

Wie entstehen Knöpfchensinter?

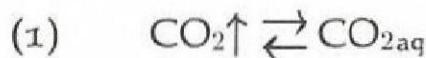
Der Einfluß von Temperaturunterschieden auf Korrosion und Sinterbildung in Höhlen.

Von Eberhard Pechhold (Ditzingen, BRD)

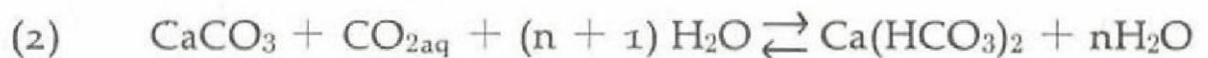
Kurzinhalt: In der vorliegenden Arbeit wird der Einfluß von Temperaturunterschieden in der Höhle als Ursache für die Entstehung bestimmter Korrosions- und Sinterformen diskutiert. Es wird ein Wachstumsmodell für Knöpfchensinter angegeben und über Messungen zu dessen Bestätigung berichtet.

Knöpfchensinter

Es ist bekannt, daß das Löslichkeitsgleichgewicht von Kohlendioxid in Wasser



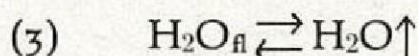
temperaturabhängig ist. In kälterem Wasser löst sich mehr Kohlendioxid als in wärmerem Wasser (bei 3° C lösen sich in reiner CO₂-Atmosphäre etwa 3 g CO₂ pro Liter Wasser, das sind rund 25 % mehr als sich in 10° C warmem Wasser lösen können). Da die Menge des gelösten Kohlendioxids bei Anwesenheit von genügend festem Kalkstein über die bekannte Summenformel



mit der Menge des gelösten Kalziumkarbonats zusammenhängt, wird durch eine Änderung der Temperatur einer kalkhaltigen Lösung auch das Gleichgewicht der Summenformel (2) verschoben. Dies wirkt sich dann so aus, daß eine kalkgesättigte Lösung im Falle der Temperaturerniedrigung wieder kalkaggressiv wird, im Falle der Temperaturerhöhung aber übersättigt wird und deshalb Kalk ablagert. Dieses Verhalten, welches den ständigen Kontakt der Lösung mit der Höhlenatmosphäre oder einem ähnlichen Gasraum verlangt, ist aber nicht der einzige Effekt, der bei Temperaturerhöhung einer genügend gesättigten Lösung zu Kalkablagerung führen kann. Parallel zu ihm wirkt der Effekt der Abkühlungskorrosion (1) bzw. dessen Umkehrung. Hier erfolgt die Kalkablagerung allein durch die Erwärmung der Lösung, ohne daß ein Kontakt mit dem Gasraum notwendig ist. Beide Temperatureffekte wirken in derselben Richtung und sind von vergleichbarer Größenordnung. So wird zum Beispiel aus einem Liter Wasser mit 200 mg Kalkgehalt, der mit dem CO₂-Partialdruck der Höhlenatmosphäre im Gleichgewicht steht, bei einer Erwärmung von 9° C auf 10° C etwa 1,5 mg Kalk abgeschieden. Davon sind ein Drittel der Temperaturabhängigkeit der Koh-

lendioxidlösung, zwei Drittel der Umkehrung der Abkühlungskorrosion zuzuschreiben.

Schließlich hängt noch ein drittes Gleichgewicht, das für Sinterbildung und Korrosion von Bedeutung ist, von der Temperatur ab: das Gleichgewicht des Wassers mit seinem Dampf, der Luftfeuchtigkeit.



Angesichts von so deutlichen Temperatureffekten bei der Kalklösung und Kalkabscheidung wie auch bei der Kondensation und Verdampfung von Wasser liegt es nahe, nach deren Auswirkungen in der Höhle zu suchen. Läßt man einmal solche Einflüsse außer acht, die durch Temperaturänderungen außerhalb der Höhle hervorgerufen werden, wie zum Beispiel die Abnahme des CO_2 -Gehaltes der Höhlenwässer im Winter, die zu einer Änderung des Tropfsteinwachstums führt, so bleiben doch noch eine ganze Anzahl Korrosions- und Sinterformen übrig, deren Entstehung auf die Wirkung von Temperaturunterschieden zurückgeht.

Eine Sinterform, für die das mit großer Wahrscheinlichkeit zutrifft, ist der Knöpfchensinter. Unglücklicherweise werden fast alle Kleinsinterformen, die von der Grenze des Höhlenraumes aus in diesen hineinragen, soweit sie nicht schwerkraftbestimmt sind oder der Gruppe der Excentriques angehören, als Knöpfchensinter (3) bezeichnet. Eine genauere Unterteilung der Formen bleibt dem Betrachter überlassen, dem sich dann aus der Ähnlichkeit dieser Formen mit Dingen des täglichen Lebens eine große Zahl von treffenden Bezeichnungen anbietet.

So findet sich in Höhleneingängen und stärker bewetterten Höhlenteilen der Warzensinter, der Streuselsinter, der Blumenkohlsinter¹ oder, als feinere Form, der Perlsinter. In abgeschlossenen, oberflächennahen Höhlenteilen finden sich dagegen Sinterpilzchen mit deutlich ausgeprägter Halszone und flachem Hut sowie deren kurzstielige Form, der eigentliche Knöpfchensinter. Die mehr knollige Form des Warzensinters und des Blumenkohlsinters unterscheidet sich von den Pilzformen also nicht nur durch das Nichtvorhandensein einer ausgeprägten Halszone, sondern auch durch ihren Standort innerhalb der Höhlen.

Zur Beobachtung und Messung eignen sich am besten Standorte in oberflächennahen, abgeschlossenen Höhlenräumen. Hier ist die Konstanz des Höhlenklimas am besten gewährleistet und eine zeitweilige Änderung des Höhlenklimas, die zu Mischformen führen könnte, unwahrscheinlich. Auch ist es vorteilhaft, Messungen zunächst an ausgeprägten Pilzformen als reifster Form vorzunehmen.

Messen wir die Temperatur in einem oberflächennahen, weitgehend abgeschlossenen Höhlenraum, so stellen wir fest, daß sich die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen deutlich bemerkbar machen. Vom Win-

¹ In Österreich Karfiolsinter (Anm. d. Red.).

ter bis weit ins Frühjahr hinein messen wir an der Höhlendecke eine niedrigere Temperatur als am Höhlenboden. Die Wandtemperaturen liegen, je nach Höhe der Meßpunkte, zwischen beiden Werten. Im Sommer und Herbst wird die Höhlendecke deutlich wärmer als der Höhlenboden, und auch die vertikale Temperaturverteilung der Höhlenwände kehrt sich um. Die Temperaturunterschiede sind dabei um so größer, je weniger Überdeckung die Höhle besitzt und je größer die vertikale Ausdehnung des Höhlenraumes ist.

Was haben diese jahreszeitlich unterschiedlichen Temperaturverteilungen nun für einen Einfluß auf die Bewegungen der Höhlenatmosphäre und auf das Auftreten von Korrosion und Sinterbildung?

Im Winterhalbjahr wird sich feuchte Höhlenluft (relative Feuchtigkeit nahe 100 %) an der Höhlendecke und am oberen Teil der Höhlenwände abkühlen. Dies wird erstens zur Bildung kalter Abwärtsströme führen, die in einem abgeschlossenen Raum durch aufwärtssteigende Warmluftströme kompensiert werden; zweitens wird sich an der kalten Höhlendecke Kondenswasser bilden, welches durch CO₂-Aufnahme aus der Höhlenatmosphäre aggressiv wird und die benetzten Felspartien korrodiert. Die herabtropfende Kalklösung kann dann am Boden infolge der Erwärmung und infolge Wasserverdunstung – die an der Höhlendecke kondensierende Luftfeuchtigkeit muß ja durch Verdunstung am Höhlenboden wieder ersetzt werden – Kalk absetzen und zur Versinterung des Höhlenbodens beitragen. Zwischen der Korrosionszone im Bereich der Höhlendecke und der zur Sinterbildung neigenden Bodenzone gibt es eine Übergangszone, in der die Kondenswasserkorrosion nur noch schwach ausgebildet ist. Diese Übergangszone ist, wenn noch eine weitere Bedingung erfüllt ist, Standort von Knöpfchensintern. Im Sommer tritt keine Konvektion auf, wenn man von schwachen horizontalen Luftströmungen absieht. Die unten lagernde kalte Höhlenluft ist dichter als die im Bereich der Höhlendecke befindliche erwärmte Luft. Es stellt sich daher eine stabile Schichtung der Höhlenatmosphäre ein. Korrosionszone ist jetzt der Höhlenboden, jedoch hält sich diese Korrosion in Grenzen. Gelegentlich können sich am Höhlenboden, wenn die Korrosion im Sommerhalbjahr nicht zu stark ist und im Winterhalbjahr keine Bodensinterbildung stattfindet, auch Knöpfchensinter bilden. Diese wachsen dann während des Sommers und haben meist eine ausgeprägte Pilzform. Häufiger finden sich Knöpfchensinter aber nicht am Höhlenboden selbst, sondern auf Versturzblöcken oder inaktiven Stalagmiten.

Ein Wachstumsmodell des Knöpfchensinters

Grundvoraussetzung und auslösender Faktor für ein Knöpfchensinterwachstum in den angegebenen Zonen ist das Vorhandensein eines warmen, feuchten Luftstroms entlang einer etwas kälteren Wand. Solche Luftströmungen treten in den beschriebenen Zonen recht häufig auf. Sie

sind zudem weitgehend ortsfest, denn die Konvektion in einem abgeschlossenen Höhlenraum hängt von dessen Gestalt ab und ist keineswegs zufällig. An den Wandzonen findet das Wachstum im Winter und Frühjahr statt, wenn aus der Tiefe heraufströmende wärmere Höhlenluft entlang der abgekühlten Wand nach oben streicht. Im Sommer und Herbst tritt das Wachstum am Boden auf, wenn von oben her erwärmte Höhlenluft über den kalten Höhlenboden streicht oder nur die Oberkanten von Versturzböcken oder die Spitzen von Stalagmiten umströmt, die kälter sind, weil sie aus einem bodennahen Kaltluftsee emporragen. Um die Entstehung eines Sinterknöpfchens richtig verstehen zu können, müssen wir zunächst betrachten, was geschieht, wenn warme, feuchte Luft entlang einer kälteren Fläche — etwa einer Höhlenwand — strömt. Es wird erstens Wasser an der Fläche kondensieren und die Fläche mit einem zusammenhängenden Feuchtigkeitsfilm überziehen, zweitens wird sich entlang der Fläche eine sogenannte Grenzschicht ausbilden. Eine Grenzschicht bildet sich aufgrund der Reibung an jeder gasüberströmten Fläche aus. Ihre Dicke ist durch die Näherungsformel (2)

$$(4) \quad d \approx \sqrt{\frac{z \cdot l}{D \cdot u}}$$

gegeben und abhängig von der Dichte D und der Zähigkeit z des strömenden Gases, von der Strömungsgeschwindigkeit u und von einer charakteristischen Länge l , auf welcher der Kontakt zwischen Gasströmung und Fläche gegeben ist. In Höhlen der betrachteten Art dürften Grenzschichtdicken zwischen einem Millimeter und mehreren Zentimetern normal sein.

Charakteristisch für eine Grenzschicht ist ferner, daß ihr Gas gegenüber dem strömenden Gas nahezu stillsteht. Damit wird sich der in der Höhle zwischen strömender Luft und Höhlenwand bestehende Temperaturunterschied fast vollständig in die Grenzschicht verlagern. Es sind also eine kalte Höhlenwand und darüber eine sich nur langsam bewegende Grenzschicht mit zur Wand hin gerichtetem Temperaturgefälle vorhanden, über die eine rasch strömende, gleichmäßig warme Luft streicht.

Da der Feuchtigkeitsfilm nur sehr langsam an der Wand herabsickert, hat er Zeit, sich mit Kohlendioxid und Kalk anzureichern, bis er nahezu gesättigt ist. An der Höhlenwand gibt es nun Unebenheiten — Kalzitkörnchen, Petrefaktenspitzen, Einlagerungen von Fremdmaterial oder scharfe Ecken und Kanten —, die ein kleines Stück in die Grenzschicht hinausragen. Durch die Berührung mit der wärmeren Luft in den wandferneren Zonen der Grenzschicht erhöht sich die Temperatur dieser Spitzen etwas, was aufgrund der Temperaturabhängigkeit des Kohlendioxidgleichgewichtes sowie der Umkehrung des Effektes der Abkühlungskorrosion zur Ablagerung von Kalk auf der Spitze führt.

Die Verarmung der Lösung auf den Spitzen an Kalk und Kohlendioxid setzt nun ihrerseits eine zur Spitze hin gerichtete Diffusion dieser Komponenten in dem die Spitzen einhüllenden Feuchtigkeitsfilm in Gang, die um so stärker wird, je mehr die Spitzen wachsen und damit durch ihre größeren Oberflächen die Temperatur der Luftschichten annehmen, in die sie eintauchen.

Die Folge dieses Mechanismus ist eine immer stärkere, zunächst kugelförmige Verdickung der Spitzen, die dadurch mehr und mehr die Gestalt von Knöpfchen annehmen, die auf dünnen Stielen aufsitzen. Später kommt es dann meist zu einer Verflachung der Knöpfchen, weil ihre wandabgewandte Seite aufgrund des langen Diffusionsweges nicht mehr genügend versorgt wird. Der Kalk setzt sich fast nur noch am Rand der Knöpfchen ab; es entstehen typische Pilzformen.

Nach meinen Beobachtungen wächst ein solches Knöpfchen oder Pilzchen nicht beliebig lang weiter. Erreicht das Exemplar nämlich eine bestimmte, von der Dicke der Grenzschicht abhängige Größe, so werden die Bedingungen für die Kalkablagerung vor allem an den Knöpfchenkanten so günstig, daß eine Kalkverarmung der Lösung in der Umgebung des Knöpfchenkopfes entsteht, die dazu führt, daß der Stiel und oftmals sogar noch ein Teil der Knöpfchenunterseite in die Korrosionszone der Wand mit einbezogen werden. Dies hat letztlich die Aufzehrung des dünnen Stiels und das Abfallen des Knöpfchens zur Folge. Auf dem entstandenen Stumpf wächst dann ein neues Exemplar nach.

Um die Tauglichkeit des oben beschriebenen Wachstumsmodells zur Beschreibung der Entstehung von Knöpfchensintern zu prüfen, soll nun versucht werden, bestimmte Erscheinungsformen und besondere Anordnungen der Knöpfchensinter mit seiner Hilfe zu erklären. So ist bei Knöpfchensintern eine deutliche Bevorzugung von Kanten als Standort zu beobachten. Warum?

Die Dicke einer Grenzschicht zwischen einem Gasstrom und einer Fläche hängt, wie bereits erwähnt und aus der Näherungsformel (4) ersichtlich ist, von einer charakteristischen Länge l ab, auf der der Kontakt zwischen Gas und Fläche besteht. Diese Länge wird an einer Kante extrem kurz, was eine sehr dünne Grenzschicht zur Folge hat. Das Temperaturgefälle, das ja fast ausschließlich in der Grenzschicht besteht, ist nun ebenfalls auf diese dünne Schicht beschränkt und der Temperaturgradient entsprechend groß. Dies begünstigt die Ausbildung von Knöpfchensintern außerordentlich, weil schon kleinste Unebenheiten der Kante in beträchtlich höher temperierte Luftschichten ragen können und weil die Konzentrationsunterschiede von Kohlendioxid und Kalk in der Lösung und damit die Diffusionsgeschwindigkeiten aufgrund des größeren Temperaturgradienten erheblich größer als vor benachbarten Flächen sind.

Wachsen die Sinterknöpfchen — bei ihnen ist das sehr oft zu be-

obachten — sehr dicht, so ist der Kontakt zwischen der wandnahen Luftschicht und der strömenden Luft nicht mehr gewährleistet. Die wandnahen Luftschichten nehmen die Temperatur der Wand an, und es bildet sich vor der nahezu geschlossenen Fläche der Knöpfchenköpfe eine neue Grenzschicht aus, in der jetzt das für das Wachstum notwendige Temperaturgefälle besteht. Die Knöpfchenvorderseiten selbst bilden dann die kältere Wand, auf der die neue Knöpfchengeneration fußt. So kann es zur Ausbildung vielfach geschichteter Knöpfchensinterrasen kommen, deren jüngste Generation im Wachstum begriffen ist, während die darunterliegenden Generationen deutliche Korrosionserscheinungen zeigen. Auch gelegentlich auftretende, sehr dicht wachsende stäbchen- oder keulenförmige „Knöpfchensinter“ kann man sich durch stetiges Vorverlagern der Grenzschicht entstanden denken. Es ist bei diesen Formen aber auch eine Entstehung aufgrund stark schwankender Grenzschichtdicke denkbar.

Sehr oft beobachtet man, daß dunkelbraun gefärbte Sinterknöpfchen auf einer gebleicht scheinenden Höhlenwand wachsen. Dies ist ein sicheres Zeichen dafür, daß auf den Knöpfchen wenigstens zeitweise Wasserverdunstung auftritt. Das verdunstende Wasser transportiert neben Kohlendioxid und Kalk auch andere Salze, in erster Linie Eisenverbindungen auf die Knöpfchen. Diese Eisenverbindungen reichern sich auf den Knöpfchen an und färben sie dunkel, während die Wand, von der sie stammen, entfärbt wird.

Eine Wasserverdunstung auf den Knöpfchen bei gleichzeitiger Kondensation an der Höhlenwand, was unbedingte Voraussetzung für die Bildung dunkel gefärbter Knöpfchen auf entfärbter Höhlenwand ist, ist ein sicherer Beweis für die Existenz erheblicher Temperaturunterschiede zwischen Höhlenwand und Knöpfchenkopf.

Im Prinzip ist es möglich, daß Sinterknöpfchen allein durch Wasserverdunstung entstehen, denn die höhere Temperatur des Knöpfchenkopfes begünstigt ja auch die Wasserverdunstung. Die Warzen- und Blumenkohlsinter der bewetterten Höhlenteile, die zeitweise trockenerer Luft ausgesetzt sind, verdanken ihre Entstehung sehr wahrscheinlich einer solchen selektiven Wasserverdunstung. In weitgehend abgeschlossenen Höhlenteilen, in denen die Luftfeuchtigkeit fast ständig 100 % beträgt, dürfte sie nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Knöpfchensinter wachsen nie an nach unten gerichteten, waagrechtten Flächen. Diese Beobachtung, wenn sie in allen Fällen stimmt, erhärtet das Wachstumsmodell ganz erheblich. Knöpfchensinter brauchen zu ihrer Entstehung eine Grenzschicht mit zur Wand gerichtetem Temperaturgefälle. Diese kann sich aber an einer waagrechtten, nach unten weisenden Fläche nicht ausbilden, weil sich die an der Fläche abkühlende Luft aufgrund ihrer höheren Dichte von der Fläche ablöst und in der wärmeren Luft nach unten sinkt.

Messungen an Knöpfchensintern

Um das beschriebene Wachstumsmodell auch durch Messungen zu bestätigen, wurden in den Wintern 1974/75 und 1975/76 in der Schreiberhöhle bei Heidenheim (Schwäbische Alb) Temperaturdifferenzmessungen an Sinterknöpfchen vorgenommen. Dazu wurde ein für diesen Zweck eigens entwickelter elektronischer Temperaturdifferenzmesser mit einer Empfindlichkeit von $0,01^{\circ}\text{C/Skt.}$ benutzt.

Gemessen wurden die Temperaturunterschiede zwischen Fußpunkt und Kopf verschiedener Sinterknöpfchen, die zum Teil aktiv, das heißt sichtbar feucht, und zum Teil inaktiv waren, was bei den an der Wand wachsenden Knöpfchen wahrscheinlich auf die wenig winterliche Witterung in den beiden Wintern zurückzuführen ist.

Bei einer Höhlentemperatur von im Mittel $6,2^{\circ}\text{C}$ waren die Köpfe der Sinterknöpfchen bei den aktiven Exemplaren um $0,05$ bis $0,4^{\circ}\text{C}$ wärmer als die Fußpunkte. Bei den inaktiven Knöpfchen lagen die Temperaturunterschiede unterhalb $0,05^{\circ}\text{C}$.

Der Höhlenraum, in dem die Knöpfchensinter vorkommen, ist etwa 2 m hoch und hat eine Grundfläche von zirka 10×5 m. Es gibt mehrere blind endende gangartige Fortsetzungen, der Zugang ist ein enger Schluß, der während der letzten Jahre verschlossen gehalten wurde. Die Decke wird von einer horizontalen Schichtgrenze gebildet und zeigt starke Korrosionserscheinungen. Selbst kurze, aktive Stalaktiten sind äußerlich ankorrodiert. Der Boden besteht aus Versturz, der zum Teil durch feinkörnige Verwitterungsprodukte abgedichtet ist. Die Überdeckung des Raumes beträgt zur Zeit etwa 4 m, muß früher — vor 20 bis 30 Jahren — aber einige Meter mächtiger gewesen sein, da ein Teil der ursprünglich vorhandenen Überdeckung durch Steinbrucharbeiten abgetragen wurde.

Standort der Knöpfchensinter sind verschiedene Partien im unteren Drittel der Wand und die Kanten vieler Versturzböcke im gesamten Raum. Aktive Knöpfchen fanden sich nur an der Wand, vor allem dort, wo aus Spalten zwischen Wand und Versturz Warmluft heraufsteigen konnte. Die auf den Versturzböcken befindlichen Knöpfchen waren inaktiv und wiesen keine meßbaren Temperaturunterschiede auf. Der Höhlenboden selbst war nur um $0,2^{\circ}\text{C}$ wärmer als die Höhlendecke. Die Warmluftströme, die die Temperaturen mancher Knöpfchen auf $0,4^{\circ}\text{C}$ über die Wandtemperatur ansteigen ließen, mußten also aus wesentlich größerer Tiefe heraufgekommen sein. Auch die Abwesenheit größerer Bodensintervorkommen läßt darauf schließen, daß der Versturzboden nur eine Art Zwischenboden darstellt, unter dem die Höhle noch weiter in die Tiefe reicht. Neuere Messungen, die im Verlauf des Frühjahrs 1976 und vor allem am Ende der Hitzeperiode im Juni/Juli 1976 vorgenommen wurden, zeigen, daß die an der Wand wachsenden Sinterpilzchen im Sommer eine zweite Wachstumsperiode haben können, die mit der Wachstumsperiode der auf den Versturzböcken be-

findlichen Sinterpilzchen zusammenfällt und dadurch zustandekommt, daß sich die Erwärmung der Luft von der Decke aus bis zu den Pilzchenstandorten hin durchsetzt. Gemessene Temperaturen zeigten folgende Werte:

- Höhlendecke: um 8°C , örtlich stark schwankend;
- Höhlenboden: $6,9$ bis 7°C , örtlich leicht schwankend;
- Wand $0,5$ m über dem Boden (Pilzchenstandort): 7°C ;
- Luft unmittelbar vor den Pilzchen: $7,3^{\circ}\text{C}$;
- Pilzchenköpfe: $7,2$ bis $7,3^{\circ}\text{C}$.

Zusammenfassung

Das Wachstumsmodell für die Knöpfchensinterbildung, welches durch die bisher durchgeführten Messungen bestätigt wird und welches die wichtigsten Eigenarten der Knöpfchensinter befriedigend erklärt, zeigt, daß Temperaturunterschiede in Höhlen Korrosion und Sinterbildung verursachen können. Dabei wirken diese Temperaturunterschiede nicht nur über Kondensation und Verdampfung von Wasser, wie im Eingangsbereich von Höhlen oder in bewetterten Höhlenteilen, sondern auch über die Löslichkeit des Kohlendioxids und die Temperaturabhängigkeit des Kalkgehaltes einer Lösung an sich. Die Entstehung von Knöpfchensintern in oberflächennahen und weitgehend abgeschlossenen Höhlenräumen scheint vor allem durch einen lokal ausgebildeten Kohlendioxidkreislauf im Zusammenwirken mit einem rein temperaturbedingten Kalktransport im Bereich einer ein Temperaturgefälle aufweisenden Grenzschicht zustandezukommen.

Die Knöpfchensinterbildung ist wahrscheinlich nur eine von vielen Auswirkungen von Temperaturunterschieden in Höhlen. Es ist anzunehmen, daß durch die stärkere Beachtung von teilweise nur geringen Temperaturunterschieden noch manche Erscheinung im Bereich der Kleinsinterformen erklärt werden kann.

Literatur:

- 1) A. Bögli, Mischungskorrosion — Ein Beitrag zum Verkarstungsproblem. Erdkunde, Archiv für wissenschaftliche Geographie, Bd. XVIII, Lfg. 2.
- 2) Gerthsen — Kneser, Physik, S. 70.
- 3) H. Trimmel, Höhlenkunde, S. 53.

Die Südkar-Eishöhle am Ötscher (Niederösterreich)

Von Wilhelm Hartmann (Wien)

Im Jahre 1964 konnten Erwin und Günter Stummer anlässlich einer Besteigung des Ötschers (1893 m) vom Gipfelbereich aus in der Westflanke seines Südkares zwei Schachtöffnungen entdecken. In der

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Die Höhle](#)

Jahr/Year: 1976

Band/Volume: [027](#)

Autor(en)/Author(s): Pechhold Eberhard

Artikel/Article: [Wie entstehen Knöpfchensinter? 138-145](#)