

Tagungsbericht: Hypogene Höhlenbildung

✍ Hans Stünzi (Häse)



21st International Karstological School "Classical karst"

Hypogene speleogenesis (between theory and reality...)

10.-14. Juni 2013 in Postojna (Slowenien)

Dieses Jahr nahm ich zum ersten Mal an der internationalen „Karstschule“ teil. Diese findet jedes Jahr im Karstinstitut in Postojna (Slowenien) statt und behandelt jeweils ein Thema aus dem Gebiet der Karstforschung, dieses Jahr die hypogene Höhlenbildung, d.h. Höhlenentstehung von unten. Da dies bei uns nicht so bekannt ist, versuche ich hier, ein paar Aspekte zusammenzufassen.

1.) Allgemeines zur Karstological School

Leitung: Franci Gabrovšek & Bojan Otoničar vom Karstforschungsinstitut in Postojna.

Es waren etwa 70 Teilnehmer aus verschiedenen Ländern. Dabei waren Gruppen aus Slowenien, Ungarn, Österreich, Frankreich, Italien, Ägypten, meistens Professoren mit Master-Studenten und Doktoranden. Weitere Teilnehmer kamen aus der Schweiz, Ukraine, England, ...

Das diesjährige Programm:

Mo: Vormittag Vorträge, Nachmittag Poster

Di /Mi: Vormittag Vorträge, Nachmittag Exkursion

Do/Fr: ganzer Tag Exkursion

Die Kongressgebühr betrug 125 Euro, und die Übernachtung in der Jugendherberge Proteus kostete 22 Euro pro Nacht.

Sprache: Englisch.

2.) Epigen / hypogen: Prinzip

Unsere normalen, epigenen Höhlen sind „von oben“ entstanden, d.h. Regenwasser dringt in den Kalk ein und die im Wasser gelöste Kohlensäure CO_2 löst den Kalk und bildet Höhlen. In der Luft hat es nur 0,4% CO_2 , doch im Erdreich hat es bis 5% CO_2 , das vom Regenwasser aufgenommen werden kann.

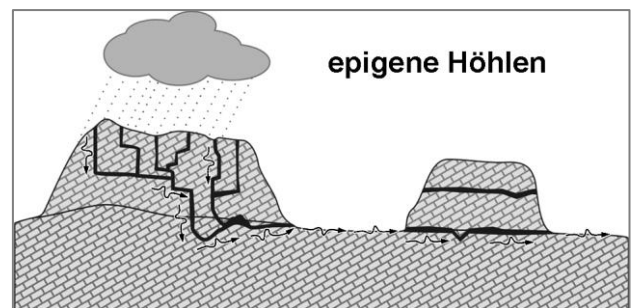


Abb. 1: „gewöhnliche“ Höhlen (Lukas Plan)

Im Gegensatz dazu gibt es Höhlen, die durch aufsteigendes Wasser gebildet wurden, das sind die hypogen entstandenen Höhlen. Das bekannteste Beispiel ist die berühmte Lechuguilla Höhle in New Mexico (USA) oder die Frasassi in Italien.

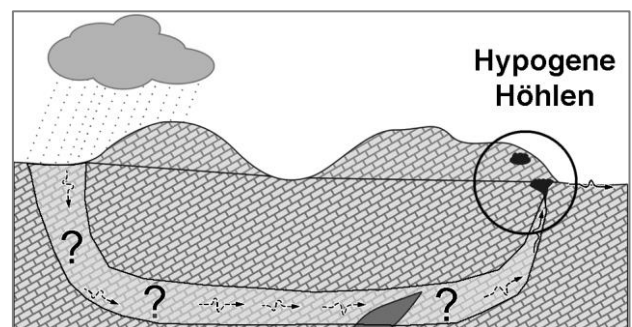


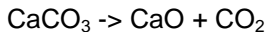
Abb. 2: hypogene Höhlen (Lukas Plan)

Beim Eindringen in den Kalk wird die Lösungskraft (Aggressivität) des Wassers zwar aufgebraucht, aber es gibt verschiedene Möglichkeiten, dass das Wasser in der Tiefe wieder Kalk auflösen kann (d.h. wieder aggressiv wird): Durch CO_2 aus der Tiefe, H_2S aus Erdöl, Mischungskorrosion.

3.) Kalklösungsvermögen aus der Tiefe

Anreicherung von CO₂

Kalk (CaCO₃), der durch die Gebirgsbildung und Faltung in die Tiefe geschoben wird, gibt in der Hitze CO₂ ab:

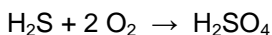


Das so entstandene CO₂ diffundiert nach oben und kann vom Tiefenwasser aufgenommen werden, worauf dieses wieder aggressiv wird.

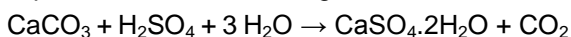
Anreicherung von H₂S

Erdöl enthält immer etwas Schwefel in Form von (Schwefelwasserstoff, Geruch von faulen Eiern). Diese schwache Säure kann vom Tiefenwasser aufgenommen werden und hat ein gewisses Potential zur Kalklösung.

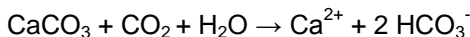
Wenn Luft (Sauerstoff) dazu kommt, wird H₂S zu Schwefelsäure oxidiert:



Die Schwefelsäure reagiert mit dem Kalk wobei Gips entsteht und CO₂ freigesetzt wird:



Das ist ein sehr wirksamer Mechanismus zur Höhlenbildung, da der so entstandene Gips besser löslich als Kalk ist und die gleichzeitig freigesetzte Kohlensäure Kalk auflösen kann:



Wenn dieser Prozess eine Höhle bildet, gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- Gips-„Tropfsteine“, wie sie von Bildern der Lechuguilla bekannt sind;
- Gips-Kristalle (Selenit) wie in der Naica-Höhle;
- Lösungskolke und Gips-Schichten (Abb. 3).

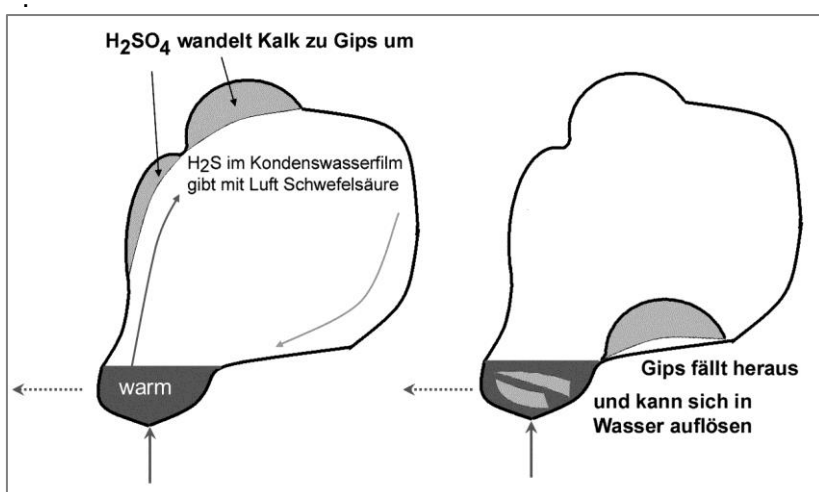


Abb. 3: Ein Mechanismus der Korrosion durch H₂S aus dem warmen Tiefenwasser

Wenn der Gips, der aus Kalk entstanden ist, in einer späteren Phase von Wasser gelöst und weggeschwemmt wird, dann hat man nur noch eigenartige Gangformen und eventuell eine Höhle ohne natürlichen Eingang.

Mischungskorrosion

Das aufsteigende Wasser kann im Bereich des Karstwasserspiegels auch mit gesättigtem Oberflächenwasser gemischt werden. Durch diese Mischung kann das Wasser wieder aggressiv werden und Höhlen bilden.

Kondensations-Korrosion

Wenn Wasser in einer Höhle verdunstet, dann enthält der Wasserdampf keinen Kalk. Wenn dieser Dampf an den Wänden des Hohlraums wieder kondensiert, so kann er Kalk auflösen. Diese Art der Korrosion kann auch in „normalen“ Höhlen vorkommen, ist aber wirksamer in hypogenen Höhlen:

- Warmes Wasser aus der Tiefe verdunstet leicht und kann gut an den kalten Höhlenwänden kondensieren;
- Das Wasser steht in der Tiefe unter Druck. Wenn es CO₂ aufgenommen hat, wird dieses an der Oberfläche ausgasen, wie die Blasen, die sich beim Öffnen einer Flasche Mineralwasser bilden. Der mit CO₂ angereicherte Wasserdampf ist bei der Kondensation sehr stark aggressiv.
- Ähnlich ist es wenn das Wasser in der Tiefe H₂S aufgenommen hat (siehe Abb. 3).

Abkühlung - hypogene Schächte

Die Löslichkeit von Kalk wird grösser, je kälter das Wasser ist. Beim Aufsteigen aus der Tiefe kühlt sich das Wasser ab und kann wieder Kalk lösen. Auf diese Art können Schachthöhlen oder Schächte und durch aufsteigendes Wasser gebildet werden (siehe „2D“, „3D“ und „Deep phreatic shaft“ in Abb. 4).

In der Nähe des Wasserspiegels wird dieser Effekt gestoppt, weil CO₂ aus dem Wasser in die Luft entweicht. In Umkehrung der Kalklösung bewirkt dies eine Ausscheidung von Kalk (Calcit). Wenn dieser Kalk aus warmem Wasser ausfällt, können sich **grosse Calcitkristalle** bilden.

4.) Hypogene Höhlenformen

Die oben beschriebenen Prozesse bewirken bei der Höhlenentstehung spezielle Formen:

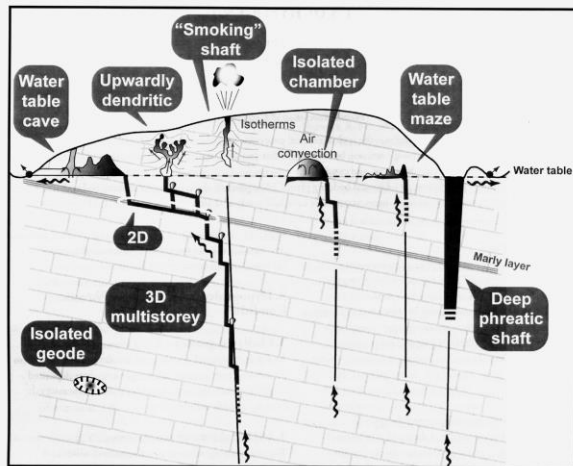


Abb. 4: Formen von hypogenen Höhlen

Cupolas

Grosse Deckenkolke entstehen durch Korrosion in stehendem Wasser mit langsamer Konvektionsbewegung bedingt durch die Wärmezufuhr von unten.



Abb. 6: Deckenkolke (Lukas Plan)

Geode

Isolierte Höhle im Fels, z.B. Naica Höhle mit den grossen Gips-Kristallen (Selenit).

Halle

Grosse Hallen über dem Wasserspiegel, mit keiner oder zufälliger Öffnung:

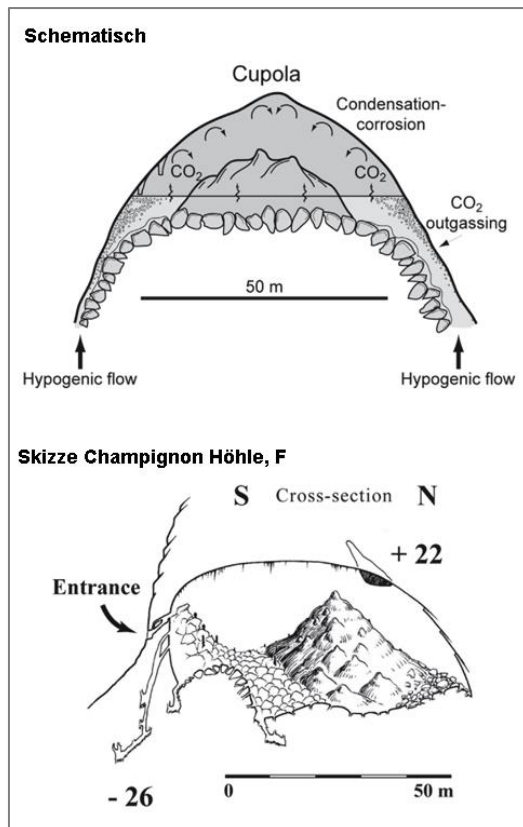


Abb. 5: Hallenbildung durch CO₂-Ausgasen und Kondensationskorrosion.

Dendritische Höhlen

Hypogen entstandene Höhlen können eigenartig verästelt (dendritisch) sein:

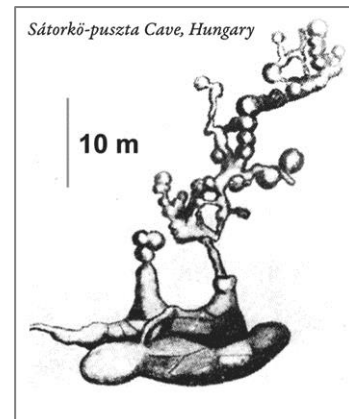


Abb. 7: Dendritische Höhle in Ungarn

Wasserspiegel-Höhlen

Wasser, das von unten kommt, kann an der Oberfläche des Karstwassers horizontale Höhlen bilden, die keinen Zusammenhang mit einem „normalen“ Höhlenbach haben.

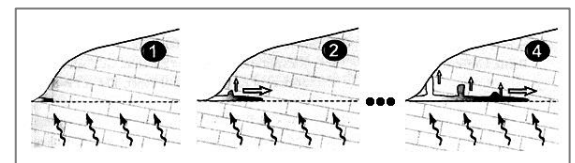


Abb. 7: Wasserspiegel Höhle

Die Abwesenheit eines Höhlenbachs führt oft zur Bildung von Höhlen die Labyrinth-artig angelegt sind (Water Table Maze Caves).

4.) Probleme mit „hypogen“

Im bisherigen Text habe ich grundlegendes zu den hypogen entstandenen Höhlen dargelegt. Ein Ziel der besuchten karstological School war es, die Probleme aufzuzeigen.

Problem der Definition

Leider bestehen zwei verschiedene Definitionen, was eine hypogene Höhle ist

Palmer:

„Hypogene Höhlen werden durch Wasser gebildet, welches die Aggressivität unter der Oberfläche erhalten hat, unabhängig von der Oberfläche oder CO₂ aus dem Boden oder von anderen Säuren, die aus der Oberfläche stammen.“

Klimchouk:

„Hypogene Höhlen entstehen durch Wasser aus der Tiefe, das durch hydrostatischen Druck oder andere Energiequellen nach oben gedrückt wird, unabhängig vom Wassernachschub der darüber oder in der Nähe liegenden Oberfläche.“

Deshalb muss in Diskussionen immer spezifiziert werden, wovon man spricht „*sensu* Palmer, 2007“ oder „*sensu* Klimchouk, 2011“. Generell wurde Palmers Definition als sinnvoller empfunden, da sie eine Ursache einschliesst. Die Definition von Klimchouk gibt keine Ursache und „in der Nähe“ ist keine gute Bezeichnung.

Problem: ist „Hypogen“ ein Speläo-Hype?

Die hypogene Speläogenese ist ein relativ neues und wichtiges Feld der Karstologie. Bei einigen Höhlen konnte die Entstehung erst verstanden werden, nachdem die hypogenen Vorgänge erkannt wurden.

Nun scheinen aber gewisse Höhlenforscher oder Höhlenwissenschaftler das Bedürfnis zu haben, auch ihre Höhle als hypogen zu bezeichnen. Damit ist man modern und die kleine Höhle XY gehört auch in den Kreis von Lechuguilla, Frasassi etc. Das ging so weit, dass eine Referentin wollte, dass ihre kleine Höhle knapp unter dem Meeresspiegel mit Mischung von Meer- und Süswasser (Mischungskorrosion) als hypogen anerkannt werde.

Im Weiteren wird „hypogen“ manchmal verwendet, wenn ein Gang irgendwie durch aufsteigendes Wasser entstanden sein könnte und bezeichnet das als gemäss Klimchouk. Seriöse Forscher verwenden hierfür die Bezeichnung „aufsteigende Speläogenese“.

Problem: Konvergenz - Morphologie

„Konvergenz“ wird vor allem in der Biologie verwendet, wenn ähnliche Formen verschieden entstanden sind. Beispielsweise haben Vögel und Fledermäuse Flügel, sind aber überhaupt nicht miteinander verwandt.

Viele Formen (Morphologie) der hypogen entstandenen Höhlen sind ähnlich zu Formen von „normalen“ Höhlen:

- Es gibt phreatische Deckenkolke und hypogene Cupolas;
- Es gibt Calcit-Adern und hypogen entstandene Calcit-Kristalle;
- Ein Schlüssellochprofil kann «normal» sein oder ehemaliger Zufluss von unten;
- Eine Wasserspiegel-Höhle kann „normal“ oder hypogen entstanden sein.
-

Somit genügen morphologische Beobachtungen oft nicht, um zu entscheiden, ob die Genese epi- oder hypogen war. Für eine sichere Diagnose „hypogen“ sind meist weitere Hinweise nötig, z.B. Gipsablagerungen in Kalkgestein (siehe Abb. 3). Bei gewissen Höhlen in Italien ist die hypogene Speläogenese fundiert, weil es in deren Nähe Aufstoss-Quellen hat, aus deren Wasser mehr als ein Kubikmeter CO₂ pro Sekunde entweicht, womit eine Ursache für die hypogene Entstehung (*sensu* Palmer) gefunden worden ist.



Abb. 8: Hier zeigt die Form der Gänge eindeutig die hypogene Entstehung (Foto: Mü)

Problem: Überprägung

Höhlen haben oft eine mehrphasige Entwicklung wobei die hypogene Phase am Anfang stand. In einer späteren Phase kann z.B. ein vadoser Gang eine hypogen entstandene Höhle anschneiden. Oder eine grosse Halle ohne Verbindung zur Aussenwelt - hypogen - kann durch Erosion geöffnet werden (siehe auch Abb. 5).

Allerdings sollte man nicht leichtfertig von Überprägung sprechen. Sollte z.B. jemand auf die Idee kommen, die Kristalhöhle Kobelwald wegen den Calcitkristallen und den Deckenkolken als „hypogen mit Überprägung“ zu bezeichnen, dann muss ich ihn enttäuschen: Die Kristalle haben sich bei mindestens 110 °C gebildet¹, also nicht in warmem, offenen Wasser.

5.) Wo gibt es hypogene Höhlen?

Die bekanntesten hypogenen Höhlen sind wohl jene um Carlsbad, New Mexico (z.B. Lechuguilla) oder in Italien (z.B. Frasassi). Jedoch werden in vielen Ländern immer mehr Höhlen als hypogen erkannt oder vermutet. Zurzeit sind dies in Österreich 100 Höhlen von 14'500, in der Schweiz hat es meines Wissens nur eine. Auch Ungarn ist ein Land mit vielen Höhlen die definitiv hypogen entstanden sind, z.B. die beiden Schauhöhlen Pal-völgyi und Szemlő-hegyi im Stadtteil Buda von Budapest.

Viele der hypogenen Höhlen sind nicht mehr aktiv und/oder überprägt. Eine aktive hypogene Höhle ist die Grotta Sulfurea in Acquasanta Terme (Italien). Diese hat am tiefsten Punkt eine Kammer mit 40 °C warmem Wasser, das entsetzlich stinkt. (Ein Bericht darüber ist in der AGS-Info 1/96, 31-35, erschienen.)

Slowenien / Karst School

An der Karst School wurde über möglicherweise hypogen entstandene Höhlen aus vielen Ländern berichtet. Während der Tagung haben wir einige Höhlen besucht, von denen zwei recht definitive Anzeichen von hypogener Speläogenese aufwiesen:

- Die Höhle Jama pri Sv. Treh kraljih hat keine natürliche Öffnung (sie wurde bei einem Tunnelbau angeschnitten) und eine Morphologie, die auf hypogene Entstehung deutet, und in der Nähe wurde bei Tiefenbohrungen schwefelhaltiges, warmes Wasser gefunden.
- Die in der Nähe liegende Höhle Mravljeto v Brezno v Gošarjevih Rupah hat Kuppeln, deren Detail-Morphologie auf stehendes Wasser mit wärmebedingter Konvektionsbewegung deutet.

Weitere Höhlen, die wir besuchten, gaben Anregungen zu interessanten Diskussionen über

deren mögliche hypogene Entstehung, manchmal eher ja, manchmal eher nein und teilweise sind weiter gehende Untersuchungen im Gang.

6.) Schlussbetrachtungen

Ob die hypogene Speläogenese in unseren alpinen Höhlen eine grosse Bedeutung hat, ist zweifelhaft. Trotzdem ist der Einbezug dieser Art der Höhlenentstehung durchaus eine wesentliche Erweiterung der Sichtweise. Und vielleicht sollten wir doch auch bei uns die Augen offen lassen...

Schon oft haben wir während Osterlagern im Ausland eigenartige Formen in Höhlen beobachtet. Vielleicht können wir nun solche Höhlen besser verstehen.

Weiterführende Literatur

Da dies ein Bericht über eine Tagung ist, wird auf eine ausführliche Liste von Literaturzitate verzichtet.

Ein grosses Werk über hypogene Höhlen stammt von Klimchouk:

„Hypogene Speleogenesis: Hydrogeological and Morphogenetic Perspective.“

Dieses 118-Seitige Buch aus dem Jahr 2007 (2. Auflage 2011) findet man mit Google mit den Stichworten „Hypogene Speleogenesis“ und kann es als pdf herunterladen (*seka_pdf93*).

Empfehlenswert ist auch das Buch von Art Palmer „Cave Geology“ (Cave Books, Dayton, Ohio) aus dem Jahr 2007, das an verschiedenen Stellen die hypogene Speläogenese beschreibt.

Ausblick

Die international Karstological School 2014 wird wiederum im Postojna (2. Juni-Hälfte) stattfinden und ist dem Thema **Mikrobiologie** gewidmet. Auch dieses Sachgebiet wird heute kontrovers diskutiert, weil oft - unter Ignorierung der Chemie - behauptet wird, dass Höhlen und Tropfsteine nur den Mikroorganismen zu verdanken seien.

¹ Die Homogenisationstemperatur von 110 °C wurde von Ph. Häuselmann bestimmt. Siehe auch „Die Kristalhöhle Kobelwald“ von Kürsteiner, Stünzi und Filipponi, 2004, S. 105-106