

DIE HÖHLE

ZEITSCHRIFT FÜR KARST- UND HÖHLENKUNDE

Jahresbezugspreis: Österreich S 100,—
Bundesrepublik Deutschland DM 16,—
Schweiz sfr 14,—
Übriges Ausland S 110,—

DVR 0556025

Gefördert vom Bundesministerium
für Wissenschaft und Forschung (Wien)

Organ des Verbandes österreichischer Höhlen-
forscher / Organ des Verbandes der deutschen
Höhlen- und Karstforscher e. V.

AU ISSN 0018-3091

AUS DEM INHALT:

Kondenswasserkorrosion (Völker) / Veterani-
Höhle (Holzmann/Salzer) / Befahrung des
Stierwascherschachtes der Hochleckengroß-
höhle (Weißmair) / Kurzberichte / Veranstal-
tungen / In memoriam / Schriftenschau /
Impressum

HEFT 1

40. JAHRGANG

1989

Die Kondenswasserkorrosion als höhlenraumbildender Faktor

Von Reinhard Völker (Uftrungen/Harz, DDR)

Die an dieser Stelle gemachten Ausführungen stammen aus langjährigen Beobach-
tungen der Autoren Dieter MUCKE (Freiberg), Reinhard VÖLKER (Heimkehle bei
Uftrungen) und dem leider bereits verstorbenen Siegbert WADEWITZ (Leipzig).

Zu den ersten 1978 veröffentlichten Hypothesen (MUCKE und VÖLKER, 1978)
entwickelte der Physiker S. WADEWITZ physikalische Vorstellungen (S. WADEWITZ,
1981 a, 1981 b). Später wurden diese Vorstellungen durch die Autoren zusammengefaßt
und ergänzt, wie etwa in den „Vorträgen des Festkolloquiums“ anlässlich des 15. Jahres-
tages des Bestehens des Freiburger Speläologischen Studentenzirkels.

Verdunstung und Kondensation des Wassers in Höhlen

Der Wasserverdunstung in Höhlen wurde bereits frühzeitig Aufmerksamkeit
geschenkt, allerdings ging es dabei um die Einschätzung der Bildungsbedingungen für
Sinter- und Gipskristalle.

Der Nordhäuser Höhlenforscher F. SCHUSTER versuchte zwischen 1959 und 1963 Verdunstungsdaten aus Höhlen zu erhalten, indem er Verdunstungsschalen in verschiedensten Höhlenteilen aufstellte und diese an Ort und Stelle in einem aufwendigen Verfahren mit einer Apothekerwaage auswog. So ermittelte er für die Questenhöhle, eine Sulfatkarsthöhle des Südharzes, eine jährliche Verdunstung zwischen 4,5 und 5,8 l/m².

Wenige Jahre danach belegte H. VEIT in theoretisch durchgeführten Berechnungen anhand echter, durchschnittlicher Höhlendaten, daß eine Wassermenge von 185 cm³ pro Tag und Quadratmeter in Höhlen verdunsten kann (VEIT, 1966). Die Wasserverdunstung kann man dadurch erklären, daß an der Grenze Wasseroberfläche – Luft ständig Wassermoleküle entweichen. Je höher die Wassertemperatur ist, um so schneller kann sich der Prozeß vollziehen. Ein Teil der entwichenen Wassermoleküle geht in den gasförmigen Zustand über. Über der Wasseroberfläche bildet sich im Laufe der Zeit eine „zähe“ Schicht aus Wasserdampf. In abgeschlossenen Räumen wird somit bald ein Gleichgewichtszustand und damit das Ende des Verdunstungsprozesses erreicht. Fließbewegungen des Wassers, Turbulenzen oder ein „Höhlenwind“ halten den Verdunstungsprozeß jedoch aufrecht. Luftbewegungen über dem Wasser reißen zusätzliche Wassermoleküle in die Luft, steigern also ständig die Verdunstung. Die Luft selbst ist in der Lage, eine bestimmte Wasserdampfmenge aufzunehmen. Je höher die Lufttemperatur ist, desto höher ist die Fähigkeit der Aufnahme. Ist die Luft bei der jeweiligen Temperatur vollständig mit Wasserdampf gesättigt, hat die relative Luftfeuchtigkeit den Wert 100 Prozent erreicht. An feinen Staubpartikeln oder an den Gesteinsoberflächen scheidet sich der Wasserdampf wieder ab. Das geschieht besonders an kühleren Gesteinsflächen. Die freiwerdende Kondensationswärme wird über das Gestein abgeleitet.

Mit den chemischen und physikalischen Aspekten der Kondensationswasserkorrosion hat sich WADEWITZ ausführlich beschäftigt. Er verwendet zur Abschätzung der Kondensationswasseremenge, zu deren Berechnung er von der Verdunstungsmenge ausgeht, die folgende Formel, die seiner Meinung nach genügend genau ist (WADEWITZ, 1981 a):

$$m = (25 + 20 W) (x_s - x_L)$$

Dabei bedeuten m die Verdunstungsgeschwindigkeit (g/m²·h), W die Windgeschwindigkeit (m/s), x_s die Sättigungsluftfeuchte der Grenzschicht (g/kg) und x_L die Feuchte der Raumluft (g/kg).

In einer Vergleichsrechnung mit variablen Werten ermittelt S. WADEWITZ Angaben zur Menge des Kondensationswassers (Tabelle 1).

Der Kondensationsprozeß läuft sehr langsam ab. An den Wänden bilden sich dünne Wasserfilme, die äußerst aggressiv sind und sich vor dem Abtropfen stets mit verkarstungsfähigem Gestein sättigen. Insgesamt ergeben sich, wie S. WADEWITZ berechnet, beachtliche Mengen durch Kondensationswasserkorrosion weggelösten Gesteins (Tabelle 2).

Bei Energiebetrachtungen kommt WADEWITZ zu dem Schluß, daß der Vorgang nur von der höheren zur tieferen Temperatur erfolgen kann. Das Wasser verdunstet, ihm

10. INTERNATIONALER KONGRESS FÜR SPELÄOLOGIE

Budapest, 13. bis 20. August 1989,
der Treffpunkt aller Speläologen

Wassertemperatur	10°C			20°C		
Lufttemperatur	9°C	7°C	0°C	19°C	17°C	10°C
Windgeschwindigkeit						
0 m/s	110	320	880	210	580	1600
2 m/s	300	830	2300	530	1500	4100
5 m/s	570	1600	4400	1000	2900	8000

Tabelle 1: Verdunstungs- und Kondensationswasser - "Höhe" in mm/Jahr (WADEWITZ, 1981a)

Wassertemperatur	10°C			20°C		
Lufttemperatur	9°C	7°C	0°C	19°C	17°C	10°C
Dicke der gelösten Gipsschicht (mm/1000a)	92	270	730	180	480	1300
Dicke der gelösten Kalksteinschicht (mm/1000a)	2	7	19	5	12	34

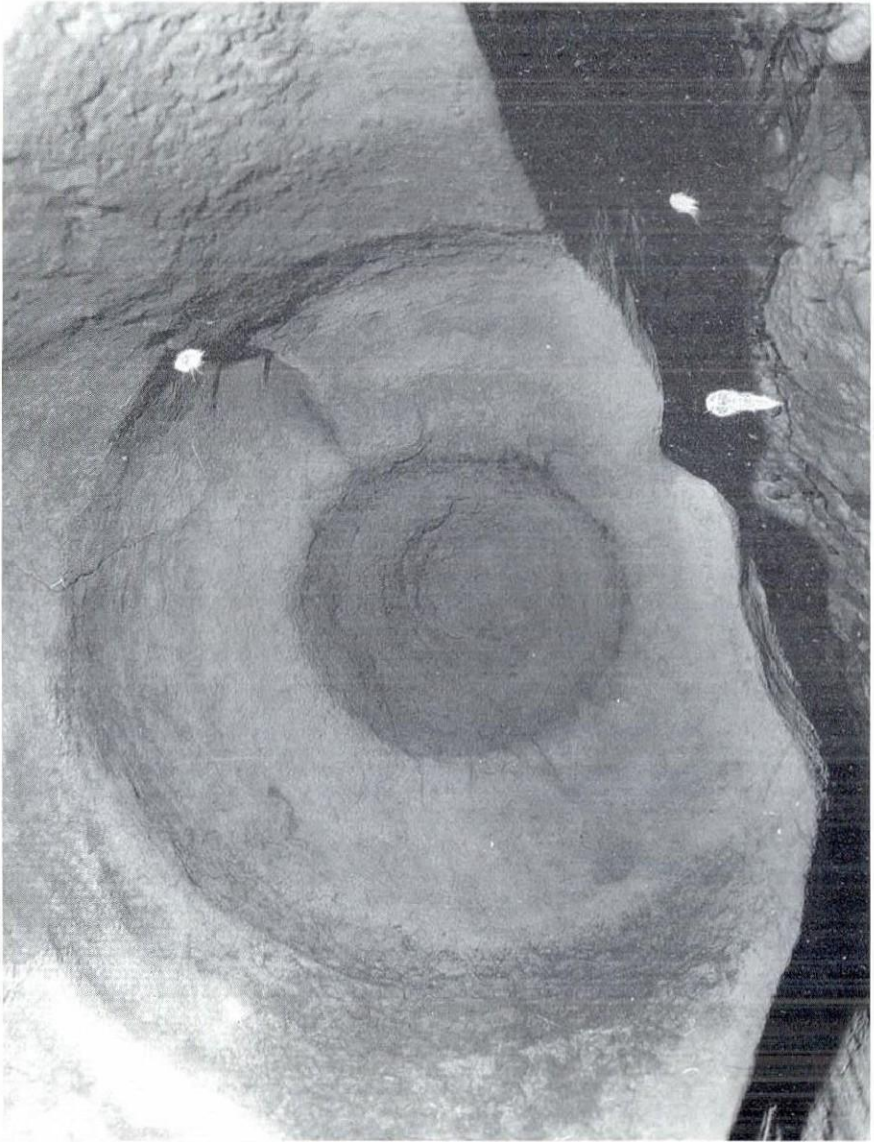
Tabelle 2: Auf der Grundlage von Tabelle 1 ermittelte, in 1000 Jahren durch Kondenswasserkorrosion gelöste Wandstärke, ohne Berücksichtigung eines Höhlenwindes (aus WADEWITZ, 1981a).

wird dabei Wärme entzogen. Die Luft transportiert den Wasserdampf zum Gestein, welches die Kondenswärme ableiten muß. Eine Aufheizung der Luft würde die Kondenswassermenge begrenzen.

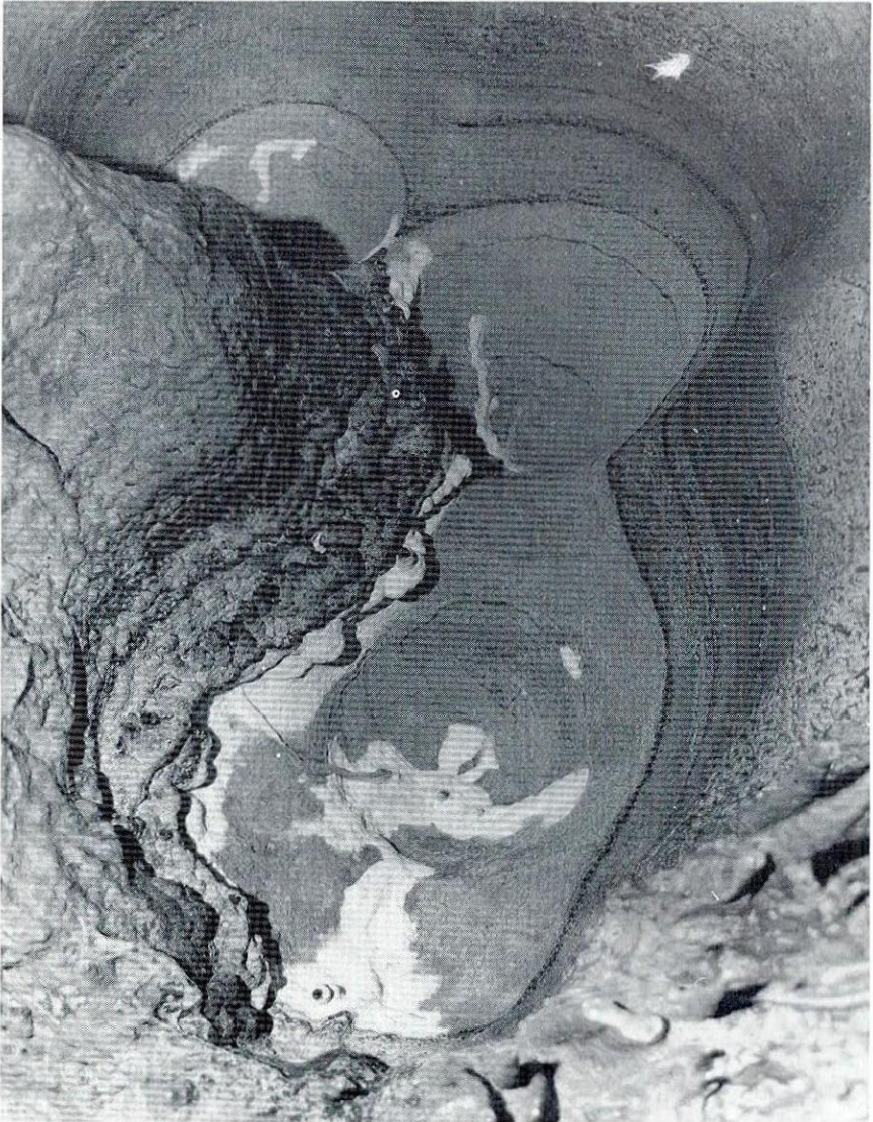
In der Natur ist eine morphologisch wirksame Kondenswasserkorrosion in Höhlen nur dort zu erwarten, wo die Wassertemperatur deutlich über der Temperatur von Luft und Gestein liegt.

*Höhlenmorphologische Bedeutung der Verdunstung
und Kondensation des Wassers in Höhlen*

Die Auswirkung der Kondensation an Höhlendecke und Höhlenwänden war ursprünglich lediglich in Form von kleinen Kondenswasserfacetten bekannt. Größere Hohlraumformen wurden dem Kondenswasser jedoch nicht zugeschrieben.



*Abb. 1: Vertikaler Blick nach oben in eine Kondenswasserkuppel (Bankovitsa-Höhle, Bulgarien).
Die Spülsäume sind deutlich zu erkennen*



*Abb. 2: Einander überschneidende Kondenswasserkuppeln
(Vertikalblick nach oben; Bankovitza-Höhle, Bulgarien)*

Bei einer Expedition 1978 in eine bulgarische Höhle (Bankovica im Karstgebiet von Karlukovo) wurden kuppelförmige Hohlräume entdeckt, welche an keine Kluft gebunden waren und die Form eines fast idealen Rotationsparaboloides aufwiesen. Die Kuppeln zeigten einen ideal ausgebildeten, scharf trennenden Spülsaum. Unterhalb des Spülsaumes waren die Wände lehmüberzogen und mit verschiedenen durch das Wasser mitgeführten Stoffen bedeckt. Oberhalb des Spülsaumes waren die Kuppeln glatt und eben, die Oberflächen der Wände waren sauber (Abb. 1). Es gab Kuppeln von wenigen Dezimetern bis zu mehreren Metern Höhe. Diese Kuppeln wurden als Bildungen des Kondenswassers erkannt und „Kondenswasserkuppeln“ benannt (MUCKE und VÖLKER, 1978). Eine Erklärung dieser Bildungen war recht einfach zu geben. Bei Starkregen sammelt sich das warme Regenwasser eines großen Niederschlagsgebietes und stürzt einen 30 Meter tiefen Schacht hinunter. An mehreren engen Siphonen wird es gestaut. Zwischen Wasseroberfläche und Decken werden Luftblasen eingeschlossen. Warmes Wasser und kalte Höhlenwand bewirken in der Luftblase Verdunstung und Kondensation. So kommt die Kondenswasserkorrosion in Gang. Aus Beobachtungen ist bekannt, daß das Wasser oft wochen-, ja sogar monatelang die Höhle unpassierbar macht.

Aufeinanderfolgende Vorgänge wiederholen an der gleichen Stelle das Spiel, die Kondenswasserkuppeln werden größer und beginnen einander zu überschneiden (Abb. 2). Die Lufttemperatur beträgt in diesen Höhlenteilen etwa 10°C , die Temperatur des Wassers beträgt zu Beginn des Eindringens in die Höhle um 20°C ! Die Kuppeln setzen in den unterschiedlichsten Höhen an, je nach dem für die Bildung einer Luftblase geeigneten Ort (Abb. 3, 4).

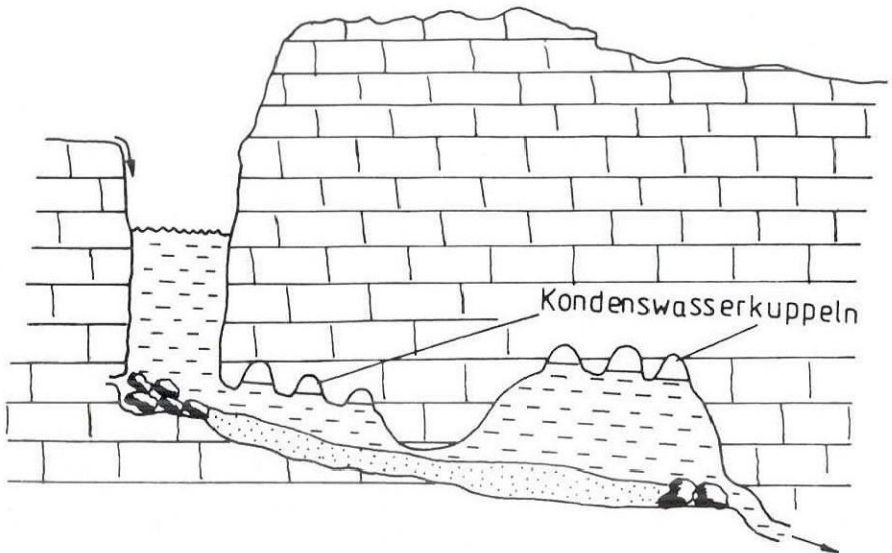
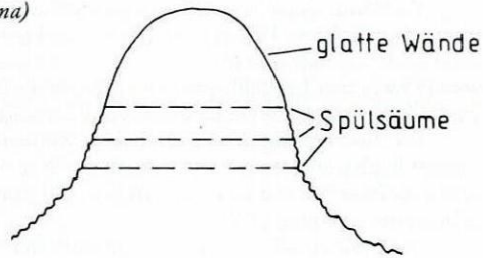


Abb. 3: Schematische Ansicht der Bildung von Kondenswasserkuppeln in der Bankovitz-Höhle (Bulgarien)

Abb. 4: Detailformen einer Kuppel (Schema)



Nach dem Vorliegen dieser Erklärung für die Entstehung größerer Hohlraumformen durch Kondenswasserkorrosion wurden andere Höhlen auf vergleichbare Erscheinungen untersucht. D. MUCKE machte auf die Schauhöhle Orlava Chouka in Bulgarien aufmerksam, für deren Flußtunnel Decken charakteristisch sind, die aus vielen, einander gegenseitig ausschneidenden Kondenswasserkuppeln bestehen. Sie erreichen bis zu zwei Meter Durchmesser und haben flache, rotationsparaboloide Deckenflächen. Interessant ist, daß einige Kuppeln primär an Klüften angelegt, in ihrer Entwicklung aber dezimeterhoch über diese Klüfte hinausgewachsen sind. Sie wurden also durch Mischkorrosion angelegt und haben sich zu Kondenswasserkuppeln weiterentwickelt (MUCKE, VÖLKER und WADEWITZ, 1983).

Am interessantesten sind die Kondenswasserkuppeln in den Sulfatkarsthöhlen des Südharzes. Durch die bedeutend größere Korrosionsgeschwindigkeit des anstehenden Materials können in wesentlich kürzerer Zeit größere Formen entstehen. Am beeindruckendsten sind diese Kuppeln in den Höhlen vom Typ „Wimmelburger Schlotten“ zu sehen. Diese Sulfatkarsthöhlen wurden vor Jahrhunderten durch den historischen Kupferschieferbergbau angefahren, technisch entwässert, oder aber für die Grubenentwässerung genutzt. In den Höhlen gibt es große und kleine axialsymmetrische, glockenförmige Räume (Abb. 5).

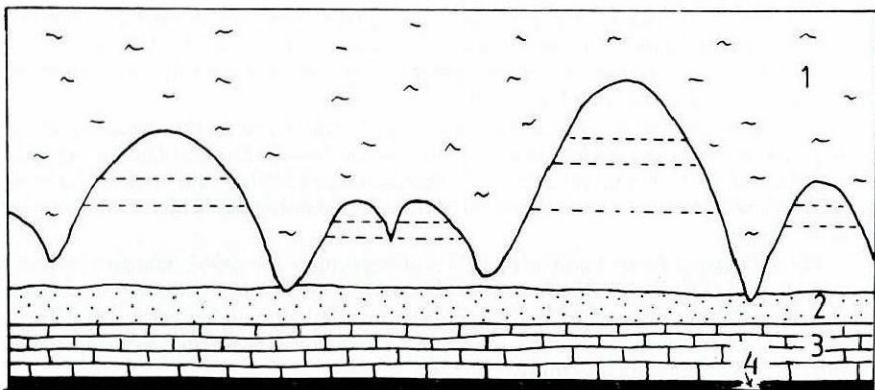


Abb. 5: Kondenswasserkuppel-Labyrinth in der Wimmelburger Schlotten (Südharz). —
1: Werraanhydrit; 2: Schlottenschlamm; 3: Zechsteinkalk; 4: Kupferschiefer.

Viele von ihnen weisen noch deutliche Spülsäume auf, teilweise mehrfach in den unterschiedlichsten Höhen. Die Räume sind teilweise bis 15 Meter hoch. Meterhohe Sedimentfüllungen (bis 15 Meter!) schließen die Kuppeln oft gegeneinander ab. Die Trennwände zwischen benachbarten Kuppeln sind oft nur wenige Zentimeter bis Dezimeter stark; durch enge Schlufe kann man auf dem Sediment von Glocke zu Glocke kriechen.

Da diese Räume im gebänderten Werraanhydrit liegen, entsteht durch den Anschnitt der Bänderung in den Kuppeln ein System umlaufender Ringe, die den symmetrischen Aufbau voll zur Geltung bringen. Oft schneiden sich die Kuppeln an und bilden „Kondenswasserkuppellabyrinth“.

Die Höhlen selbst befinden sich tief unter der örtlichen Vorflut, fast immer treten Überdeckungen von 50 bis 150 Meter auf. Früher wurden sie als Bildungen des Tiefenkarstes angesehen. Sie weisen aber alle Erscheinungen phreatischer Bildungsbedingungen auf, sind also Bildungen des seichten Karstes. Erklärungen dafür, daß in diesen Tiefen bei den vorstellbaren unterirdischen Fließwegen des Wassers noch Temperaturdifferenzen zwischen Luft, Gestein und Wasser auftreten, sind nicht leicht zu finden. Eine umfangreiche Beschäftigung mit diesen Höhlen hat jedoch gezeigt, daß überall verschlammte und verbrochene, an der Erdoberfläche völlig nivellierte, senkrechte Wasserbahnen existieren, die heute nur noch unterirdisch offen und schachtartig ausgebildet sind. Bergleute haben solche Karsterscheinungen benutzt, um schneller in die Tiefe zu gelangen. So wurden manche bis 50 Meter tief aufgegraben; es wurde sogar von einem senkrecht stehenden, im Sediment völlig eingeschlossenen Baum berichtet. Die Anlage der „Schlotten“ erfolgte mit Sicherheit schichtgebunden an der Kontaktfläche von wasserführendem Zechsteinkalk zu verkarstungsfähigem Werraanhydrit.

Dadurch entstanden Karsthohlräume an der Schichtgrenze beider Gesteine, am Ausstrich des Zechsteinkomplexes beginnend. Die gleichzeitige Verkarstung und damit verbundene Auflockerung des über der Höhle liegenden Gesteinspaketes brachte es mit sich, daß sich nachträglich Karstwasserbahnen bildeten, die Höhle und Oberfläche vertikal miteinander verbanden. Nun konnte auf kürzestem Wege wärmeres Oberflächenwasser die Hohlräume erreichen und dort Kondenswasserkorrosion auslösen.

Da die Hohlräume mit Laugrückständen und Einschwemm Massen bis unter die Höhlendecke verfüllt wurden, kriecht man heute auf den Sedimenten nur noch in den Kondenswasserglocken herum und nimmt von den ursprünglichen Raumformen nichts mehr wahr. So sind die beiden großen Kondenswasserkuppellabyrinth der Wimmelburger Schlotte erklärbar. Die Höhlen vom Schlottentyp sind genetisch an die Schichtgrenze Zechsteinkalk – Werraanhydrit gebunden.

In manchen Gegenden des Südharzes kann das Einfallen dieser Schicht bis zu 80° C betragen, wird dann aber auf kurzer Strecke bedeutend flacher. Die Höhlenbildung folgt dieser Neigung. So treten in der großen Elisabethschächter Schlotte auf etwa 300 Metern Länge Höhendifferenzen von mehr als 50 Meter auf, die durch das Schichteinfallen verursacht werden.

Diese Neigung bietet natürlich gute Voraussetzungen für das Verfangen von Luftblasen unter der Decke bei plötzlichem Wasserzutritt. So zieht sich diese Höhle als eine Aneinanderreihung von unterschiedlich großen und hohen Kondenswasserkuppeln in die Tiefe. Die Sedimentverfüllung erzeugte den gleichen Effekt wie in den Kuppellabyrinth der Wimmelburger Schlotte (Abb. 6).

FREIESLEBEN und NAUWERK (1809 und 1856) beschrieben die Form dieser kupelförmigen Hohlräume mit dem Wort „Rotunden“. Forschungsarbeiten der letzten Jahre bewiesen auch hier, daß die Elisabethschächter Schlotte eine Reihe von direkten Ober-

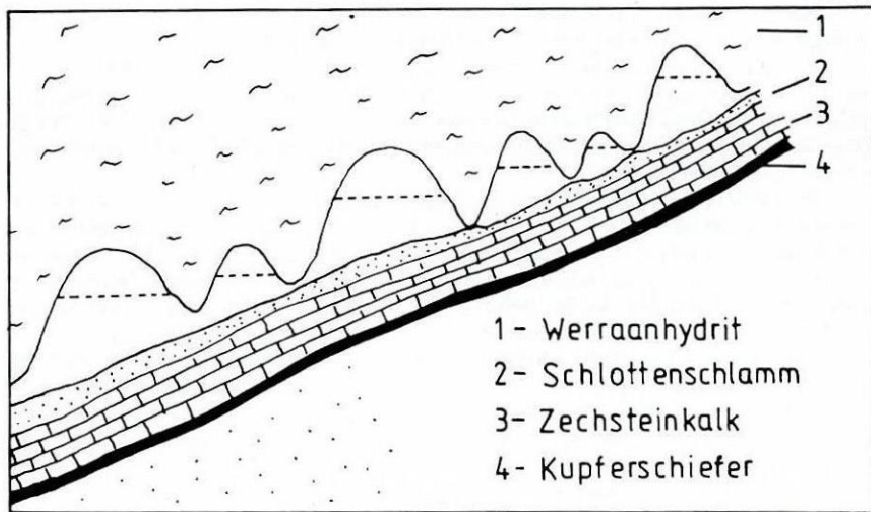


Abb. 6: Kondenswasserkuppeln in der Elisabethschächter Schlotte (Südbarz)

flächenzuflüssen hatte; warmer Gewitterregen hatte durch solche direkten Schächte höchstens 200 Meter Wegstrecke zurückzulegen. Heute sind diese Schächte alle verschlammmt und verbrochen, durch exakte Vermessung und dem Studium alter historischer Unterlagen lassen sich jedoch auch hier die Reste oberflächiger Dolinen und Ponore untertägigen Schachtresten zuordnen.

Das Auftreten von Kondenswasserformen

Kondenswasserformen sind dort möglich, wo bereits Hohlraum vorhanden ist und die physikalischen Voraussetzungen für Wasserverdunstung und Kondensation gegeben sind. Die einfachste Möglichkeit dazu ergibt sich immer im unmittelbaren Zulaufbereich von Höhlenbächen. Die meiste Zeit des Jahres liegt die Wassertemperatur über der Lufttemperatur.

Zonen starker Turbulenzen fördern den Verdunstungsvorgang ständig. Damit kann fast kontinuierlich wärmeres Wasser verdunsten und Korrosionsformen erzeugen.

WADEWITZ schließt einen weiteren Fall für Raumbildungen durch Kondenswasserkorrosion nicht aus. Er schreibt (WADEWITZ, 1981 b, S. 43): „Durch wesentliche Erhöhung des Hohlraumes – z. B. auf mehrere Stockwerke im vadosen Bereich – kann sich eine Temperaturdifferenz ergeben, die zu merkbarer Verdunstung und Luftzirkulation führt: Die feuchtere Warmluft steigt nach oben, gibt die Feuchte als Kondenswasser an kältere Flächen ab und fließt wieder nach unten zum ‚Auftanken‘. Nimmt man folgenden Fall an: die Kondensfläche gleich $\frac{1}{10}$ der Verdunstungsfläche, Temperaturunterschied 3 K und mittlere Windgeschwindigkeit, dann ergeben sich . . . Kondenswasserkorrosionswerte von 180–340 mm/1000 a für Kalk und von 6900–13.000 mm/1000 a für Gips.“

Auf die Wirkung der Kondenswasserkorrosion bei Thermalwässern hinzuweisen, erübrigt sich in dieser Abhandlung. Darüber ist genug bekannt.

Die physikalischen Voraussetzungen der Kondenswasserkorrosion gestatten aber den Hinweis, daß nicht unbedingt „heißes“ Wasser notwendig ist, um Korrosionsspuren zu hinterlassen. Das Wasser muß nur wärmer als die Höhlenluft sein. Alles andere ist eine Frage der Zeit und bei kleinen Verdunstungsmengen können nur kleine Kondenswasserformen ausgebildet werden.

WADEWITZ schließt auch eine Bildungsmöglichkeit nicht aus, bei der das Wasserreservoir sehr tief ist und sich daher im Wasserkörper eine Wärmeströmung bilden kann. Die „Schlotten“ sind jedoch an Schichten gebunden. Hohlraumhöhen von 30 Meter sind maximal, außerdem nie an Stellen von Kondenswasserformen vorhanden. Derartige Vorgänge werden daher bei der Entstehung von Kondenswasserkuppeln im Bereich der „Schlotten“ keine Rolle gespielt haben.

Eine andere Form der Kondenswasserkorrosion beobachtet man an stark bewetterten Höhleneingängen. Nach starken Niederschlägen im Sommer und nachfolgendem Sonnenschein zieht sehr feuchte Luft in die Höhle ein. Diese kühlt sich ab und kondensiert. Die Höhlenwände werden von einem Feuchtigkeitsfilm überzogen, der zumindest im Sulfatgestein schnell korrosiv ist. Bei starker Abkühlung bilden sich in der Höhle Nebelschwaden oder Nebelbänke. Diese Erscheinung beobachtet man in der Heimkehle bei jedem Wetterumschwung mehr oder weniger stark bis 200 Meter weit vom Natureingang entfernt. Oft reicht die Kondenswassermenge für geschlossene, abtropfende Wasserfilme nicht aus. So entstehen Kondenswassertropfchen. An glatten Decken entstehen kleine, kreisrunde Kondenswasserkorrosionsfacetten, an schrägen Wänden besitzen sie langgestreckte Ausbildung in Abtropfrichtung. Sie sehen kleinen Konvektionsfacetten sehr ähnlich. Viele Facetten in sonst trockenen Eishöhlen dürften ebenfalls Kondenswasserfacetten sein. Beim Einstromen von warmer Luft in kalte Eishöhlen ist der Vorgang der Verdunstung und Kondensation stets gegeben.

Literatur

- H. Veit, Wie groß ist die Verdunstung der Höhlen? Fundgrube (3/4), Berlin 1966, 77–80.
S. Wadewitz, Chemische und physikalische Abschätzungen zur Kondenswasserkorrosion (Teil I), Fundgrube, 17 (1), Berlin 1981, 10–14, 20 (1981 a).
S. Wadewitz, Chemische und physikalische Abschätzungen zur Kondenswasserkorrosion (Teil II), Fundgrube, 17 (2), Berlin 1981, 40–44 (1981 b).
D. Mucke und R. Völker, Kondenswasserkorrosion. Jahrbuch des Höhlenforschers 1978, Uftrungen 1978.
D. Mucke, R. Völker und S. Wadewitz, Cupola formation in occasionally inundated cave roofs. Proceedings, European Regional Conference on speleology, Sofia 1980. Vol. II, Sofia 1983, 129–132.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Die Höhle](#)

Jahr/Year: 1989

Band/Volume: [040](#)

Autor(en)/Author(s): Völker Reinhard

Artikel/Article: [Die Kondenswasserkorrosion als höhlenraumbildender Faktor
1-10](#)