

GEMEINVERSTÄNDLICHE
HÖHLENKUNDLICHE VORTRÄGE
HERAUSGEGEBEN VON DER BUNDESHÖHLENKOMMISSION
REDIGIERT VON UNIVERSITÄTSPROFESSOR DR. GEORG KÝRLE

ENTSTEHUNG UND
AUSFÜLLUNGSPRODUKTE
DER HÖHLEN

von

DR. GUSTAV GÖTZINGER
(WIEN)
GEOLOGE AN DER GEOLOGISCHEN BUNDESANSTALT



WIEN 1922
ÖSTERREICHISCHE STAATSDRUCKEREI

Entstehung und Ausfüllungsprodukte der Höhlen.

Von Dr. Gustav Götzinger (Wien), Geologe an der Geologischen Bundesanstalt.

(Vortrag, gehalten am 9. Februar 1922, in der vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft [staatliche Höhlenkommission] und vom Verein für Höhlenkunde in Österreich, Sektion Niederösterreich, veranstalteten höhlenkundlichen Vortragsreihe).

Meine Damen und Herren!

Das Thema über Entstehung und Ausfüllungsprodukte der Höhlen umfaßt ein so ausgedehntes Gebiet der Geologie und Geomorphologie, daß es selbstverständlich im folgenden nur möglich ist, die grundlegenden Tatsachen darüber mitzuteilen. So konzentriert als möglich soll daher das Wissenswerte über diesen Gegenstand zur Darstellung gebracht werden.

Höhlen sind unterirdische Felshohlräume*), die von der Außenwelt einen oder mehrere Zugänge aufweisen. Die Höhlen sind als Einschlüpfungen der Landoberfläche zu unterscheiden von den Halbhöhlen Gehängenischen, Hohlkehlen u. dgl., den Unterhöhlungen des obertägigen Geländes. Die Halbhöhlen hängen noch offen mit der Tagesoberfläche zusammen, während bei den echten Höhlen nur ein schmaler Eingang in einen Hohlraum führt, der nicht mehr als Tagesoberfläche aufgefaßt werden kann.

Die Formen der Höhlen sind außerordentlich mannigfaltig. Bald öffnen sich Klüfte, Fugen, Schlünde, Schächte, Schlote, Röhren, bald laufen durch breite Portale runde Tunnels, weite Hallen und Dome, sogar bis zu 100 m Höhe, in die Bergimasse hinein. Ein Beispiel für eine Tunnelhöhle ist die Lurgrotte und zum Teil die Mammuthhöhle im Dachstein, für Dome neben den Ötscherhöhlen die Dachsteinhöhlen, während der Typus der Schlund- oder Schachthöhle durch die Kačna jama im Küstenlande repräsentiert wird.

Schon ein und dieselbe Höhle, wie z. B. die Phosphathöhle von Csoklovina in Rumänien erkennen läßt, trägt einen Wechsel von engen Stellen (Schluffen) mit langen schlauchförmigen Tunnels und geräumigeren Sälen zur Schau. Und doch ist dies der Typus einer einfach gebauten Tunnelhöhle. Da nehmen die Rieseneishöhle im Tennengebirge oder die Dachsteinhöhlen infolge mannigfaltiger Verzweigungen einen viel komplizierteren Verlauf.

*) In der folgenden Betrachtung sehen wir von den sogenannten „Überdeckungs-“ oder „Trümmer-“Höhlen ab, welche sich z. B. zwischen Schutt, Felstrümmern, Bergstürzen und Blockwerk befinden.

Hinsichtlich der Ausdehnung der Höhlen stehen solche langgestreckte Höhlengänge im Gegensatz zu den kurzen Sackhöhlen und Blindhöhlen. Die Sackhöhlen endigen plötzlich sackförmig, die Blindhöhlen verlieren sich in einer Kluft.

Kilometerweit erstrecken sich oft die Höhlengänge. Manche derselben setzen durch einen ganzen Berg durch.

So gelangt man durch die Frauenmauerhöhle bei Eisenerz aus dem Entwässerungsgebiet der Enns in das der Mur. Die Höhle ist also eine sogenannte Durchgangshöhle. Fast das gleiche gilt für die Geldlochhöhle im Ötscher, die durch den Ötscherkamm führt.

Außerordentlich reich verzweigt sind zuweilen die Höhlengänge, wie die Eisriesenhöhle im Tennengebirge zeigt. Vom Hauptgang zweigen Seitengänge ab, ja ein ganzes Gewirr von Gängen, die verschiedentlich sich kreuzen, gabeln und wieder vereinigen, neben-, über- und untereinander laufen, so daß man es mit wahren Höhlenlabyrinthen zu tun hat, welche der Kartierung der Höhlen mancherlei Schwierigkeiten bereiten. Auch die Dachstein-Mammuthhöhle hat zahlreiche Verzweigungen.

Zwei Grundformen von Höhlen sind feststellbar: die Vertikal- und die Horizontalhöhlen. Man könnte auch von Tief- und Längshöhlen sprechen. Eine Kombination beider ist die berüchtigte Kačna jama im Karst: Ein Naturschacht von mehr als Stephansdomhöhe, über 200 m tief, mit zwei großen vorragenden Felstrümmern, ein Schlund, dessen Bewältigung viele Mühe kostete, führt unten in einen horizontalen Höhlengang, der einen seitlichen, gleichfalls wenig geneigten Gang erhält. von dem neuerdings Schächte in die Tiefe setzen. Eine Horizontalhöhle stellt die berühmte Grotte von St. Kanzian dar, welche durch die von St. Kanzian ab unterirdisch fließende Reka geschaffen worden ist.

Trotz der 28 Kaskaden ist der Höhlengang des Flusses mit seinen Domen im Durchschnitt wenig geneigt. Selbstverständlich ist der Ausdruck Horizontalhöhle nicht im mathematischen Sinn zu nehmen (daher auch Name Längshöhle vorgeschlagen.) Wir bemerken im Voraus, daß die Horizontalhöhlen ihre Bildung dem Flußwasser, die Vertikalhöhlen dem von der Tagesoberfläche aus wirkenden Sickerwasser verdanken.

Was die Entstehung der Höhlen anlangt, so sehen wir hier ab von den sogenannten ursprünglichen Höhlen, welche gleichzeitig mit dem Gestein sich gebildet haben. Hierher gehören z. B. die Lavahöhlen in Lavaströmen der Vulkane. Wenn die Lava äußerlich erkaltet, die leicht flüssige Lava darunter aber an irgendeiner Stelle diese Rinde durchbricht und ausfließt, so entsteht ein Hohlraum im Lavastrom, eine Lavahöhle. Bei der Seltenheit der vulkanischen Erscheinungen in Österreich kommen solche Höhlen fast ganz außer Betracht.

Ursprüngliche Höhlen werden aber auch verursacht während der Gesteinsbildung besonders des Kalkes, wo derselbe aus Riffbauten von Korallen besteht. Bekanntlich kann die verhältnismäßig niedrige Tiergruppe der Korallen durch Kalkabsonderung ganze Gesteinsmassen

aufbauen, welche zu mächtigen Korallenriffen anwachsen. Dabei können Hohlräume im Riff ausgespart werden. Dies gilt sowohl für die heute entstehenden Korallenriffe, wie für die Riffe der vergangenen geologischen Perioden. Viele Kalke unserer Kalkalpen sind bekanntlich aus solchen Riffen hervorgegangen, so der Kalk, der das Dachsteirplateau zusammensetzt. Andere riffbauende Organismen stellen die Schwämme (Spongiens) und die Kalkalgen (Lithothamnien) dar. Wahrscheinlich hat man auf diese Weise manche Hohlräume in dem sogenannten Leithakalk des Tertiärs des Wiener Beckens zu erklären, der sich zum Teil aus Kalkalgenriffen zusammensetzt.

Endlich gibt es auch kleine Höhlen, welche bei der Bildung von Quellsinter, von Quelltuff ausgespart werden.

Alle diese ursprünglichen Höhlen sind nicht sehr häufig und haben ein geringes Ausmaß.

Eine weitaus größere Verbreitung und Bedeutung kommt den Höhlen zu, welche im Gestein erst nachträglich geschaffen wurden. Es können zwar auch durch die sogenannten gebirgsbildenden Vorgänge, die tektonischen Kräfte, die Vorgänge der Faltung, Pressung, Schiebung, Verschiebung, Zerreißung und Zertrümmerung der Gesteine und der Schichten Hohlräume verursacht werden, die tektonischen Höhlen, jedoch sind auch sie stets sehr klein.

Von größter, man kann sagen, fast einziger ausschlaggebender Bedeutung für die Entstehung der Höhlen sind die Vorgänge der unterirdischen Wasserwirkung im Gestein.*)

Die Wirkung des Wassers auf die Gesteine ist teils eine mechanische, abschuernde, kolkende, bohrende, ausstrudelnde, teils eine chemische, lösende, auslaugende infolge des aus der Luft entnommenen Kohlensäuregehaltes des Wassers. Die mechanische Wirkung schafft glatte Felsoberflächen in Tunnels (z. B. in der Mammuthöhle oder Badlhöhle bei Peggau), die chemische, rauhe, löcherige, wabenförmige Felsoberflächen, wie die Höhlenwand beim Peggauer Felsenbach lehrt.**) In einem Gang der Dachsteineshöhle beobachtet man gleichzeitig den glatten Tunnel und die wabenartig angefressenen Höhlenwände. Man bezeichnet die mechanische Wirkung als Erosion im allgemeinen, die chemische als Korrasion.

Meist treten die mechanischen und chemischen Wirkungen in derselben Höhle in Kombination, obgleich es Höhlen gibt, welche vorwiegend durch die mechanische Erosion und solche, welche vorwiegend durch chemische Korrasion erzeugt worden sind. Die Auskolkungshöhlen und Auslaugungshöhlen stellen die beiden Grenzfälle dar.

Damit für die Entstehung der Höhlen unterirdische Wasserwirkung eintrete, muß das Gestein für Wasser durchlässig sein. Höhlen sind

*) Wenn von durch Wasserwirkung entstandenen Höhlen die Rede ist, so schalten wir dabei die Strandhöhlen aus, welche infolge nagender Tätigkeit von Wellen und Brandung an Steilufern entstehen. Es sind dies jedoch keine echten Höhlen, sondern Halbhöhlen.

**) Vgl. eine Photographie von Dr. S. Kyrie.

daher von vornherein kaum möglich in Gesteinen, welche, wie kristallinische Schiefer, Sandstein, Ton und Tonschiefer undurchlässig oder fast undurchlässig sind, weil sie sich und ihre Klüfte mit einem tonig-lehmigen, undurchlässigen Verwitterungsrückstand gänzlich überkleiden. Durchlässig sind Schotter und Konglomerate, d. h. verfestigte Schotter. Aber nur im Konglomerat können sich Höhlen erhalten, wie die Lettenmayerhöhle bei Kremsmünster zeigt, während sie sich im Schotter nicht bilden können, da derselbe sofort bei einer Unterhöhlung verrutscht, verrieselt und nachbricht.

Durchlässig sind aber auch solche Gesteine, welche stark klüftig sind, deren Klüfte nicht ganz verschmiert werden mit dem tonigen Verwitterungsrückstand des Gesteins, sondern vielmehr durch die lösende Wirkung des Niederschlagswassers ausgeweitet werden, so daß letzteres immer mehr verschluckt wird. Das trifft vor allem für den ziemlich reinen Kalk zu, zum Teil noch für den dolomitischen Kalk. Der Dolomit, die Verbindung des kohlensauren Kalk's mit kohlensaurer Magnesia, ist zwar auch klüftig, oder besser gesagt, rissig, die Klüfte werden aber nicht ausgeweitet infolge schwerer Löslichkeit des Magnesiakarbonates; sie werden bedeckt und verschmiert mit einem lehmig-grusigen Verwitterungsprodukt, welches den Dolomit weniger durchlässig macht.

Im durchlässigen Kalk kann also das Niederschlagswasser einsickern, das Flußwasser verschwinden, so daß es zur unterirdischen Entwässerung kommt. Der Kalk ist aber nicht nur wegen seiner Klüftigkeit und Löslichkeit, sondern auch wegen seiner Standfestigkeit zur Höhlenbildung besonders geeignet. Namentlich grob gebankte oder massive Kalke sind günstig für Höhlen, während dünn gebankte oder dünn geschichtete Kalke abbröckeln und wenig standfest sind.

Auch Salz und Gips wären infolge ihrer Löslichkeit für die Höhlenbildung geeignet. Im Vergleich zum Kalk ist aber die Standfestigkeit eine geringere, auch sind Salz- und Gipsablagerungen nicht so häufig und nicht so bedeutend wie die der Kalke, so daß den Salz- und Gips-höhlen eine untergeordnete Bedeutung zukommt. Langgestreckte und geräumige Höhlen sind daher nur im Kalke anzutreffen.

Die Entstehung der Höhlen im Kalk wird verständlicher werden, wenn kurz jener Erosions- und Lösungsformen Erwähnung getan wird, welche auf den Kalk und oberflächen, also auf dem Terrain über den Höhlen zur Entfaltung gelangen. Auch sie knüpfen sich an die Klüftung und Lösung des Kalkes. Am Karst zwischen Laibach und Triest sind diese Formen in ausgezeichneter Weise entwickelt, so daß man vom Karstphänomen spricht, das natürlich auch in anderen Gegenden in Erscheinung tritt, wo eben das Gestein die entsprechende Eignung dazu hat. Besonders das Karstphänomen begünstigende Gesteine sind der sogenannte Nummulitenkalk des Eozäns, der Rudistenkalk der Kreide im Küstenland, der Gutensteinerkalk der Untertrias, der Oppoitzter- und Dachsteinkalk der Oberen Trias, der Oberalm- und Plassenkalk des Jura in den Kalkalpen, der Urgon- und Schrattenkalk der Kreide

in der Schweiz, der paläozoische Kalk in der Steiermark u. dgl. mehr. Auf diese Bezeichnungen kann hier nicht näher eingegangen werden; die Verbreitung dieser Karstgesteine ist aus den geologischen Karten zu ersehen.

Auch die Höhlen im Kalk sind ein Teil des Karstphänomens, die meisten Höhlen der Erde überhaupt sind geradezu Karsthöhlen. Die Nichtkarsthöhlen bilden nur eine ganz kleine und unbedeutende Gruppe für sich.

Bezeichnend für den Charakter der Karstlandschaft ist es, daß eine geschlossene Verwitterungs- und Bodenkrume fehlt, wie sie im Wienerwald anzutreffen ist; nackt und kahl tritt der Kalk zutage, durchsetzt von Klüften. Das Gestein wird gelöst und der geringe Verwitterungsrückstand vielfach in die Klüfte geschwemmt (Beispiel Cičenboden in Istrien).

Wo aber im Karstgebirge zwischen dem Kalk Einschaltungen des wasserundurchlässigen Sandsteins oder Tonschiefers auftreten, hört das Karstphänomen auf. Mit Schutt und zumindest einer Rasenfläche bedeckte Gehänge treten auf. Das Gestein erscheint nicht mehr so durchgängig kahl zutage wie im Kalk, der förmlich in ein Fels- und Blockmeer aufgelöst ist. Felsarme, fast glatte und gleichmäßig geneigte Gehänge zeichnen den Sandsteinboden, dagegen steinige, felsige, mit Karsttrichtern besetzte Flächen den Kalk aus.

Infolge Fehlens einer Bodenkrume und häufiger Vegetationslosigkeit tritt im Karst die Lagerung und Schichtung des Gesteins klar in Erscheinung. Der Geologe weiß, daß besonders im Karstkalk die verschiedenen Schichtstellungen gut zu beobachten sind.

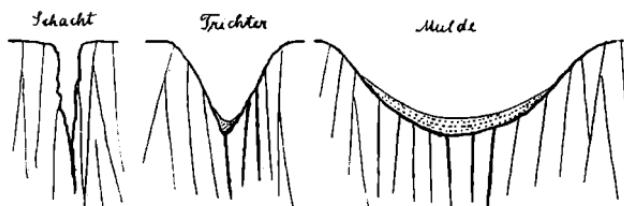
Der innere Bau des Berges tritt im Karst also zutage, der im Wienerwald z. B. erst durch tiefere Steinbrüche und Gräben entwirrt werden kann. Nur spärlich ist die Verwitterungskrume, die Roterde, der Verwitterungsrest des Kalkes; sie wird vom Regen stellenweise zusammengeschwemmt und der Karstbewohner schützt sie gegen Abschwemmung und Abwehung durch Mauern, sogenannte Ohradas, um demdürftigen Pflanzen- und Feldbau etwas Boden zu sichern.

Auf den Felsoberflächen des Kalkes aber sind die sehr bezeichnenden Wirkungen der Lösung durch das abfließende Regenwasser zu beobachten. Feine Rillen bedecken das Gestein, die sogenannten Rillenkarren; auch die Klüfte sind infolge Lösung ausgeweitet worden, das sind die Kluftkarren. Überall nimmt man auf der Felsoberfläche scharfe Schneiden und Rippen wahr. Wie kanneliert erscheinen manche Felsoberflächen infolge der Rillenbildung. Argesichts der chemischen Lösung sieht der Kalk wie von Säuren zerfressen aus; er ist aufgelöst in zackenförmige Klippen. Bei der Lösung des Kalkes bleibt aber viel Rückstand, die Roterde, die manchmal in mächtigeren Ablagerungen zusammengeschwemmt wird.

Die Kluftkarren endigen häufig plötzlich in einem Naturschacht, dem sogenannten Karrenbrunnen. An den Kreuzungsstellen von Spalten oder an Stellen, wo zahlreiche Klüfte auftreten, erfolgt eine

intensivere Lösung des Gesteins, eine stärkere Erweiterung der Spalten nach der Tiefe, bis schließlich die steilwandigen Schächte erzeugt werden, welche Trichterformen, ja Schüsselformen annehmen, wenn die oberen Teile des Schachtes abgetragen und abgeböscht werden. (Vgl. Figur 1.) Das sind die Karstdolinen und Karstmulden, die aber ebenso auf unserer Rax oder auf dem Dachsteinplateau vorkommen, da sie hier die gleiche Entstehungsursache haben. Es gibt von den senkrechten Schächten und Schlünden, welche im Karst „jama“ heißen, zu den flachen Dolinen zahlreiche Übergänge.

Manche Dolinen und Schächte sind allerdings nicht wie die eben beschriebenen durch Lösung, Abtragung und Abböschtung entstanden, sondern Einsturzdolinen, hervorgerufen durch Einstürze von Höhlendecken. Beispielsweise sind der große und kleine Trichter über dem eingestürzten Teil der Rekahöhle, die Doline der Stara apneca über einem eingestürzten Teil der Fortsetzung der Adelsberger Grotte, die Jeršanova



Figur 1. Entwicklung der Karsttrichter und Karstmulden aus Karstschächten.
(Die Roterdeanhäufungen sind punktiert.)

dolina über dem eingestürzten Nordende der Adelsberger Grotte entstanden.

Dies sind also die Oberflächenformen des Karstkalke, wie sie meist über Höhlen liegen. Sie haben, wie die Höhlen selbst, ihre Ursache in der Klüftigkeit und Löslichkeit des Gesteins. Verfolgen wir nun den Weg des Wassers, das vom klüftigen Kalk verschlucht wird. Es geht meist vertikal in die Tiefe entlang der Spalten und Risse, bald sickernd, tropfend, fließend, bald stürzend.

Das Wasser vereinigt sich unterirdisch zu Gerinnen. Neben dieser Vertikalentwässerung im Karstkalke gibt es eine Horizontalentwässerung, hervorgerufen durch die unterirdischen Gerinne und Flüsse, gelegentlich durch abfließendes Grundwasser. Diese beiden Entwässerungsformen führen zur Höhlenbildung, indem dabei Gestein gelöst und ausgewaschen wird. Im Bereich der Vertikalentwässerung entstehen die Sickerwasserhöhlen und Schlünde, die Vertikalhöhlen, im Bereich der Horizontalentwässerung aber die eigentlichen Fluss Höhlen, die Horizontalhöhlen. (Vgl. Figur 2.)

Unterirdische Gerinne und Flüsse bilden sich teils aus dem von oben stammenden Sickerwasser, teils stellen sie Flüsse dar, welche von außerhalb des Kalkes stammen und im Kalk in Klüften verschwinden, wie die Poik. nahe der Adelsberger Grotte oder wie die Reka vor der Grotte

von St. Kanzian. Das sind die Flußschwinden oder Ponore, welche mit Höhlen in Verbindung stehen. Andererseits kommen die Flüsse wieder in wahren Riesenquellen hervor, wie die Poik bei der Kleinhäusler-Höhle — der Fluß heißt von da an die Unz. Man kennt Riesenquellen, welche ganze Bergmassive zu entwässern scheinen, wie die berühmte Omblaquelle bei Ragusa, die nahe dem Meeressniveau austritt. Diese Riesenquellen sind gleichfalls mit Höhlen in Verbindung, die Erforschung der Höhlenflüsse, welche die Quellen speisen, ging gerade meist von solchen Quellhöhlen aus. Ponore, Riesenquellen, Höhlenflüsse sind also weitere, sehr bezeichnende Karsterscheinungen.

Eines der besten Beispiele für diese unterirdischen Wasserverhältnisse bietet die weitere Umgebung der Grottenwelt von Adelsberg. Die Poik verschwindet im Kalk nahe Adelsberg, fließt unterirdisch (zunächst



Figur 2. Schema der vertikalen und horizontalen Entwässerung im Karstkalk.
(F Fluß, W Wasserhöhle, S Spaltenhöhle, Z Zerklüftungshöhle.)
(Etwas überhöhlt).

nordwestlich, dann nordöstlich) und kommt nach einer Gabelung und Wiedervereinigung in der Kleinhäuslerhöhle als Unz zu Vorschein. Die berühmte Adelsberger Grotte, Kaiser Ferdinands Grotte usw. ist ein alter, etwas höher gelegener, heute trocken gelegter, mehr nördlicher Lauf der Poik. Die Unz fließt ein kurzes Stück im Becken von Planina oberflächlich, verschwindet wieder im Kalk und tritt in mehreren starken Quellen in der Laibacher Ebene als Laibachfluß neuerdings zutage.

Schon oberhalb Planina hatte die Poik einen unterirdischen Zufluß von Südost her aus dem Zirknitzer Polje erhalten.

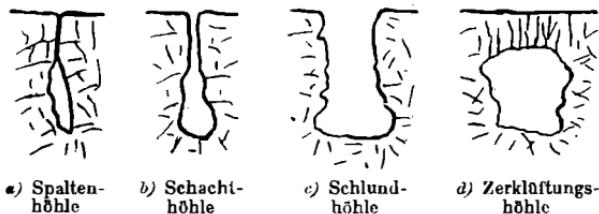
Auch der Zirknitzbach verschwindet in einem Ponor, erscheint wieder als starke Quelle als Rakbach, der nach kurzem Lauf wieder verschlucht wird und unterirdisch der Poik zueilt.

Die Mehrheit der Forscher nimmt, entsprechend den Beobachtungstatsachen, Höhlenflüsse an, wornach also die Horizontalentwässerung in geschlossenen Röhren vor sich geht, die oft sogar über- und neben-einander verschiedene Niveaus haben können. Im Gegensatz dazu steht die Theorie, daß die Horizontalentwässerung nur in Bewegungen des Grundwassers besteht, daß man es im Karstkalk mit auf längere Erstreckung hin einheitlichem Grundwasserstand zu tun hätte, indem die Klüfte des Kalkes bis zu einem bestimmten Niveau mit Wasser erfüllt seien. Dieses Karstgrundwasser ist großen Schwankungen im Karstkalk

ausgesetzt, da sich die vermehrte Niederschlagsmenge z. B. bei längeren Regenzeiten auf das Netz der engen und doch nicht sehr zahlreichen Klüfte verteilen muß, das Kluftvolumen im Vergleich zum Gesteinsvolumen außerordentlich gering ist, während im Schotter z. B. wegen des beträchtlich größeren Porenvolumens die durch dieselbe Niederschlagsvermehrung erzeugte Grundwasserschwankung räumlich der Höhe nach viel geringer ist. Es würde zu weit führen, hier in der Streitfrage, ob die Höhlenflüsse oder das Karstgrundwasser das Element der Karsthydrographie bilden, endgültig Stellung zu nehmen.

Lokal mag es Grundwasserniveaus im Kalk geben, in der Mehrheit der Fälle aber handelt es sich sicher um unterirdische Gewässer und Flüsse, welche in mehr oder minder geschlossenen Röhren das Kalkgebirge durchörtern. Sie gabeln, teilen und verzweigen sich, sodaß sich stellenweise ein ganzes Röhrensystem entwickelt hat. Daß sich solche Gewässer selbst im durchlässigen, klüftigen Kalk ausbilden, mag vornehmlich in der Ab-

Figur 3. Typen der Sickerwasserhöhlen (nach Neischl):



a) Spaltenhöhle b) Schachthöhle c) Schlundhöhle d) Zerklüftungshöhle

dichtung der Klüfte mittels des von den Gewässern mitgeführten Schlammes begründet sein. Jedenfalls sprechen auch Flußwasserhöhlen mit geneigtem Gefälle dafür, daß sie nichts mit Karstgrundwasser, sondern mit Höhlenflüssen zu tun haben.

Wenden wir uns nach Betrachtung dieser eigentümlichen hydrographischen Erscheinungen im Karst noch einigen Einzelheiten bei der Entstehung der verschiedenen Formen der Höhlen zu. Zwei Gruppen sind, wie wir sahen, zu unterscheiden: die Sickerwasser- und Flußwasserhöhlen (Vertikal- und Horizontalhöhlen). [Vgl. vorher Figur 2.]

Die Sickerwasserhöhlen bilden sich fast nur infolge chemischer lösender Wirkung des Sickerwassers, indem die Klüfte ausgeweitet werden. (Vgl. Figur 3.) Es entstehen entlang größerer Spalten die Spaltenhöhlen (Figur 3, a); wo dagegen die Risse und Spalten sehr zahlreich sind, das Gestein ganz zerklüftet ist, werden größere Höhlen verursacht durch Lösungerscheinungen des Gesteins entlang aller dieser Spalten. Das ist der Typus der Zerklüftungshöhle. (Figur 3, d.) Während die Spaltenhöhle entlang einer Kluft nur an einer besonderen Stelle sich ausgebildet hat, führt die durchgängige Erweiterung einer Spalte, meist an der Kreuzungsstelle zweier Spalten von der Oberfläche aus, zur Öffnung eines Schachtes (Naturschachtes) (Figur 3, b), welcher durch weitere Lösung oder auch durch Abbruchvorgänge zu einem Schlund

sich erweitern kann. (Figur 3, c.) Ist die Breite in der Tiefe eine größere als an der Oberfläche, so kann man von Schachthöhlen, beziehungsweise von Schlundhöhlen sprechen.

Im Gegensatz zu den Sickerwasserhöhlen sind die Flußwasserhöhlen sowohl durch chemische, wie durch mechanische Wirkung des Wassers, und zwar des Flußwassers, erzeugt. Auch hier setzt die Höhlenbildung ein an Klüften, indem diese erweitert werden. Kluftrichtung und Kluftform sind vielfach bestimmd für Höhlenrichtung und Höhlenform. Haupthöhle und Seitenhöhlen sind meist durch Klüfte vorgezeichnet. Vertikale Klüfte werden zu einer Kluftähle mit aufrecht stehendem ovalförmigen Profil umgestaltet. Schichtfugen des flach geschichteten Gesteins anderseits werden zu einer Schichthöhle mit wagrecht stehendem Oval des Profils erweitert.

Der Druck des Wassers in den schmalen Kluftkanälen der Höhlen ist manchmal so bedeutend, daß auch aufsteigende Klüfte eine kurze Strecke von Wasser durchzogen werden können. Das sind die U-förmig gestalteten Syphone, welche die Befahrung der Wasserhöhlen so erschweren. Man kennt sie zum Beispiel mehrfach vom Lurloch in Steiermark. Neben solchen Syphonen, welche durch aufsteigende Klüfte bedingt sind, gibt es auch solche, welche verursacht sind durch mächtige Deckenbrüche.

Die Erweiterung der Klüfte erfolgt, wie erwähnt, durch chemische und mechanische Wasserwirkung zunächst zu kreisrunden oder elliptischen Röhren und Schläuchen — ein sehr gutes Beispiel für eine später mit Schlamm gefüllte Röhre ist der Windstollen in der Mammuthöhle im Dachsteingebiet, wie überhaupt diese Höhle prächtige solche Röhren aufweist — und schließlich zu Tunnels.

Großartige Tunnelbildungen sind in der Dachstein-Mammuthöhle im gewölbeartigen Gang, der von der „Paläotraun“, einem Vorläufer der Traun, erodiert wurde, oder in der Rieseneishöhle im Tennengebirge zu beobachten. Sie endigen häufig in noch sehr deutlich erhaltenen Höhlenportalen (Drachenöhle). Im Gegensatz zu Knebel, dem Verfasser der ausgezeichneten Höhlenkunde, möchte ich die mechanische Erosionswirkung des Flußwassers mehr betonen, welches Schotter, Sand und Schlamm besonders bei Hochwasser mit sich führt, namentlich bei solchen Flüssen, welche nicht erst im Kalkmassiv entstehen, sondern von außerhalb des Karstterrains kommen, wie z. B. die Reka oder wie es bei den Flüssen der Fall war, welche die Dachsteinhöhlen schufen. Mit Hilfe dieses verfrachteten Materials werden die Felswände abgeschliffen, Röhren ausgebohrt und durch die wirbelnde Bewegung des Wassers stellenweise ganze Strudellöcher, Erosionstöpfe am Boden und an den Seitenwandungen ausgearbeitet.

In den späteren Entwicklungsstadien treten geräumige Tunnels in Erscheinung, welche bei Hochwasser des Flusses meist gänzlich, namentlich oberhalb der Syphone wassererfüllt sind, hingegen bei Niederwasser nur mehr an der Sohle vom Wasser modelliert werden. Gute Beispiele

dafür bietet das Lurloch. Das nächste Entwicklungsstadium ist die Bildung des Höhlendomes aus dem Tunnel infolge Ausbrechens der Höhlenwände und der Höhlendecke. Dieses Stadium ist in den bei 80 m hohen Hallen der Rekahöhle von St. Kanzian im Küstenland vertreten.

Die Entwicklungsfolge: Röhre, Tunnel, Dom erfährt zwar manchmal Modifikationen. In der Manimuthhöhle im Dachsteingebiet z. B. schuf ein größeres Gewässer zunächst einen Höhlentunnel, offenbar dessen ganzen Hohlraum einnehmend: hierauf muß eine Änderung der Wasserführung, beziehungsweise eine Änderung in den Gefälls- und Abflußverhältnissen eingetreten sein, das Gewässer wurde schwächer und kernte nun ein V-förmiges Tälchen in das kreisrunde Tunnelprofil ein.

Die Erosionsentfaltung des Höhlengewässers ist eine außerordentlich wechselnde, je nach dem Wasserstand, um so mehr als überdies die Schwankungen der Wasserführung der Höhlenflüsse höchst bedeutende sind. Im Rekahöhlensystem beträgt die Wasserstandsschwankung 60 m in den Vertikalen, in der Trebičgrotte bei Triest sogar über 100 m. Bekannt ist die Episode der Lurlochforscher im Jahre 1894, welche durch hereinbrechendes Hochwasser des Lurbaches in der Grotte überrascht, gänzlich abgeschlossen wurden und erst nach der achttägigen Einschließung gerettet werden konnten.

Die Wasserstandsschwankungen sind deshalb so enorme, weil die vermehrte Niederschlagsmenge nicht so rasch in klüftigen Kalk abfließen kann und es daher zu einem Emporsteigen des Wassers entlang der Klüfte, Höhlen und Seitenhöhlen kommt. Beim Abfließen dieser Hochwasserflut im Karstkalk tritt die Erosion unter starkem Wasserdruck, welcher Röhren ausbohrt, in Erscheinung (Eforation). Wie bei den oberflächlichen Gewässern und Flüssen wechseln auch bei den Höhlenflüssen, enge, steile Strecken mit weiteren, flacheren ab. An Kaskaden des Flusses reihen sich Partien mit geringem Gefälle, ja sogar mit unterirdischen Seen, wie der Chorinskysee des Zirknitzerbaches. An den engen, rascher durchflossenen Strecken herrscht in der Regel Tunnelerosion im ganzen Profil, dagegen in den weiteren, langsamer durchmessenen nur mehr Verbreiterung des Höhlenprofils und Modellierung der Sohle.

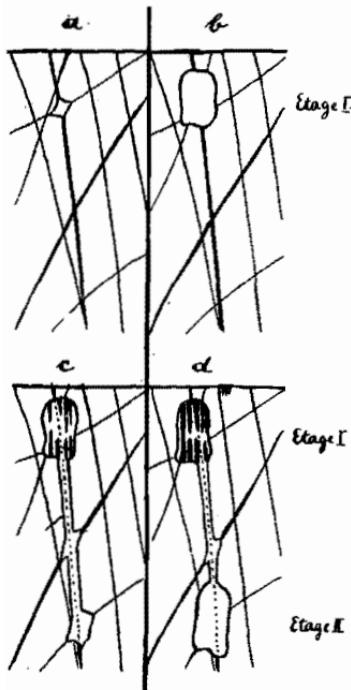
Wir hatten an dem Beispiel der Dachsteinhöhlen gesehen, daß es sich hier um alte Fluss Höhlen handelt, erzeugt durch Flüsse, welche heute nicht mehr bestehen. 900 m hoch über der Traun, über dem heutigen Hallstättersee, verliefen einst diese Höhlenflüsse in rund 1350 bis 1500 m Höhe. Solche ehemalige Fluss Höhlen, heute Trocken Höhlen — vielfach bezeichnet man solche Höhlen als Grotten — finden sich häufig sogar in mehreren Etagen über den heutigen Wasser Höhlen.

Diese Etagen, beziehungsweise Niveaus, knüpfen sich an gewisse Stillstandslagen der Tiefenerosion des Tales, an Zeiten der Bildung von höheren Talböden, von Terrassen, überhaupt an Zeiten von größerer Beständigkeit des Erosionsniveaus.

Ursprünglich (vgl. Figur 4) war der Höhlenfluß im höheren Niveau, die Höhle wurde aus der Klufterweiterung (in der Figur des Abschnitts a,

links oben) in den Tunnel und Dom mit Erosionstöpfen an seiner Sohle und an den unteren Teilen der Höhlenwände umgestaltet (siehe Abschnitt b, rechts oben). Infolge Hebung des Gebietes aber, oder infolge des notwendig gewordenen Tiefeneinschneidens der Flüsse der Umgebung mußte auch der Höhlenfluß in die Tiefe rücken. Er benützte dabei eine schräge Kluft, diese erweiternd (punktiert im Abschnitt c und d), um in das tieferen Niveau, in die Etage II zu gelangen, wobei die Umgestaltung der unteren Höhle aus der Kluftverweiterung (in der Figur c, links unten) in den Dom (in der Figur d, rechts unten) sich wiederholte. Nun war die Höhle der Etage I eine Trockenhöhle geworden und wurde mit Kalksinterbildungen (Decken- und Bodenzapfen) ausgestattet. Solange das Wasser in der Höhle der Etage I floß, konnte nämlich kein Sinter entstehen, weil in Wasserhöhlen infolge höheren Feuchtigkeitsgehaltes der Luft die zur Bildung des Sinters erforderliche Verdunstung gering ist.

Etagenhöhlen verschiedener Niveaus stehen also durch schräge oder senkrechte Kluftverweiterungen, Schluffe miteinander in Verbindung. Diese sind es, welche bei Befahrung von Etagenhöhlen aufgesucht werden müssen, wenn man aus einer Etage in die andere gelangen will. Mehrere solcher Etagenhöhlen erscheinen in der Wand oberhalb der heutigen Wasserhöhle des Csoklovinabaches in Rumänien. Die tiefste Etagenhöhle, eine voreiszeitliche Trockenhöhle, ist die an Phosphaterden so reiche Csoklovinahöhle. Im Gegensatz zu den meist nur Schotter und Lehm führenden aktiven Wasserhöhlen sind die trockenen Etagenhöhlen besonders reich an Sinter und Phosphaterden und die auch in ihnen nachgewiesenen Schotter bezeugen im Verein mit ihrem tunnelförmigen Profil die einstige Durchfließung durch einen Höhlenfluß.



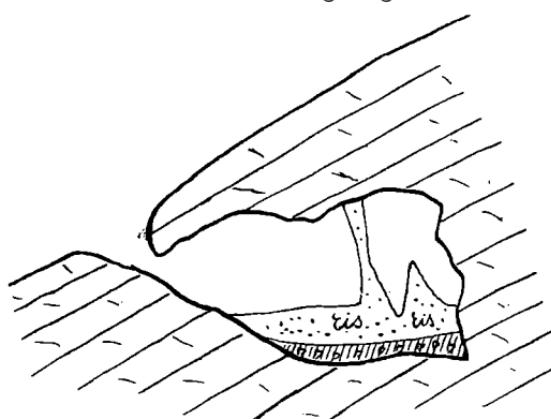
Figur 4. Entwicklung der Etagenhöhlen im Querprofil.

Wir sind damit zu den Ausfüllungsprodukten der Höhlen gekommen, welche, wie die Höhlen selbst, durch Sickerwasser und Flußwasser verursacht werden, wozu noch die Bildung von Ausfüllungsprodukten durch tierische Tätigkeit kommt. Das Sickerwasser bewirkt einerseits auf mechanischem Wege die Einschwemmung von Höhlenlehm, meist Verwitterungsrückständen des Kalkes, der gelegentlich auch in Roterde besteht, andererseits durch chemische Vorgänge die Ausscheidung von Kalksinter. Das Flußwasser führt hingegen nur

Schotter, Sand, Lehm und Schlamm zu. Auf die Wirksamkeit des Sickerwassers ist noch das Höhleneis zurückzuführen und zum Teil auch die Anhäufung von Schutt, Blöcken, Versturzmaterial in den Höhlen, indem die Lockerung des Gesteins durch Abbrechen infolge Sickerwasser, besonders bei dessen Gefrieren, beschleunigt wird. Durch organische Tätigkeit kommt es zu Anhäufungen von Knochenerden, aus Knochenresten ausgestorbener diluvialer Säugetiere, in der Regel des eiszeitlichen Höhlenbären, bestehend, dann von Guano, den Exkrementen meist der Fledermäuse und von phosphathaltigem Lehm überhaupt.

Letzterer entsteht infolge Durchtränkung mit Phosphatlösungen, welche ihren Phosphatgehalt Knochen und Guano verdanken.

Die Verbreitung der Ausfüllungsprodukte ist je nach Entstehung und besonders nach dem geologischen Alter den Höhlen verschieden.



Figur 5. Sackhöhle mit Eisbildung (Eissäule).
Beilsteinhöhle Steiermark.
(nach Kraus)

Die nur Kies, Schotter, Sand und Lehm führenden, heute noch tätigen Wasserhöhlen sind meist ganz arm an Sinter, weil, wie erwähnt, darin der Feuchtigkeitsgehalt der Luft groß und die Verdunstung gerig ist. Trockenhöhlen, besonders Etagenhöhlen alter Flussläufe, bieten dagegen günstige Bedingungen für Erhaltung mächtiger Ablagerungen. Unter sonst gleichen

Umständen sind die höchsten Etagenhöhlen daran am reichsten, weil sie zugleich die ältesten sind.

Nur einige Worte über die Eisbildungen. Damit sich Eis aus dem gefrierenden Sickerwasser in den Höhlen bilde, müssen letztere eine solche Lage haben, daß sich darin durch längere Zeit kalte, unter 0° temperierte Luft erhalten kann. Das ist besonders leicht möglich bei den stark nach abwärts geneigten Sackhöhlen (Beispiele die Beilsteinhöhle [Figur 5] oder die Kolowrathöhle am Salzburger Untersberg), in welche sich im Winter die kalte, schwerere Luft ergießt, während die wärmere leichtere Luft ausströmt. Das Sickerwasser überzieht dann den Boden als Bodeneis, es bilden sich Bodeneiszapfen und Deckeneiszapfen, welche zu Eissäulen sich vereinigen können (Figur 5).

Nebenbei bemerkt, stehen zu solchen kalten, abwärts geneigten Luftsäcken bezüglich der Temperaturverhältnisse aufwärts ansteigende Sackhöhlen im Gegensatz, in welche im Sommer die warme Luft einströmt und sich darin längere Zeit hält. Gleich neben der Rieseneishöhle im Dachsteingebiet befinden sich zwei Höhlen, der sogenannte Eiskeller

und der sogenannte Backofen, welche, wie schon die Namen sagen, thermisch ganz entgegengesetzt sich verhalten.

Es findet sich aber auch Eis in langen Höhlengängen, in sogenannten Windröhren, welche verschieden hohe Eingänge besitzen. In solche Windröhren treten sehr kalte Luftströmungen ein, die im Winter Eisbildung hervorrufen. Neben der Rieseneishöhle im Dachstein mit ihren Bodeneiszapfen und mit den herrlichen Bildungen von Eis, wie z. B. die Gralsburg in der Dachsteinhöhle sie zur Schau trägt, ist ein großartiges Beispiel für Eisbildungen die Eisriesenwelt im Tennengebirge. Die Mächtigkeit des hier besonders entfalteten Bodeneises wird mit 15—20 m angegeben. Die Eisausdehnung in der Höhle beläuft sich auf etwa 1200 m. Es ist jedoch nur die vordere Höhlenpartie eisbedeckt, die hintere eisfrei, ähnlich wie in der Dachsteinhöhle oder im Geldloch im Ötscher.

Zur Erhaltung der Eisbildungen ist es notwendig, daß die sommerliche Erwärmung nicht imstande ist, die im Winter erzeugten Eisgebilde zu schmelzen. Das sind die eigentlichen perennierenden Eishöhlen. Man beobachtet an Eisformen manchmal muschel- oder wabenförmige Ausschmelzungslöcher, welche durch warme Luftströmungen erzeugt werden, wie z. B. im Mörkdom in der Rieseneishöhle im Tennengebirge. Wasserhöhlen sind eisfrei; für die Entstehung der Eisbildungen sind Trockenhöhlen mit nur etwas Sickerwasser am günstigsten. Die näheren Bedingungen der physikalisch-meteorologischen Verhältnisse müssen hier unerörtert bleiben.

Abbrüche des Gesteins von den Höhlenwänden und Niederbrüche des Höhlendaches führen, wie erwähnt, zur Dombildung, wie z. B. der geräumige König Artusdom oder die Iwanhalle, beide in der Dachstein-eishöhle, erkennen lassen. Das Versturzmaterial häuft sich in mächtigen Halden und Kegeln am Boden an, so der Schuttberg des „Belrosch“ in der Rieseneishöhle und erschwert oft die Befahrung der Höhle. Den Versturzmassen an der Sohle entsprechen jeweils Stellen, wo das Höhlendach erheblich zurücktritt. Besonders geologisch ältere Höhlen weisen mächtige Versturzmassen auf, so das Geldloch im Ötscher mit seinen großen Domen, eine einstige, zwischen 1400—1600 m Höhe gelegene tertiäre Flußhöhle, deren Höhlenboden aus mächtigen Trümmer- und Schuttmassen besteht. Solche alte Höhlen würden durch die Versturzmassen, die ja ein größeres Volumen einnehmen als das Gestein im Verbande der Höhlendecke, von wo die Trümmer abgebrochen sind, ganz verschüttet werden, wenn nicht das Versturzmaterial selbst wieder in Anbetracht der weiteren chemischen Lösung eine Minderung erfahren würde. Immerhin trifft man in Höhlen genug Stellen an, wo das Verbruchmaterial bis an die Decke heranreicht und die Höhle dadurch scheinbar ein Ende findet. So endigen z. B. die verschiedenen Gänge der Rieseneishöhle im Tennengebirge meist an mächtigen Verstürzen. Über den eingebrochenen Höhlen-teilen erscheint an der Tagesoberfläche in der Regel eine Doline oder ein Schacht oder Schlund.

So sind der große und kleine Trichter bei St. Kanzian zwei Schlünde über dem eingebrochenen Teil der Rekahöhle. Ein Teil des früheren Höhlendaches erscheint hier, wie z. B. auch beim Rakbachkessel unterhalb des Zirknitzer Poljes als Naturbrücke. Schließlich können Höhlen auch auf längere Strecken einbrechen, wobei langgestreckte kesselähnliche Täler entstehen mit dem heutigen Höhlenfluß an ihrer Sohle.

Geologisch interessanter sind andere Höhlenerfüllungsprodukte, wie der Höhlenlehm und Höhlenton, welche durch Einschwemmung, durch alte Flußtätigkeit, z. B. in die Mammuthöhle am Dachstein gebracht wurden und häufig infolge nunmehriger Austrocknung Trocknungsrisse aufweisen. Die Verstopfung von Höhlentunnels damit ist manchmal eine vollständige.

In alten, heute trockengelegten Flusswasserhöhlen, hoch über den heutigen Talböden, finden sich ferner Schotter- und Geschiebeablagerungen, die einstige Durchfließung der Höhlen durch Gewässer beweisend.

Zuweilen sind die Höhlentunnels zur Gänze mit solchem Schotter erfüllt, sodaß man annehmen muß, daß das Höhlengewässer, etwa bei Hochwasser besonders reiche Geschiebelast führend, plötzlich gezwungen war, dieselbe gänzlich zur Ablagerung zu bringen. Daß dieser Durchtriftung des Geschiebes ein wesentlicher Anteil an der Bildung der glattgescheuerten Tunnels zukommt, wurde bereits erwähnt. Zuweilen sind diese Schotter zu festen Konglomeraten verkittet, z. B. in der Mammuthöhle und neuerdings wieder etwas ausgelaugt (korrodiert).

Das Studium dieser Schotter gewährt höchst lehrreiche Ausblicke nicht nur für die Entstehung der Höhlen, sondern auch für die geologische Geschichte und das alte Talnetz der Gebirgsstücke in der jungtertiären Zeit. Neben kalkalpinen Geschieben finden sich nämlich in den Dachsteinhöhlen, besonders in einigen Schlünden und Gängen, z. B. in dem „Korsa“ genannten Gang auch aus den Zentralalpen stammende Geschiebe- und Sandmassen (kristallinische Schiefer und Quarze), sodaß also zum Teil aus den Zentralalpen kommende Flüsse die Höhlen schufen, zu einer Zeit, als die Längstalfurche der Enns noch nicht so tief eingeschnitten war. Besonders auffallend sind die oft glänzenden weißen Quarzgeschiebe, welche Augensteine genannt werden. Sie wurden in gleicher Weise beobachtet in der 1640 bis zirka 1800 m hoch gelegenen Rieseneishöhle im Tennengebirge und in der in 950 m Höhe befindlichen Drachenhöhle bei Mixnitz. In alle diese Höhlen traten also Flüsse von den Zentralalpen her ein. Die Schottererfüllung beweist, daß die Höhlenbildung schon lange vor der Eiszeit statt gefunden hat, jungtertiär ist und daher einige Millionen Jahre zurückreicht.

Die Sinterbildungen der Höhlen sind im Gegensatz zu den eben erwähnten mechanischen Ausfüllungsprodukten chemische Absätze. Das sickernde und tropfende Wasser scheidet den auf dem Sickerweg gelösten Kalk bei der Verdunstung in stärker ventilirten Höhlen wieder ab. Dabei werden bald die Höhlenwände übersinteret und es entstehen oft geradezu

versteinerte Baldachine, bald setzen sich an der Decke Stalaktiten (Deckenzapfen, Tropfzapfen) an, denen am Boden die Stalagmiten (Bodenzapfen, Tropfpfeiler) entsprechen (Figur 6).

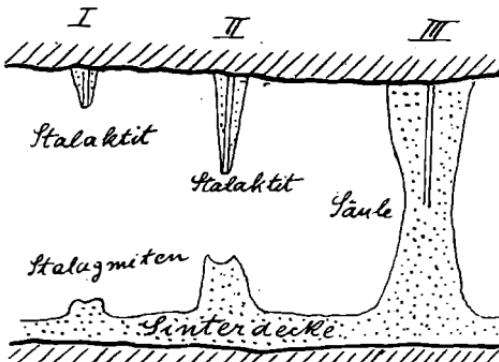
Die Anfangsform des Stalaktiten sind ganz feine hohle Kalkröhren, aus welchen das Wasser tropfenweise heraustritt. Das beim Abfallen des Tropfens übrigbleibende, oben anhaftende Wasser gibt zur Kalkausscheidung Anlaß, während der übrige Wassertropfen unten auffällt und zerstiebt, wobei der restliche Kalk im Stalagmit ausgeschieden wird, der an der Tropfstelle eine kleine Tropfschüssel hat. In Tropfschüsseln überziehen sich oft Steinchen u. dgl. mit Kalkhäutchen; so bilden sich die Höhlenperlen. Stalaktit und Stalagmit werden mit Fortdauer der Zusickerung und Ausscheidung länger und schließlich wachsen beide zu einer Säule zusammen

(Figur 6). Viel bewundert ist die Sintersäule des Brillanten in der Adelsberger Grotte oder die Sintersäule, welche im Verein mit anderen Stalagmiten das sogenannte Heilige Grab in der Adelsberger Grotte verursacht.

Aus dem übrigen kalkhaltigen Wasser scheidet sich am Boden die Bodensinterdecke ab; zuweilen ist sie noch weich-breig, so daß man von Bergmilch spricht, die übrigens auch an den Höhlendecken und Höhlenwänden auftreten kann.

Bei einer Kombination der Wirkung von Tropfwasser mit an den Felswänden abrieselndem Wasser scheiden sich zunächst feine Sinterleisten, wie in der Csoklovina-Höhle ab, bis sich bei längerer Dauer dieser Wirksamkeit große Sintervorhänge in die Höhle bauen, wie in der Josefinengrotte bei Peggau. Ähnliche Vorhänge und Draperien ergeben sich durch Aneinanderwachsen von Stalaktiten, z. B. im Lurloch. Wunderbare Formen sind ferner die Sinterbrunnen, wie in der Brunnengrotte von St. Kanzian, welche auf geneigten Oberflächen durch absickerndes Wasser erzeugt werden. Die Gestalten der Sinter sind aber noch mannigfaltiger als hier zu zeigen versucht wurde. Es fehlen oft Vergleichsgegenstände und Worte, um diesen Mannigfaltigkeiten Rechnung zu tragen. Fast alle die besprochenen Sinterformen (Sinterleisten, Vorhänge, Stalaktiten, Stalagmiten, Säulen, Wand- und Deckensinter) sehen wir bei den „Zwillingssäulen“ in Adelsberg vereinigt.

Sind die Sinter- und Eisbildungen Zierde und Hauptschauobjekt der Höhlen, so verleihen letzteren die phosphathaltigen Erden und Lehme außerordentlich hohen wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Wert.



Figur 6. Entwicklung der Tropfsteinbildungen
in Höhlen.
(nach Knebel.)

Wie wir sahen, sind zahlreiche Trockenhöhlen schon geologisch alt, sie waren sicher schon vor der Eiszeit da, sie sind vielfach nachgewiesenermaßen jungtertiären Alters. Solche Höhlen wurden, nachdem sie schon Trockenhöhlen geworden waren, abgesehen davon, daß schon der Urmensch, der Mensch der Steinzeit, sie als Wohn- und Zufluchtsstätte benützte, von diluvialen Tieren besucht, unter denen der Höhlenbär an erster Stelle zu nennen ist. Es gibt Bärenhöhlen, wie die Drachenhöhle, welche erfüllt sind von Skeletten zahlloser Bären, welche bald noch in ziemlich ursprünglicher Lagerstätte sich befinden (offenbar an Sterbestätten der Tiere), bald eine Verschwemmung von da erfahren haben. An einer Stelle der Drachenhöhle wurden mehr als 30 Schädel des Höhlenbären allein kürzlich ausgegraben. Knochenanhäufungen und Knochenreste, gemengt mit den Verwesungsrückständen und Exkrementen der Höhlenbären und mit Fledermausguano lieferten dort wie auch in anderen Höhlen die so wertvolle Phosphaterde. Es gibt auch reine Fledermaushöhlen, welche von vielen Hunderten von Fledermäusen aufgesucht sind, welche den auch stickstoffreichen Guano absetzen. Auch Höhlentauben sind ähnlich tätig. Die Csoklovinahöhle in Rumänien und das Taubenloch im Ötscher sind einschlägige Beispiele.

Wie die Phosphaterde aus Guano entsteht, beobachtet man nach Dr. Schadler direkt an einem Versturzblock der Drachenhöhle, der aus der Decke herausgebrochen ist und von Guano von Fledermäusen bedeckt ist, welche gerade in der Nische hängen, die durch Ausbrechen der Decke hervorgerufen wurde.

Die Phosphaterden sind wegen ihres Phosphorsäuregehaltes als Düngemittel von größter Bedeutung für die Landwirtschaft und kommen in ihrer Wirkung anderen Phosphatdüngemitteln sehr nahe. Rudolf Willner gebührt das besondere Verdienst, auf die Bedeutung des Höhlendüngers hingewiesen und die Untersuchung der Höhlen daraufhin im Schoße des Ackerbauministeriums organisiert zu haben.

Die größte Lagerstätte von Phosphaterden in Österreich ist die in Abbau befindliche, 940 m lange Drachenhöhle, eine heute trockene Tunnelhöhle jungtertiären Alters mit drei mächtigen Schuttverstürzen, zwischen welchen die Phosphaterde sich muldenförmig einlagert. Die Mächtigkeit ist eine ansehnliche und beträgt bis 9 m. Die Gesamtmenge wird auf über 25.000 m³ geschätzt, was einer Menge von 3½ Millionen Kilo Phosphorsäure entspricht. Die Phosphaterde ist deutlich geschichtet, wie durch verschiedene Färbung kenntlich wird. Die oberen Lagen sind mehr braun, die tieferen grau. Die Schichtung ist eine Folge von Zusammenschwemmungen, auch die Knochen treten in zwei länger fortlaufenden Lagen auf. Der Phosphorsäuregehalt der Lagerstätte beläuft sich auf etwa 14%, ist also sehr befriedigend. Interessant sind auch die Einwirkungen der Phosphatlösungen auf die Kalksteinstücke in der Ablagerung oder auf den Kalk der Höhlenwände. Erstere werden ganz mürbe zerstellt, letzterer überzieht sich entlang der Ablagerung der Phosphaterden mit einer hochhaltigen Phosphatkruste. Beachtenswert sind auch zahlreiche

Trocknungsrisse und Spalten in der Phosphaterde, die auf eine Austrocknung der Ablagerung seit ihrer Entstehung hinweisen.

In Österreich sind noch einige andere, allerdings kleinere, Phosphathöhlen bekannt, deren Abbau vielleicht erfolgen wird. Viele Höhlen erwiesen sich hingegen fast ganz phosphatfrei, was insbesondere für die Dachsteinhöhle gilt, in welche offenbar die die Phosphate z. T. verursachenden Höhlenbären nicht eindringen konnten, weil der Zugang während der Eiszeit wahrscheinlich nicht geöffnet war.

An die letzten Jahre knüpfen sich in Österreich gewaltige Leistungen der Höhlenforschung und -erschließung, wenn ich nur zwei Leistungen herausgreife, einerseits den Abbau der Phosphathöhle bei Mixnitz, der Forschern aller höhlenkundlicher Disziplinen reichstes Beobachtungsmaterial liefert, Studien geradezu in wissenschaftlichem Neuland ermöglicht und bedeutende volkswirtschaftliche Werte schafft, andererseits die Erschließung der Rieseneishöhlen in den nördlichen Kalkalpen, welche ganz ungeahnte unterirdische Welten kennen gelehrt hat und auch wieder volkswirtschaftlich durch Schaffung einer Fremdenindustrie genutzt wird. Jede dieser beiden großen Leistungen hat schon reiche Früchte getragen für die theoretische und praktische Höhlenkunde. Führend ist durch diese beiden Arbeitskomplexe und die Art der Auswertung der Höhlenerscheinungen Österreich auf dem Gebiete der Höhlenforschung geworden. Angespornt durch diese großen Errungenschaften entwickelt sich überall begeisterte Arbeit und ein Wettbewerb der Forschung im Dienste der Höhlenkunde im Inland; aufmerksam aber beginnt das Ausland zu lauschen den höhlenkundlichen Berichten von Österreich, welche der Höhlenforschung ganz neue Impulse zu geben imstande sind. Staatliche Höhlenkommission und Verein für Höhlenkunde sind im Bereich ihres Wirkungskreises rege tätig an der Erforschung, Erschließung und Auswertung des Höhlenphänomens. Im Rückblick auf die vergangenen Leistungen erhoffen wir daher zuversichtlich weitere neue große Ergebnisse in der nahen Zukunft. Ihr rufe ich den alten Bergmannsgruß zu: „Glück auf!“