

Höhlenbildung, -typen und -klima

von Sven Koch

aus: <http://people.freenet.de/dioptas/skknowl1.html>

Vorwort

Höhlen waren schon für die frühesten menschlichen Gemeinschaften von großer Bedeutung.

Sie dienten ihnen als Zufluchtsort, Behausung, Kult- und Grabstätten und bildeten somit oftmals den Daseinsmittelpunkt. Dieser Mittelpunkt im Dasein des Menschen ging aber mit zunehmender Zivilisierung und Technisierung verloren. Doch auch im Laufe dieser immer weiter fortschreitenden Entwicklung hat die Höhle ihre Anziehungskraft nicht verloren.

Höhlen lockten Abendteurer und Schatzsucher an und wurden mit allerlei zum Teil stark mystisch geprägten Sagen bedacht. Heute stellen sie eine Fundgrube für eine Vielzahl wissenschaftlicher Disziplinen dar.

Durch die ewige Dunkelheit, kaum wechselnde Temperaturen, andauernde Feuchtigkeit und das nahezu völlige Fehlen von Leben, sind sie regelrechte "Archive der Vergangenheit". Sie vermitteln damit Zeugnisse wirtschaftlicher, sozialer, kultureller und religiöser Verhältnisse vorgeschichtlicher Völker, die an der Oberfläche längst der Witterung, dem Tierfraß oder aber dem Einfluß des Menschen selbst zum Opfer gefallen wären.

Mit diesen Seiten möchte ich Ihre Aufmerksamkeit und Ihr Interesse auf die noch zu entdeckenden Wunder und bis heute ungelösten Rätsel lenken, die uns die Höhlenforschung und damit unsere gemeinsame Vergangenheit stellt und noch stellen wird. Sollte Ihr Interesse jedoch nicht so weit gediehen sein, so lassen Sie sich vielleicht einfach von den Naturgewalten faszinieren, deren Ausmaß in jeder Höhle ersichtlich wird.

Für alle an Höhlen jedoch wirklich interessierten Personen gilt, zum Schutz und zur Erhaltung dieser einmaligen Naturdenkmäler, das folgend genannte Motto, welches es in jeder Hinsicht einzuhalten gilt:

**Wenn du eine Höhle besuchst , nimm nichts mit,
laß nichts zurück, zerstöre nichts und
schlage nichts tot !**

**Beachte die Fledermausschutzzeit,
die in der Regel von November bis April dauert.**

Höhlen

Nicht jeder unterirdische Raum kann, wie sich vielleicht vermuten ließe, unter den Begriff Höhle gefaßt werden.

Bergwerke, Weinkeller oder unterirdische Tierbauten zum Beispiel zählen auf Grund ihres künstlichen Charakters nicht zu den Höhlen. Nur alle im Gestein auf natürlichem Weg entstandenen Hohlräume werden als Höhle bezeichnet.

Die so definierten *Höhlen* werden in zwei Typen unterschieden, die *primären* und die *sekundären Höhlen*.

Primärhöhlen

Als Beispiel für *Primärhöhlen*, die zusammen mit ihrem Umgebungsgestein entstehen, sind vor allem *Lavahöhlen* zu nennen.

Diese entstehen, wenn sich dünnflüssige und gasarme Lava über die Flanken eines Vulkans zu Tal wälzt. Während sich die äußeren Schichten eines solchen Lavastroms schnell abkühlen, fließt im Inneren der Zunge, der bis zu elfhundert Grad Celsius heiße Magmastrom gut isoliert weiter und verlängert immer wieder die Lavazunge.

Da sich der heiße Magmastrom auch in ältere Schichten hinunterschmelzen kann, entstehen manchmal weit verzweigte Röhrensysteme von ansehnlicher Größe. Wird gegen Ende des Ausbruchs Luft nachgezogen, entzündet sich das Gas über der glühenden Lava und schmilzt das Gestein noch einmal an. Dabei tropft rotflüssiges Gestein von der Decke und bildet Lavastalaktiten und -stalagmiten.

Da Erdbeben die Decken solcher Höhlen oft zum Einsturz bringen oder spätere Vulkanausbrüche diese Höhlensysteme unter sich begraben, sind die heute bekannten Lavahöhlen mit nur wenigen tausend Jahren sehr jung.

Ein weiteres Beispiel für den Primärhöhlentyp sind die *Tuffhöhlen*. Dort wo Wasser mit größeren Mengen an gelösten Stoffen in Quellen zu Tage treten, entweicht die gelöste Kohlensäure als Kohlendioxid in die Luft und die im Wasser gelösten festen Stoffe bilden im Laufe der Zeit mehr oder weniger mächtige Sedimente. Die häufigsten Quellabsätze bestehen aus kohlensaurem Kalk. Ist das austretende *Wasser warm*, bildet sich *Aragonit*, bei *kalttem Wasser* hingegen *Calcit*.

Diese *Süßwasserkalke* bezeichnet man im allgemeinen als *Kalksinter*, wobei die *lockeren, zelligporösen Absätze Kalktuffe*, die *festeren und dichteren Absätze, Travertin* genannt werden. Sie entstehen durch den Absatz von Kalziumkarbonat unter Mitwirkung von im Wasser lebenden Algen, Moosen und höheren Pflanzen.

Bei der Entstehung von solchen Tuffsedimenten werden oft Hohlräume ausgespart, die späteren Tuffhöhlen. Tuffhöhlen sind meist nicht sehr lang, beherbergen jedoch, durch ihre Entstehung bedingt, im Inneren einige schön umsinterter Pflanzenreste.

Sekundärhöhlen

Der *Sekundärhöhlentyp ist an eine, als "Karst" bezeichnete Landschaftsform gebunden*, die Ihren Namen von dem Karstgebirge auf der Halbinsel Istrien (Jugoslawien) erhielt. Nach den auf Istrien zu sehenden Verwitterungen werden alle ähnlichen Erscheinungen in allen Kalkgebirgen der Erde als Karsterscheinung und die Vorgänge der Entstehung und Entwicklung der ober- und unterirdischen Phänomene als Verkarstung bezeichnet.

Das *Gestein der typischen Karstlandschaft* zeichnet sich vor allem durch die bis zu einem gewissen Grad bestehende Wasserlöslichkeit mit nur geringer, aus den Zersetzungsprozessen entstehender Rückstandsmengenbildung aus. Diese Anforderungen werden nur von *Evaporiten (Gips, Anhydrit, Steinsalz)* und *Karbonatgesteinen (Kalk, Dolomit)* in vollem Umfang erfüllt. Die *Karbonate*, als Sedimentgesteine *zumeist maritimen Ursprungs*, bilden dabei den Hauptanteil des verkarstungsfähigen Gesteins.

Höhlenbildung

Bei den zur Höhlenbildung notwendigen Lösungsvorgängen spielt sowohl das kohlendioxidhaltige Regenwasser als auch die Entwässerung der hochalpinen Landschaft, eine dominierende Rolle.

Da das anfallende Niederschlagswasser meist schon am Orte seines Auftretens versickert, sind *Karstgebiete arm an Oberflächengewässern*.

Das *eindringende Wasser erweitert die im Gestein vorhandenen Klüfte und Spalten* und bildet Schächte und Canons (ein Vorgang der *Speläogenese* genannt wird), die an den wasserunlöslichen Gesteinsschichten in unterirdische Bach- und Flußbette übergehen.

Die Palette des eindringenden Karstwassers reicht innerhalb der Höhlen vom Tropfwasser über Rinnsale bis zu tosenden Höhlenflüssen mit einer Durchflußmenge von mehreren Kubikmetern pro Sekunde.

Diese unterirdischen Bäche und Flüsse münden dann als größere Quellen am Rand der Karstgebiete.

Aber auch unter der Vegetationsbedeckung kann Verkarstung eintreten. Sie ist dabei vor allem auf die ätzende Wirkung von Wurzeln bzw. auf die durch den Abbau biogener Substanz im Boden bedingte Kohlendioxidproduktion zurückzuführen.

In Bezug auf das Land Österreich sind Karsterscheinungen und Höhlen keineswegs gleichmäßig verteilt, sondern an ganz bestimmte Zonen gebunden. Eine besondere Häufung besteht im Bereich der Nördlichen Kalkalpen, der Südalpen und im Drauzug. Als eine der Ursachen für die ungleichmäßige Verteilung kann die im Laufe der Erdgeschichte nie regelmäßige Karbonatproduktion, angesehen werden.

Höhlenklima

Höhlensysteme besitzen im allgemeinen auch ein eigenes *Klima*. Dieses Klima wird durch die wetterwegsamen Eingänge und Spalten bestimmt, die die Verbindungen des Höhlensystems mit der Außenwelt bilden. Dabei zeichnet sich das Höhlenklima vor allem durch stark verminderte Temperaturschwankungen, hohe Luftfeuchtigkeit und einer Luftschichtung, die der in geschlossenen Räumen entspricht, aus.

Unter *meteorologischen* Gesichtspunkten *unterscheidet man* daher bei Höhlen zwischen *zwei Arten*: den *statisch bewetterten Höhlen* (wie z.B. der Schellenberger Eishöhle im Untersberg) und den *dynamisch bewetterten Höhlen* (wie z.B. der Eisriesenwelt im Tennengebirge).

Statisch bewetterte Höhlen

Die ersteren sind *Höhlen mit nur einem Eingang* und werden daher *auch als Sackhöhlen bezeichnet*. Je nach Lage des Eingangs werden die statisch bewetterten Höhlen wiederum in *zwei Grundtypen* unterteilt: *Höhlen, deren Höhlenräume unterhalb des Eingangs liegen* und *Höhlen, deren Räume oberhalb des Eingangs liegen*.

Höhlen, mit unter dem Eingang gelegenen Räumen weisen Innentemperaturen auf, die deutlich unter dem Jahresmittel ihrer Umgebung liegen. Eine *Luftbewegung* findet hier *hauptsächlich im Winter* statt, wobei deren Intensität mit fallender Außentemperatur zunimmt. Die spezifisch schwerere Kaltluft fällt dabei in die Höhle ein und kühlt das die Höhle umschließende Gestein ab. Die relativ wärmere Luft steigt hingegen zur Decke, wodurch ein deutlich spürbarer Luftzug entsteht. Bei Räumen, die etagenartig übereinander liegen, weisen dementsprechend die tiefsten Räume auch tiefere Temperaturen auf als höher gelegene.

Im Sommer hingegen, bei höheren Außentemperaturen, tritt eine Wetterstockung ein, wodurch die eingeschlossene Kaltluft fast ungestört bleibt und lediglich allmählich durch das sie umgebene Gestein erwärmt wird.

Tritt in der Höhle zusätzlich Eisbildung auf, so hemmt der zum Schmelzen notwendige Wärmeverbrauch zusätzlich den Temperaturanstieg. So kann sich in diesen sogenannten "*Eiskellern*", selbst in geringen Höhenlagen, das ganze Jahr über Eis halten.

Im Gegensatz zu dem eben beschriebenen Höhlentypus, wird bei Höhlen des sogenannten "*Backofen*"typus, dessen Räume höher als der Eingang liegen, Wärme gespeichert. Ist die Außentemperatur höher als die Innentemperatur, so tritt hier die spezifisch schwerere Kaltluft am Fuße des Eingangs aus, während Warmluft an der Decke in das Höhleninnere einströmt und damit die Höhle aufheizt.

Bei dieser Art Höhle findet der *stärkste Luftaustausch im Sommer* statt. Die kalte, schwere Winterluft kann in diese Höhlen kaum eindringen, wodurch ihre inneren Durchschnittstemperaturen über denen ihrer äußeren Umgebung liegen und sie damit ideale Überwinterungsstätten für Tiere und im Besonderen für Insekten bilden.

Bei beiden Arten von statisch bewetterten Höhlen sind die beschriebenen Luftströmungen jedoch im Ganzen relativ schwach, da der Lufteintritt und der Luftaustritt lediglich durch den einen Eingang erfolgen kann.

Dynamisch bewetterte Höhlen

Anders als die eben beschriebenen, besitzen *dynamisch bewetterte Höhlen mehrere, mindestens aber zwei Eingänge* und bilden oft die unteren Enden eines meist sehr großen Höhlensystems. Der Luftaustausch ist in diesen Höhlen wesentlich intensiver und im Großen gesehen einem jahreszeitlichen Richtungswechsel unterzogen.

In der "Winterphase", also immer wenn die äußere Temperatur tiefer ist als die im Höhleninneren, dringt die äußere Kaltluft durch die unteren Eingänge in die Höhle, während die spezifisch wärmere Luft an den höchstliegenden Höhlenöffnungen austritt.

In dieser Phase kann es durch Schmelzwassereintritt auch zur Eisbildung kommen.

Durch den aus diesen Vorgängen entstehenden Temperaturabfall innerhalb der Luftschichtung verstärkt sich die Intensität der Luftströmung nach Art eines Kamins, wodurch diese Art Höhlen auch als "Windröhren" bezeichnet werden.

Diese starke Luftströmung macht sich dann besonders an den Engstellen innerhalb der Höhle bemerkbar ebenso an den Luftaustrittsöffnungen an der Erdoberfläche als schneefreie Flecken. Sie darf jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, daß der Luftaustausch selbst in den dynamisch bewetterten Höhlen, nur relativ langsam vor sich geht und oftmals nur einige Höhlenräume erfaßt.

In der "Sommerphase", wenn die Außentemperatur höher ist als die im Höhleninneren, kommt es zu einer abwärts gerichteten Luftströmung.

Diese entsteht weil die spezifisch kältere Luft aus den unteren Eingängen ausfließt und damit wärmere durch die Schlotte ansaugt. Durch diese Vorgänge bedingt, kann es bei Pflanzen, die an den Eingängen dieser Kaltluftströmung ausgesetzt sind, zu Krüppelwuchs kommen.

Jedoch schon 1952 stellte *R. PIRKER* fest, daß die Luftströmungen der Winter- bzw. Sommerphase nur mit Einschränkungen gelten und sich auch nur dann einstellen, wenn die Temperaturdifferenzen an allen wetterwegsamem Höhleneingängen gleichsinnig negativ bzw. positiv sind.

Zusätzlich ergaben die Forschungen der letzten Jahre, daß noch andere Einflüsse, wie z.B. die Temperatur- und Luftdruckverhältnisse der äußeren Großwetterlage die Wetterführung innerhalb einer dynamisch bewetterten Höhle erheblich mitbestimmen.

In extremen Fällen kann es sogar innerhalb der Höhle zu einem Luftstillstand kommen wobei dessen Ausmaß von unterschiedlicher Zeitdauer sein kann. Ein solcher Einfluß kann sich unabhängig von der Jahreszeit bemerkbar machen.

Aus diesem Umstand wird ersichtlich, daß wir es in größeren Höhlensystemen nicht selten mit einer viel komplexeren Gestaltung der Bewetterungsverhältnisse zu tun haben als es die oben, lediglich in groben Umrissen, beschriebenen Vorgänge darstellen.

Stalaktiten und Stalagmiten

Diese beiden Tropfsteingebilde sind, auch wenn sie wohl zu den bekanntesten gehören, lediglich Sonderformen des Sinters. Ihre Wachstumsrichtung folgt dabei den Gesetzen der Schwerkraft.

Stalaktiten

Ein *Stalaktit* ist ein zapfenförmiger Tropfstein aus Kalziumkarbonat, der im Gegensatz zum Stalagmit (siehe unten) *von der Decke der Höhlen nach unten wächst.*

Stalagmiten

Ein *Stalagmit* ist ein *vom Boden der Höhlen nach oben wachsender Tropfstein*, der durch Ausscheidung von kalziumhydrokarbonathaltigen Wässern infolge der Abgabe von Kohlendioxid entsteht.

Die Entstehung

Durch die Ausscheidung aus an der Decke hängenden und schließlich abtropfenden Wassertropfen entsteht zunächst an der Höhlendecke ein Tropfröhrchen. Dieses Tropfröhrchen weist im Laufe der Zeit sowohl ein Längen- als auch ein Dickenwachstum auf. Auf diese Weise bildet sich langsam der *Deckenzapfen, Stalaktit genannt.*

In der Regel bleibt bei den Stalaktiten der Zentralkanal, der Hohlraum im Innern des Tropfröhrchens, erhalten. Das Vorhandensein dieses Zentralkanals ermöglicht auch später noch die Unterscheidung zum *Stalagmit*, dem ein derartiger Kanal fehlt, da er sich *an der Höhlensohle*, als Ausscheidung weiterer Kalksubstanz, durch das Zersprühen des von oben abtropfenden Wassers bildet.

Stalaktit und Stalagmit können sich, gemäß beschriebener Vorgänge, auch zu einer Sintersäule verbinden.

Im Querschnitt zeigen Tropfsteine, ähnlich den Bäumen, konzentrische Zuwachsringe, die das allmähliche und gelegentlich, unterschiedlich phasenhafte Wachstum widerspiegeln.

So können im gleichen Höhlenraum ebenfalls sehr große Wachstumsunterschiede zwischen einzelnen Tropfsteinen beobachtet werden.

Manche Tropfsteine sind dabei auch in mehreren, durch schwache oder ganz fehlende Tropfsteinbildung, geprägte Phasen entstanden oder inzwischen ganz inaktiv.

Als inaktiv bezeichnet man in ihrem Wachstum ganz zum Stillstand gekommene Tropfsteine.

In alpinen Höhlen konnten unter Benutzung der *Radiokarbonmethode* (einer Methode zur Altersbestimmung mit Hilfe von radioaktivem Kohlenstoff) Tropfsteingenerationen mit den verschiedensten Entstehungszeiten ermittelt werden.

Die *jüngsten Generationen* wurden dabei im nacheiszeitlichen Klimaoptimum vor rund 8000 Jahren gebildet. Andere wurden in wärmeren Abschnitten des Eiszeitalters gebildet und sind bis zu 40.000 Jahre alt. Mit der *Uran-Thorium-Methode* (die Radiokarbonmethode versagt bei noch höheren Altersbestimmungen) konnten sogar noch wesentlich höhere Tropfsteinalter gemessen werden.

Die genannten Alter der Tropfsteine zeigen sehr deutlich ihre Schutzwürdigkeit. Einmal abgebrochen und als Souvenir mit nach Hause genommen verlieren sie nicht nur ihren ursprünglichen Reiz und ihre Atmosphäre der Einmaligkeit, sondern sind, so wie ihre natürliche Umgebung, unwideruflich für die Nachwelt zerstört.

Daher bitte ich Sie hiermit eindringlich, sich bei all Ihren Höhlenbegehungen stets an die Maxime zur Erhaltung und zum Schutz von Höhlen sowie deren tierischen und pflanzlichen Bewohnern zu halten. Beachten Sie bitte stets folgende Regeln:

**Wenn du eine Höhle besuchst , nimm nichts mit,
laß nichts zurück, zerstöre nichts und
schlage nichts tot !**

**Beachte die Fledermausschutzzeit,
die in der Regel von November bis April dauert.**

Sinter, Sinterbildung und Sinterarten

Sinter entsteht als Ausscheidung des *im* unterirdischen *Wasser gelösten Kalkes* (Kalziumkarbonat, CaCO_3).

Das im Untergrund versickernde Niederschlagswasser reichert sich noch vor Eintritt in den Boden an der Oberfläche und/oder aber im Boden selbst mit Kohlendioxid (CO_2) an; da sich Kalk in kohlendioxidhaltigem Wasser sehr gut löst, ist die Kalkkonzentration beim Eintritt in den Höhlenraum bereits meist relativ hoch.

Sobald das Sickerwasser den Höhlenraum erreicht hat, entweicht Kohlendioxid in die freie Atmosphäre wodurch das Wasser gezwungen wird, einen Teil des in gelöster Form als Kalziumbikarbonat $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ mitgeführten Kalkes abzusetzen.

Dieser Prozeß richtet sich in seinem Ausmaß nach der zur Verfügung stehenden Menge an Kohlendioxid. Die zur Verfügung stehende Menge Kohlendioxids hängt jedoch wiederum von der Boden- und Vegetationsdecke und der jeweiligen Stoffwechselfähigkeit des dort vorkommenden Lebens ab.

Da diese genannten Größen aber klimabedingt variabel sind, äußern sich Klimaschwankungen entsprechend als Wechsel an Art und Ausmaß von Sinterbildungen innerhalb der Höhlen.

Die verschiedenen Arten von Sinterbildungen

Deckensinter,

an der Höhlendecke, als Tropf- / Sinterröhrchen, Deckenzapfen bzw. Stalaktiten, Deckensinterleisten, Sinterfahnen und ganzen Sintervorhängen.

Wandsinter,

an der Höhlenwand, als Sinterkrusten, Sinterfälle (versteinerte Wasserfälle), Baldachine und Knöpfchensinter.

Sohlensinter,

im Bodenbereich, als Bodenzapfen (Stalagmiten), Sinterwälle, Sinterdecken, Sinterwannen (Sinterbecken) und Wandsinterkränze.

Lose Sinterformen,

frei im Höhlenraum liegend, als Höhlenperlen, und aus Höhlentümpeln und Höhlenseen abgesetzt, Kalkhäutchen und Wandsinterleisten.

Excentriques,

diese vielfältig gekrümmten, faden-, wurm- oder bäumchenförmig und damit äußerst zart und zerbrechlich wirkenden, *in ihrem Wachstum nicht schwerkraft-orientierte, Kalzitgebilde*, gleichen in ihrer Form dem als "Eisenblüte" bekannten Mineral, einer *Ausbildungsform des Aragonits. Ihre Entstehungsbedingungen sind bisher nicht abschließend geklärt.*

Weitere Mineral- und Gesteinsbildungen

Bergmilch,

eine weiche, lockere und sehr wasserreiche Kalzitablagerung. Sehr porös und spezifisch leicht, in Österreich auch als "Galmei" oder "Nix" bezeichnet, kommt sie sowohl als Überzug von Höhlenwänden als auch in Form von Ablagerungen an der Höhlensohle vor.

Verfestigungen oder Konkretionen,

sie sind unregelmäßige, oft brotlaibartige oder scheibenförmige Gesteinsstücke, die durch Verkittung meist sehr kleiner Gesteinsteilchen entstehen.

Kristallbildungen und Ausblühungen:

Beide sind durch chemische Reaktionen, meist unter Mitwirkung von Wässern, entstandene Einzelkristalle oder ganze Kristallansammlungen. Unter den im Höhleninneren zahlreich festgestellten Mineralien zählt, neben dem Aragonit und Gips, der Kalzit zu dem am häufigsten anzutreffenden. So bilden sich nicht selten im Höhlenraum, an den Rändern von Wasserbecken, mit Kalzitkristallen ausgekleidete Kristallkammern. Dabei bildet der Kalzit sehr unterschiedliche Kristallformen aus.

Aragonit, üblicher Weise in der Natur durch Ausscheidung aus warmen Wässern (z.B. Thermalquellen) entstehend, hat die gleiche chemische Zusammensetzung wie Kalzit; dennoch besitzt er andere Eigenschaften und bildet andere Kristallformen aus.

Gips, ein wasserhaltiges *Kalziumsulfat* ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), tritt in Höhlen in Form von Krusten, rosettenartigen Gipsausblühungen und einzelnen Gipskristallen auf.