vierpunkt-Höhlenschlupfwespe stp

Zweiflügler (Fliegen und Mücken) – Diptera
Limonia nubeculosa Meigen, 1804* – Gemeine Höhlenstelzmücke stp
Bradysia forficulata (Bezzi, 1914), S-V: *Neosciara forficulata* tph
Camptochaeta ofenkaulis (Lengersdorf, 1925), S-V: *Neosciara ofencaulis* tph – tbt
Triphleba aptina (Schiner, 1853) tph
Eristalis tenax (Linnaeus, 1758)* – Mistbiene stp

Schmetterlinge – Lepidoptera
Triphosa dubitata (Linnaeus, 1758)* – Wegdornspanner, Olivbrauner Höhlenspanner str
Scoliopteryx libatrix (Linnaeus, 1758)* – Zackeneule, Zimteule, Krebssuppe stp

Mit Vorbehalt kann diese Liste um fünf Schneckenarten erweitert werden. In einer von R. Pavuza aufgesammelten Probe aus der Vorhalle fand C. Frank (2023) korrodierte Schalen und Schalenfragmente von *Carychium tridentatum* (Risso, 1826), *Orcula dolium* (Draparnaud, 1801), *Chondrina* sp., *Neostyriaca corynodes* (Held, 1836), *Aegopis verticillus* (A. Férussac, 1819) und *Semilimax semilimax* (J. Férussac, 1802). Es ist indessen nicht sicher, dass diese trogloxenen Schnecken aktiv in die Höhle gelangt sind.

4. Literatur

Christian, E., & Spötl, C. (2010): Karst geology and cave fauna of Austria: a concise review. – Int. J. Speleol., 39(2): 71-90.

Frank, C. (2023): Mollusken-Taphocoenosen aus Höhlen und Stollen in Österreich. – Mitt. Zool. Ges. Braunau, 14 (1): 69-76.

Gisin, H. (1964): Collemboles d'Europe VII. – Revue suisse de Zoologie, 71(4): 649-678.

Müllner, M. (1926): Die Nixhöhle und Gredlhöhle bei Frankenfels an der Mariazellerbahn. – Natur- und höhlenkundliche Führer durch Österreich, Bd. 9. – Wien (Verlag der NÖ Landessammlungen).

Novak, T. & Kustor, V. (1983): On *Troglophilus* (Rhaphidophoridae, Saltatoria) from North Slovenia (YU), preliminary note. – Mém. Biospéol., 10: 127-137.

Schiner, J. R. (1854): Fauna der Adelsberger-, Lueger- und Magdalenen-Grotte. In: Schmidl, A.: Zur Höhlenkunde des Karstes. Die Grotten von Adelsberg, Lueg, Planina und Laas. – Wien (Braumüller): 233–272.

Sendra, A., Antić, D., Barranco, P., Borko, S., Christian, E., … Reboleira, A.S.P.S. (2020): Flourishing in subterranean ecosystems: Euro-Mediterranean Plusiocampinae and tachycampoids (Diplura, Campodeidae). – Eur. J. Taxon., 591:1-138.

Stoch, F., Christian, E. & Flot, J.-F. (2020): Molecular taxonomy, phylogeny and biogeography of the *Niphargus tatrensis* species complex (Amphipoda, Niphargidae) in Austria. – Org. Divers. Evol., 20: 701-722.

Strouhal, H. & Vornatscher, J. (1975): Katalog der rezenten Höhlentiere Österreichs. – Ann. Naturhist. Mus. Wien, 79: 401-542.

Zacharda, M., Isaia, M. & Piva, E. (2011): New troglobitic species of the genus *Troglocheles* (Acari: Prostigmata: Rhagidiidae) from caves in northern Italy and Austria, with a key to adult species of the genus. – J. Nat. Hist., 45: 641-666.

Lampenflora und Mikrobiota in der Nixhöhle

Petra Cech

1. Lampenflora

In der Nixhöhle gibt es mehr als hundert Beleuchtungskörper, von denen während einer Führung sektorenweise jeweils die für den gerade begangenen Abschnitt relevanten Lampen ein- und nach Verlassen des Abschnitts wieder abgeschaltet werden. Das bedeutet, dass während der Besuchersaison für bestimmte Zeit Licht in der Höhle leuchtet. Diese vergleichsweise kurzen Beleuchtungszeiten reichen bereits aus, um Algen, Moosen, selten auch Farnen und in Ausnahmsfällen sogar Blütenpflanzen ein Gedeihen zu ermöglichen. Dabei handelt es sich nicht um spezielle „Höhlenarten"; vielmehr werden Algen und Sporen von Moosen und Farnen unbeabsichtigt und zufällig aus dem Außenbereich bzw. der Umgebung der Höhle einerseits durch Sickerwasser, andererseits durch die Besucher, an deren Kleidung Sporen und Pflanzenteile haften, in Höhlen eingebracht. Wo sich eine Lampe und somit temporäres Licht befindet, können sie keimen, Photosynthese betreiben und wachsen. Dieser Bewuchs in Schauhöhlen, der durch oft leuchtendes Grün auch Besuchern sofort auffällt, wird als "Lampenflora" bezeichnet. Dieser Begriff wurde vom deutschen Biologen und Höhlenforscher Klaus Dobat (1963: 41) geprägt und hat bis heute Bestand.

Was Genügsamkeit und Lichtnutzung betrifft, sind niedere, blütenlose Pflanzen, auch „Kryptogamen" genannt, wahre Künstler: Sie benötigen nur wenige Lux, um Energie zu gewinnen, und können lange Dunkelphasen, also auch die mehrmonatige Winterpause, in der die Nixöhle nicht beleuchtet wird, überdauern. Dem Nachteil des geringen Lichtangebots stehen nämlich durchaus Vorteile des Standorts „Höhle" gegenüber: Gleichmäßige, kühle, nie extreme Temperatur und gleichmäßige hohe Luftfeuchtigkeit: ideale Bedingungen für das Wachstum von Algen und Moosen. Um Fruchtkörper auszubilden, reicht die Energieausbeute des schwachen künstlichen Lichts allerdings meist nicht aus. Auch kann das begrenzte Lichtangebot bei den Pflanzen typische Veränderungen in Wuchs und Gestalt bewirken: blasse Farbe, verlängerter Wuchs um lichtintensivere Abschnitte zu erreichen, weniger dicht gestellte und zartere Blättchen. Solche „Kümmerformen" treten bei Lampenflora häufig auf und sind oft nur schwer zu bestimmen.

Blütenpflanzen benötigen für ihr Gedeihen mehr Licht als Kryptogamen und sind daher kaum in Lampenflora zu finden. Eine Ausnahme gab es mehrere Jahre lang in der Lurgrotte/Peggau (Kat.Nr. 2836/1): Hier entdeckte der Höhlenführer P. Schinnerl 1990 nahe einer Lampe in der „Halle der Eingeschlossenen" eine Blütenpflanze, die als Wechselblättriges Milzkraut (*Chrysosplenium alternifolium*) bestimmbar war und von Uwe Passauer (NHM Wien) mehrere Jahre lang immer wieder angetroffen wurde. Ende 1995, als die betreffende Lampe drei Monate lang defekt und daher außer Betrieb war, starb das Milzkraut, es überlebte die Dunkelphase nicht – zum Unterschied von den übrigen Bestandteilen der Lampenflora, nämlich Algen und Moosen (Passauer 1996: 54).

Die Lampenflora der Nixhöhle wurde seit Umstellung der Beleuchtungskörper auf LED-Lampen zwar gelegentlich beprobt, aber nie systematisch untersucht. Einen früheren Hinweis gibt der Bericht der Bezirkshauptmannschaft St. Pölten anlässlich einer Höhlenbegehung am 31.8.1992: Damals wurde – 30 Jahre nach Installation und vier Jahre nach Erneuerung der elektrischen Beleuchtung – an zwei Lampen (ohne Ortsangabe) eine "leichte Bewachsung [sic!] in Form von rd. 5 mm großen farnähnlichen Gebilden" festgestellt. Die Installation einer dem Tageslicht ähnlichen Blaulampe wurde damals aus Furcht vor verstärktem Pflanzenwuchs seitens der Behörde abgelehnt.

2017, also 25 Jahre später, ergab eine Beprobung des damals bereits sehr auffälligen Bewuchses an sechs verschiedenen Lampen im Bereich bis zur Trümmerhalle an allen Standorten als dominante

Pflanzenart Jungermanns Breitnetzmoos (*Platydictya jungermannioides* Brid.), die vom Bryologen Robert Krisai (Universität Salzburg) identifiziert wurde.

Da der Eintrag an Sporen oder Pflanzenteilen aus der Außenwelt eher zufällig und unbeabsichtigt erfolgt, ist auch die Verteilung der Arten in der Höhle erstens vermutlich zufällig, zweitens unterliegt sie auch Veränderungen im Laufe der Jahre. Derzeit sind von den etwa 100 Lampen in der Nixhöhle 10-15 Stück mit einem Hof aus Algen und Moosen versehen, wobei Algen auch noch in jenen von der Lampe entfernteren Bereichen wachsen, wo Moose nicht mehr gedeihen. Lampenflora tritt gegenwärtig bis zur Neubauerhalle auf, und zwar an unterschiedlichen LED-Lampen von 10-25 Watt Lichtstärke und 2000-4000 Kelvin Farbtemperatur (Warmweiß bis Neutralweiß). 2024 und 2025 konnten an den Standorten Lampe/Gittertüre, Wirbelgang und -halle, Trümmerhalle, Kanal und Neubauerhalle weitere Arten bestimmt werden. An allen Punkten findet sich Mauer-Schnabeldeckelmoos (*Rhynchostegium murale* Hedw.), in der Neubauerhalle zuzüglich auch das Kelch-Beckenmoos (*Apopellia endiviifolia* Dicks.). Im Abschnitt Kanal gibt es bei einigen Lampen nur Algenbewuchs, bei zwei Rundlampen jedoch auch Mauer-Schnabeldeckelmoos und Farnähnliches Starknervmoos (*Cratoneuron filicinum*). Eine dritte Art findet sich nur bei der eingangsnäheren der beiden Lampen, nämlich Spaltzahnmoos (*Fissidens adianthoides/dubius*). Letzteres war an einer Lampe in der Wirbelhalle auf erdüberdeckter Bergmilch besonders üppig. Die Tabelle zeigt die Arten und ihre Verteilung:

	Gittertüre	Wirbelhalle	Wirbelgang	Trümmerhalle	Kanal	Neubauerhalle
Mauer-Schnabeldeckelmoos *Rhynchostegium murale*	+	+	+	+	+	+
Kelch-Beckenmoos *Apopellia endiviifolia*			+			+
Farnähnliches Starknervmoos *Cratoneuron filicinum*		+		+	+	
Spaltzahnmoos *Fissidens adianthoides/dubius*	+	+	+		+	
Gewelltes Spiralzahnmoos *Tortella tortuosa*		+	+			
Jungermanns Breitnetz-Moos *Platydictya jungermannioides*				+		

Abb.1: Verteilung der 2025 gefundenen und bestimmbaren Moosarten in verschiedenen Höhlenbereichen

Ein weiteres Moos aus der Gattung der Kurzbüchsenmoose (*Brachythecium* sp.), das an Lampen bis in die Trümmerhalle zu finden ist, konnte nicht näher bestimmt werden.

Alle genannten Arten sind häufige Moose, die in der Umgebung der Höhle vorkommen. Die Artenliste erhebt jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit, zumal Lampenflora sich immer wieder auch ändern kann: Moose können neu hinzukommen, andere absterben, durch neu eingetragene und besser gedeihende Arten verdrängt oder durch Impaktereignisse wie z.B. die temporäre Überflutung der Höhle im Frühjahr 2025 zerstört werden. Eine punktuelle Dokumentation der Lampenflora ist daher immer nur eine Momentaufnahme innerhalb eines obzwar meist langsamen, doch fortschreitenden Prozesses.

Die Lampenflora mag das Auge der Besucher erfreuen, sie stellt jedoch auch eine potentielle Gefahr für den Höhlenschmuck dar: Algen, Moose und Farne können bei starker Beleuchtung zu wuchern beginnen. Wenn sie auf Sinter und Bergmilch wachsen, können sie diese durch Anlösen auch zerstören bzw. stark beeinträchtigen. Lediglich monochromatische Gelblampen von stark eingeschränkter

Wellenlänge können das Wachstum der Flora verhindern – diese Art von Licht ist aber für das menschliche Auge nicht angenehm, lässt Farben und Konturen verschwimmen und eignet sich daher nicht für die Beleuchtung von Schauhöhlen.

In der Nixhöhle hat die Lampenflora noch kein für die Höhle gefährliches Stadium erreicht – doch eine kleine Moosflora hat sich entwickelt und gedeiht in wechselnder Zusammensetzung.



Abb.2: Beispiel für die Lampenflora im Schauteil der Nixhöhle (Kurzbüchsenmoos). Foto R. Pavuza

2. Mikrobiota (Bakterien) in der Bergmilch

Die Bergmilchablagerungen in der Nixhöhle sind so auffällig, dass sie der ganzen Höhle ihren Namen gegeben haben. Sie unterscheiden sich von anderen calcitischen Ablagerungen unter anderem durch ihren sehr hohen Wassergehalt und der damit verbundenen weichen, eher amorphen Struktur. Unter dem Mikroskop zeigt sich in dieser an „Milch“ erinnernden Masse ein Geflecht aus Mikrokristallen aus Calcit.

Seit mehreren Jahrzehnten geht man davon aus, dass neben physikalischen Faktoren auch Mikroorganismen an der Entstehung von Bergmilch beteiligt sind, da sie darin sowohl mikroskopisch als auch molekularbiologisch in großer Zahl nachweisbar sind. Es handelt sich vor allem um heterotrophe Organismen, also solche, die auf organischen Kohlenstoff als Energiequelle angewiesen sind. Zugleich sind Höhlen jedoch – verglichen mit der Außenwelt – meist eher nährstoffarme Habitate, vor allem in den eingangsferneren Bereichen. Organischer Kohlenstoff dringt mit dem Sickerwasser aus der Oberfläche nur langsam in die unterirdischen Räume. Eine Bergmilchablagerung ist zwar durch hohen Wassergehalt und gleichbleibende, kühle Temperatur, zugleich aber einen gewissen Sauerstoffmangel und geringes Nährstoffangebot charakterisiert. Organismen, die hier leben, müssen an diese Bedingungen angepasst sein.

Die Bergmilch der Nixhöhle wurde 2012 auf Mikroorganismen untersucht. Dazu wurden Proben aus der Trümmerhalle sowie der Lawinenschlucht steril etwa 2 cm unterhalb der Oberfläche entnommen und auf Nährböden speziell für heterotrophe Mikroorganismen kultiviert. Lebensfähige Mikroorganismen der Proben gedeihen auf diesen Nährböden und bilden makroskopisch sichtbare

Kolonien. Identifiziert werden konnten nur wenige Organismen, so z.B. *Bacillus mycoides*, ein sporenbildendes Bakterium, das als fakultativ anaerober Organismus ohne Sauerstoff auskommen kann. Auffällig war auch die große Zahl von Actinomyceten, das sind stäbchenförmige Bakterien, die ebenfalls anaerob leben, sowie von pigmentierten Kolonien und proteolytischen (= proteinspaltenden) Bakterien. Sie produzieren das Enzym Gelatinase und lösen dadurch die Nährböden auf.

Es ergab sich also ein mikrobielles Spektrum, wie es auch in Böden außerhalb von Höhlen auftritt. Da die Nixhöhle für Besucher zugänglich ist, gelangen Bodenbakterien aber nicht nur durch Sickerwasser in das Habitat, sondern die Besucher bringen ebenfalls verschiedene Bakterien in die Höhle mit. Zudem stellt die Bergmilch mit ihrem hohen Wassergehalt ein durchgehendes zusammenhängendes Medium, bestehend aus Wasser, Mineralablagerungen und auch Höhlensediment dar, was die Besiedelung generell begünstigt. Klar ist, dass viele verschiedene heterotrophe Mikroorganismen in diesem Medium offenbar gut gedeihen können. Ihre Anwesenheit alleine sagt jedoch nichts darüber aus, ob sie an der Entstehung der Bergmilch direkt beteiligt sind oder ob sie lediglich als hochspezialisierte Gemeinschaft das Substrat als Lebensraum nutzen.

Auch aktuelle Studien in alpinen Höhlen (Reitschuler et al. 2012) erbrachten mittels molekularbiologischer Methoden ein breites heterotrophes Bakterienspektrum, doch Art und Ausmaß der Beteiligung der Mikroorganismen an der Entstehung der Bergmilch blieben auch bei dieser umfangreichen Untersuchung offen.

3. Literatur

Dobát, K. (1963): „Höhlenalgen“ bedrohen die Eiszeitmalereien von Lascaux. – Die Höhle (Wien), 14/2: 41-45.

Passauer, U. (1996): *Chrysosplenium alternifolium* L. in der Lurgrotte – erstmals eine Blütenpflanze in einer „Lampenflora“. – Ann. Naturhist. Mus. Wien 98B Suppl.: 51-56.

Reitschuler, C., Schwarzenauer, T., Lins, P., Wagner, A.O., Spötl, C., Illmer, P. (2012): Zur Mikrobiologie von Bergmilch. – Die Höhle (Wien), 63(1-4): 3-17.