

scheint im Hinblick auf die zweifellos gegebenen besonderen Beobachtungsmöglichkeiten, auf die ich mit diesen Zeilen aufmerksam machen wollte, wünschenswert.

Dans un gouffre des Alpes calcaires (massif: Schneealpe) en Styrie septentrionale on a trouvé un sédiment composé de grands blocs rocheux et de restes osseux de Alces alces (n'existant plus en Autriche depuis plusieurs siècles au moins) et d'un bovide subfossil. L'auteur discute la genèse de ce sédiment et les possibilités relatives.

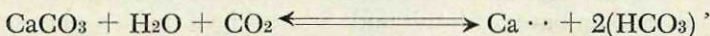
#### Literatur:

- 1) Radislovich R., Eine Schachthöhle am Gläserkogel, Schneealpe. Höhlenkundliche Mitteilungen, 17. Jgg., H. 10, Wien 1961, S. 94–95.
- 2) Waldner F., Der Elch, eine verschwundene Wildgestalt unserer Heimat. Speleologische Mitteilungen, Heft 1, Wien 1946, S. 17–19.
- 3) Zapfe H., Beiträge zur Erklärung der Entstehung von Knochenlagerstätten in Karstspalten und Höhlen. Beihefte zur Zeitschrift Geologie, Nr. 12, Akademie-Verlag, Berlin 1954. 60 Seiten.
- 4) Zapfe H., Ergebnisse einer Untersuchung über die Entstehung von Knochenlagerstätten in Karstspalten und Höhlen der geologischen Vorzeit. Anzeiger der math.-naturwiss. Klasse der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Nr. 14, Jahrgang 1953, S. 242–245.

## Beitrag zur Entstehung von Karsthöhlen<sup>1</sup>

Von Alfred Bögli (Hitzkirch)

Karsthöhlen sind primär durch Korrosion entstanden und sekundär durch zusätzliche Erosion erweitert worden. Die Korrosion erfolgt nach dem bekannten Schema:



Zur Kalklösung ist daher unbedingt CO<sub>2</sub> erforderlich, so wie zur Kalkausscheidung CO<sub>2</sub>-Abgabe notwendig ist. Steht kein CO<sub>2</sub> zur Verfügung, so kann auch kein Kalk gelöst werden, zum Beispiel normalerweise bei Druckfließen.

Es gibt drei Möglichkeiten, unter denen CO<sub>2</sub> zur Verfügung steht:

1. Unverbrauchtes CO<sub>2</sub> ist noch im Wasser gelöst (aggressives Wasser). Bei einem normalen CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft von 0,03 % enthält ein Liter Wasser bei 0 Grad C 1 mg CO<sub>2</sub>, bei 25 Grad C noch 1/4 mg. Bei Bodenluft von 2,5 % CO<sub>2</sub> sind bei 0 Grad C 8,4 mg, bei 25 Grad C 3,73 mg CO<sub>2</sub> im Bodenwasser gelöst. Im ersten Falle kann durch das gelöst werden, im zweiten 19,1 mg bzw. 8,47 mg. Es ist offensichtlich,

<sup>1</sup> Vortrag, gehalten vor dem 2. Nationalen Kongreß für Speläologie in der Schweiz am 22. und 23. Juni 1963 in Sörenberg (Kt. Luzern).

gelöst werden, im zweiten 19,1 mg, bzw. 8,47 mg. Es ist offensichtlich, daß sich diese Korrosionsmöglichkeit bei engen Spalten und geringen Wassermengen nur auf die obersten Zentimeter oder Meter beschränkt. Erst größere Wassermassen, z. B. in Höhlenflüssen, bringen dieses gelöste CO<sub>2</sub> in tiefere Regionen. Das setzt aber voraus, daß die Klüfte schon genügend erweitert sind.

2. Organische Stoffe, vor allem Humusstoffe, werden teils gelöst, teils kolloidal oder als feste Bestandteile ins Erdinnere gebracht und zersetzen sich dort unter dem Einfluß von Organismen. Dazu ist gewöhnlich Sauerstoff erforderlich, der entweder aus der Höhlenluft stammt oder vom Höhlenwasser mitgebracht wird. In 1 Liter Wasser sind bei Atmosphärendruck und 0 Grad C 14 mg Sauerstoff enthalten, bei 10 Grad C noch 11,4 mg. Daraus können sich im Maximum 19,2 bzw. 15,7 mg CO<sub>2</sub> bilden. Bei den niedrigen Temperaturen im Erdinnern erfolgt die Oxydation langsam. Daher ist diesem Vorgang in unserem Klima eine größere Tiefenwirkung sicher.

Im Höhlenlehm ist fast immer etwas Humus zu finden. A. Hänggi wies in alten Höhlenlehmen im Minimum 0,24 % Humussubstanzen nach, in jungen im Maximum 8,88 % (Bögli, Der Höhlenlehm. Rassegna Speleologica Italiana, Como 1961).

3. Höhlenluft gibt CO<sub>2</sub> an das Wasser ab. Ihr CO<sub>2</sub>-Gehalt ist wahrscheinlich höher als in der freien Atmosphäre, wofür der meist etwas erhöhte Kalkgehalt in ruhigen Tümpeln spricht (mindestens 95 mg/Liter in den vom Autoren untersuchten Höhlen).

Diese Korrosionsmöglichkeiten erklären die Lösungsfähigkeit des Wassers im Erdinnern leicht — sofern die CO<sub>2</sub>-Quellen, vorab Höhlenluft, zur Verfügung stehen. Sie erklären aber keineswegs die ganze Entwicklung der Höhlen vom Urhohlraum an, zu dem wir die kapillaren und subkapillaren Klüfte und Schichtfugen zählen müssen. Sie waren meist dauernd voll Wasser. Bei Druckfließen ist aus dem primären CO<sub>2</sub>-Gehalt des Wassers nur oberflächennah mit einer korrosiven Erweiterung des Wasserweges zu rechnen. Daraus ist ersichtlich, daß nur Höhlenbildungen bis zum Karstwasserspiegel hinunter — bei den Amerikanern besser mit „piezometric surface“ = piezometrische Oberfläche bezeichnet — einigermaßen befriedigend erklärbar sind.

Die großen Gänge, die es unter dem Karstwasserspiegel zweifellos in großer Zahl gibt, können aus den oben aufgezählten Tatsachen nicht erklärt werden. Man hat vielerorts eine frühere, tiefere Lage des Karstwasserspiegels festgestellt. Es blieben aber im günstigsten Falle so viele unerklärbare Fälle übrig, daß eine weitere Korrosionsmöglichkeit angenommen werden muß. Darauf habe ich am 3. Internationalen Kongreß für Speläologie 1961 in Wien mehrfach und sehr deutlich hingewiesen. In den letzten Tagen dieses Kongresses fand ich die

Lösung, doch kann ich sie wegen starker Inanspruchnahme mit andern Arbeiten erst heute in einem knappen Auszuge veröffentlichen.

### Die Mischungskorrosion

Zu jeder Kalklösung gehört eine bestimmte Menge zugehöriger Kohlensäure, ohne die das Hydrokarbonat nicht in Lösung bleibt. Diese zugehörige Kohlensäure nimmt nun mit dem gelösten Kalk nicht linear, sondern progressiv zu. Mischt man zwei verschieden konzentrierte Kalklösungen, so lassen sich die Gehalte an Kalk und CO<sub>2</sub> leicht berechnen. Wegen der progressiven Zunahme der zugehörigen Kohlensäure ist die neue CO<sub>2</sub>-Menge größer als die für die gelöste Kalkmenge notwendige zugehörige Kohlensäure. Es entsteht also ein Überschuß an CO<sub>2</sub>, der für eine weitere Kalklösung (inklusive zugehörigem CO<sub>2</sub>) zur Verfügung steht.

Die nachfolgende Tabelle gibt die Menge des zusätzlich lösbaren Kalkes an. Es wurde die Mischung von acht verschiedenen Lösungen untersucht, die von einem Gehalt von nur 11,5 mg Kalk im Liter (Lösung bei Abwesenheit von CO<sub>2</sub>) bis zu 357,96 mg (Wasser aus humusreichen, kalkhaltigen Moränen) reichen. Dadurch sind auch extreme Möglichkeiten einbezogen. Wasser W<sub>1</sub> einer bestimmten Konzentration ist mit Wasser W<sub>2</sub> einer andern gemischt. Der Gehalt der Mischung an W<sub>2</sub> ist in % angegeben. Gewählt wurde jene Mischung, bei der die maximale zusätzliche Kalkmenge M in mg/Liter gelöst wird.

Tabelle:

	W <sub>2</sub> :mg/l	73.8%	125.00	170.45	221.59	272.73	301.44	329.55	357.96
W <sub>1</sub> : 11.5 mg/l	$\frac{0}{0}$ M mg/l	40 $\frac{0}{0}$ 0.45	56 $\frac{0}{0}$ 1.8	57 $\frac{0}{0}$ 5.8	55 $\frac{0}{0}$ 16.2	49 $\frac{0}{0}$ 31.5	47 $\frac{0}{0}$ 40.5	43 $\frac{0}{0}$ 52	—
W <sub>1</sub> : 73.86 mg/l	$\frac{0}{0}$ M mg/l	—	52 $\frac{0}{0}$ 0.5	54 $\frac{0}{0}$ 3.3	53 $\frac{0}{0}$ 10.6	46 $\frac{0}{0}$ 21.9	—	40 $\frac{0}{0}$ 35.5	—
W <sub>1</sub> : 125.00 mg/l	$\frac{0}{0}$ M mg/l	—	—	56 $\frac{0}{0}$ 1.0	48 $\frac{0}{0}$ 5.6	44 $\frac{0}{0}$ 13.5	42 $\frac{0}{0}$ 18.6	—	38 $\frac{0}{0}$ 28.8
W <sub>1</sub> : 170.45 mg/l	$\frac{0}{0}$ M mg/l	—	—	—	49 $\frac{0}{0}$ 1.65	44 $\frac{0}{0}$ 6.7	40 $\frac{0}{0}$ 10.0	—	37 $\frac{0}{0}$ 17.5
W <sub>1</sub> : 272.7 mg/l	$\frac{0}{0}$ M mg/l	—	—	—	—	—	—	—	ca. 45 $\frac{0}{0}$ ca. 2.7

Sogar so hoch konzentrierte Lösungen wie die Mischung der beiden letzten ergeben noch eine zusätzlich gelöste Kalkmenge von 2,7 mg/l. Je größer der Unterschied zwischen den Lösungen, umso größer die zusätzlich gelöste Kalkmenge M.

Es ist für die Karsthydrographie kennzeichnend, daß auch nahe beieinander liegende Karstgerinne verschieden konzentriert sein können. Nehmen wir das Beispiel zweier Klüfte, die aus dem gleichen Reservoir gespeist werden. Der Kalkgehalt des Wassers betrage 272,73 mg/l, was sehr hoch ist. Das Wasser der einen Kluft gehe sofort in Druckfließen über, kann also weder CO<sub>2</sub> aufnehmen noch abgeben und verändert sich daher nicht. Das Wasser der andern gelangt in einen Höhlenraum, gibt CO<sub>2</sub> ab und scheidet Sinter aus. Bei längerem, freiem Fließen kann der Kalkgehalt bis auf 125 mg/l absinken. Hierauf geht das Wasser wieder in Druckfließen über. Wo sich die beiden Wasser vereinigen — das kann in jeder Tiefe, über oder unter dem Karstwasserspiegel sein — werden nun von jedem Liter Wasser 13,5 mg Kalk zusätzlich gelöst. Dadurch können sich bedeutende Hohlräume bilden, die nirgends eine größere Verbindung mit andern Höhlenteilen oder der Außenwelt aufweisen. Damit ist das unvermittelte Auftreten großer, korrosiv entstandener Hohlräume sowohl über wie unter dem Karstwasserspiegel einwandfrei erklärbar.

Ein weiteres Beispiel: Bei trockenem Wetter fließt Wasser mit höherem Kalkgehalt aus der Bodenzone in die Klüfte. Mit einsetzendem Regen führen die größeren Gänge das nun weniger konzentrierte Wasser schnell in die Tiefe, während die Klüfte immer noch das konzentrierte führen. Auch hier tritt Mischkorrosion auf.

Konzentrationsunterschiede spielen in der Karsthydrographie eine große Rolle. Daher ist die Mischkorrosion, wie ich den Vorgang nennen möchte, ein integrierender Bestandteil der Korrosionsvorgänge in einem Karstgebiet.

### *Leitformen der Mischkorrosion*

Leitformen sind Formen, die eindeutig auf eine einzige Entstehungsursache hinweisen. Der *Korrosionskolk* ist der typischste Fall einer Leitform der Mischkorrosion. Wo eine wasserführende, enge Kluft einen Gang quert, kommt es bei vollständiger Wasserfüllung des Ganges zu Mischkorrosion. Die Austrittsstelle des Wassers wird glockenförmig erweitert und dem Zubringer entlang vertieft. Fließt das Wasser im Gang genügend schnell, dann werden die Formen durch Wirbelbildung beeinflusst. Querschnittsänderungen können sowohl Änderungen in den Konzentrationsdifferenzen als auch Änderungen in der Wassergeschwindigkeit anzeigen. Diese können sich je nach den Umständen in der Wirkung addieren oder subtrahieren; der Kolk wird weiter oder enger. Wenn auch die Bildung nur bei voller Wasserfüllung erfolgt, so können diese Kolke doch zeitweilig auch aus dem Wasser auftauchen. Das bedeutet, daß sie sowohl phreatisch (unter dem Karstwasserspiegel) als auch über dem Karstwasserspiegel auf-

treten können. In diesem Falle ist ihre Entstehung möglich in der Hochwasserzone, in Siphons und in Bereichen des Druckfließens (dauernde oder temporäre Wasserfüllung). Weist das Kluftwasser einen hohen Kalkgehalt auf, so korrodiert es während der Zeit der Wasserfüllung, scheidet jedoch beim Trockenfallen des Ganges Sinter aus. Das erklärt manche bisher rätselhafte Erscheinung, etwa das Bestehen korrodierter Sinterüberzüge in Kolken, die heute weit über der Hochwasserzone liegen, und die man sonst nur durch späte, langandauernde, kalkaggressive Hochwasser deuten konnte.

Eine größere Leitform der Mischkorrosion ist der *Sackgang*. Solche Gänge verlaufen entlang einer Schichtfuge oder einer Kluft und enden hinten sackartig in einer runden Apsis. Es ist deutlich, daß das Wasser von der Apsis herkommt. Im Hölloch findet man in einem Seitengang des Isisstollens am Ende des Sackes drei kleine Zubringer von weniger als 10 cm auf 20 cm. Sie sind heute trocken. Die Gangbildung ist längst abgeschlossen, da der Gang 300 m über dem Karstwasserspiegel liegt.

In der Überschwemmungszone des Rabenganges, unweit des Anubissees, befindet sich ein kurzer Sackgang. An seinem Ende läuft aus einer Schichtfuge, die gleichzeitig eine tektonische Bewegungsfläche ist, ein kleiner Bach. Da dieser Gang alle Jahre während Wochen unter Wasser steht, so sind hier die Bedingungen für die Wirkung der Mischkorrosion heute noch gegeben. Der Sackgang entwickelt sich weiter.

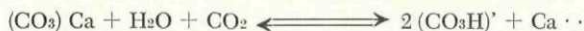
Es gibt viele andere Formen, die durch Mischkorrosion erklärt werden können. Solange sie aber nicht genauer auf diese Entstehungsart hin untersucht worden sind, kann man sie nicht zu den Leitformen zählen. Wie heikel solche Untersuchungen sind, zeigt das Beispiel des Korrosionskolkes. Lange Zeit habe ich ihn als Ergebnis subaerischer Korrosion durch das austretende Kluftwasser angesehen. Störend war nur das Fehlen einer Korrosionsrinne, was notfalls durch die Kapillarwirkung erklärt werden konnte. Nach der Entdeckung der Mischkorrosion war es möglich, den ganzen Formenkreis eindeutig zu erfassen.

Die Netzhöhlen bilden einen Sonderfall. Sie sind typisch für eine Entstehung in der tiefphreatischen Zone. Man hat sie in den USA näher untersucht. In Europa treten sie meines Wissens nur vereinzelt in England auf. *W. G. Moore* nimmt an, Oxydationsvorgänge an sulfidischen Mineralien hätten die korrosiven Agentien geliefert. *W. B. White* weist jedoch diese Vorgänge in den hochphreatischen Bereich, etwa 20 m unterhalb des Karstwasserspiegels. Danach bleibt m. E. für die tiefphreatische Höhlenbildung nur die Mischkorrosion oder ein bisher noch unbekannter Faktor. Wegen dieser Unsicherheit möchte ich den Netzhöhleltyp vorläufig nicht als Leitform der Mischkorrosion betrachten.

## Zusammenfassung

Zu den bisher bekannten Kalklösungsvorgängen — Korrosion mit Hilfe der Luftkohlenäure und der biogenen Kohlenäure (aus der Zersetzung organischer Substanzen entstanden) —, die sich ausschließlich im Bereich über dem Karstwasserspiegel und in der hochphreatischen Zone abspielten, im ganz wassererfüllten Raume aber nur beschränkt wirksam sind, kommt neu die Mischkorrosion, die die noch bestehenden Lücken zu füllen vermag. Sie beruht auf der Tatsache, daß bei der Mischung zweier verschieden konzentrierter, kalkhaltiger Wasser freie Kohlenäure entsteht, die erneut Kalk zu lösen vermag. Bisher sind zwei Leitformen der Mischkorrosion sichergestellt worden.

La formation des grottes karstiques est due à la corrosion, l'érosion et l'effondrement. La corrosion suit la formule sommaire bien connue:



Ce n'est alors possible qu'en présence de  $\text{CO}_2$  libre. Cette réaction est liée au voisinage de la surface, ou à l'air des cavernes, c'est à dire en-dessus de la nappe d'eau karstique ou très peu en-dessous. Cependant, il y a de nombreuses galeries profondes que l'on ne peut pas expliquer de cette façon et l'on doit admettre l'existence d'un facteur de corrosion jusqu'ici inconnu.

Si l'on mélange deux eaux d'une teneur différente en bicarbonate, il se dégage du  $\text{CO}_2$  libre, l'eau devient agressive. Dans ces circonstances, des galeries peuvent prendre naissance à n'importe quelle profondeur sous la nappe d'eau karstique ou dans des conduits forcés. De plus, il n'est pas du tout nécessaire que ces galeries aient des communications praticables avec d'autres cavités ou la surface, ce qui explique l'existence de grandes grottes que l'on ne peut atteindre que par de petites galeries. Des formes indicateurs, tel que la marmite de corrosion aux voûtes, ou la galerie finissant à l'amont en apside nous permettent à reconnaître la corrosion provoquée par le mélange de deux eaux avec des concentrations différentes en bicarbonates.

Anmerkung: Im Text der Arbeit ist an Stelle des Ausdruckes „Mischkorrosion“ stets „Mischungskorrosion“ zu setzen.

## Verwitterungstypen der Tertiärkalke Zyperns

Von Helmut Riedl (Graz)

Die von großen Fußflächentreppen überspannten Tertiärkalkbe-  
reiche zwischen Nordkette und Troodosbergland liegen in der trocke-  
neren immergrünen Tiefenregion der Insel. Steppenartige Elemente  
zeigen den kontinentalen Einfluß. Dem fast trockenen und heißen Som-  
mer steht die Niederschlagshäufung im kühlen Winter gegenüber. Die

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Die Höhle](#)

Jahr/Year: 1963

Band/Volume: [014](#)

Autor(en)/Author(s): Bögli Alfred

Artikel/Article: [Beitrag zur Entstehung von Karsthöhlen 63-68](#)