

Paragenese – ein häufiges Phänomen ostalpiner Höhlen

ZUSAMMENFASSUNG

Wenn Sedimente die Sohle eines vollständig wassererfüllten Gangs bedecken, kann sich das Profil bevorzugt nach oben entwickeln, was als Paragenese bezeichnet wird. Im Folgenden werden die daraus resultierenden Formen wie paragenetische Canyons, Bypässe, Deckenkarren, -mäander, -kanäle und -zapfen sowie Lösungsrampen, Wandkehlen und ebene Decken beschrieben.

Paragenetische Formen finden sich in Höhlen aller geologischen Einheiten der Ostalpen und sind dort generell häufig. Dabei wird auch deutlich, dass frühere Versuche, die Entstehung paragenetischer Höhlenteile ohne die Kenntnis dieses Prozesses zu beschreiben, fehlschlügen. Bei der Ausbildung einiger Gangquerschnitte war Paragenese ein Hauptfaktor und darf daher bei der Berechnung der Paläodurchflussmenge aus Fließgeschwindigkeit und heutigem Gangquerschnitt nicht vernachlässigt werden. Paragenese tritt besonders gehäuft in Höhlen mit punktueller Infiltration von Wässern aus Nichtkarstgebieten auf und kann daher ein Hinweis dafür sein. In den Höhlen(teilen) des Riesenhöhlen-niveaus (Nördliche Kalkalpen) und möglicherweise auch in anderen Höhlenniveaus wurde die Paragenese nicht durch karbonatreiche Feinsedimente, die während Kaltzeiten in die Höhle geschwemmt wurden,

verursacht und dürfte daher älter als das Quartär sein.

ABSTRACT

Paragenesis – a common phenomenon in caves of the Eastern Alps

If sediments cover the floor of a water-filled passage the profile can only develop upwards, which is known as paragenesis. The resulting forms including paragenetic canyons, bypasses, ceiling meanders, half-tubes, pendants as well as solution ramps and -notches, and flat ceilings are described. Examples of this phenomenon occur in all geological units of the Eastern Alps, and are generally widespread. Previous attempts to interpret the origin of such profiles without the knowledge of paragenetic processes failed. Calculations of the palaeo-discharge using flow velocities and today's cross sectional areas result in erroneous values if paragenesis is not taken into account. Paragenesis is especially pronounced in caves with point recharge from non-karstic catchments and can therefore be an indicator for such a regime. At least in the Giant Cave Level of the Northern Calcareous Alps paragenesis was not caused by carbonate-rich fine-grained sediments washed into the caves during Pleistocene cold periods and is therefore considered to be of pre-Quaternary origin.

Lukas Plan

Naturhistorisches Museum Wien,
Karst und Höhlen Arbeitsgruppe,
Museumsplatz 1/10, A-1070 Wien
lukas.plan@nhm-wien.ac.at

Eingelangt: 16.1.2013

Angenommen: 12.2.2013

EINLEITUNG

Paragenese in Bezug auf die Höhlenentstehung ist die nach oben gerichtete Lösung in einer vollständig wassererfüllten Passage, wenn Sedimente die Sohle bedecken. Werden die Sedimente später ausgeräumt und dadurch das ganze oder größere Teile des Profils freigelegt, kann dieser für die Gangprofilentwicklung sehr bedeutende Faktor leicht übersehen werden. Die dadurch entstandenen Gangformen sind ohne

Kenntnis dieses Prozesses und entsprechende Feldbeobachtungen oft schwer zu interpretieren und die Entstehung von „Canyons mit ungleichsinnigem Gefälle“ galt lange Zeit als ungeklärt (z.B. Fink, 1975: 45/2). Wie im Diskussionsteil erläutert wird, kam es zu Fehlinterpretationen bezüglich der Entstehungsbedingungen und vor allem der ehemaligen Durchflussmengen.

Da die meisten Höhlengewässer auch nicht-lösliche Sedimente transportieren und schon eine dünne Sedimentbedeckung ausreicht, um das darunter liegende Gestein vor der Lösung zu schützen, ist Paragenese ein sehr häufiges Phänomen. Sie wird aus vielen Höhlen weltweit beschrieben: Klassische Beispiele sind das Flint Ridge Mammoth Cave System (Kentucky, USA; Ford & Ewers, 1978) oder die Höhlen im Mulu National Park (Sarawak, Malaysia; Farrant et al., 1995). In der deutschsprachigen speleologischen

PARAGENESE

Begriffsprägung

Das Phänomen der Paragenese wurde schon früh erkannt und beschrieben (Bretz, 1942: 740; Renault, 1958: 31-33). Die erste Beschreibung aus dem ostalpinen bzw. deutschsprachigen Raum stammt von Bauer (1961; die Abbildung ist in Plan & Herrmann, 2010: 7 wiedergegeben) und betraf theoretische Überlegungen zur Entstehung der Paläotraun in der Dachstein-Mammuthöhle. Von Pasini (1966) wurde das Phänomen ebenfalls beschrieben und als *antigravitative Erosion* bezeichnet (wobei er den Begriff Erosion im weiteren Sinn für mechanische Erosion und Lösung verwendete).

Der Begriff *Paragenese* hat sich allerdings durchgesetzt. Er wurde von Renault (1968) folgendermaßen definiert (übersetzt): *Nach oben gerichtete Lösung der Decke in einem wassergefüllten Höhlenteil aufgrund der Sedimentbedeckung der darunterliegenden Sohle.* Paragenese tritt daher vorwiegend in vollständig mit Wasser gefüllten Gängen auf. In einer ausführlichen Darstellung des Phänomens mit einer Auflistung weltweiter Beispiele wies Pasini (2009) nochmals auf den von ihm vorgeschlagenen Namen hin.

Der Prozess der Paragenese und die im Folgenden beschriebenen daraus resultierenden Formen sind weitestgehend anerkannt und in der internationalen Literatur verankert (Lauritzen & Lundberg, 2000; Farrant, 2004; Ford & Williams 2007; Palmer, 2007; Farrant & Smart, 2011). Paragenese findet sich nicht nur in Karsthöhlen in Karbonatgesteinen, sondern auch in Höhlen in Gips und Steinsalz.

Abschließend soll angemerkt werden, dass Paragenese in Bezug auf die Höhlenentstehung nichts mit dem gleichnamigen Begriff in der Petrologie zu tun hat.

Paragenetische Formen

Da bisherige Beschreibungen zur Paragenese und ihren Formen fast ausschließlich in der oben zitierten

Literatur findet man jedoch kaum Beispiele, wo Raumprofile durch Paragenese erklärt werden.

Farrant (2004: 571) bemerkt abschließend in seinem Abriss zur Paragenese (übersetzt): ... *dennoch, das wahre Ausmaß und die Bedeutung der Paragenese und Sedimentfüllung für die Höhlenentstehung und -entwicklung wird vermutlich unterschätzt.* Dem soll im Folgenden entgegengewirkt werden, indem nach einer kurzen Erklärung des Begriffs die Häufigkeit und Ausprägung in ostalpinen Höhlen erörtert werden.

englischsprachigen Literatur zu finden sind, sollen sie hier kurz wiedergegeben werden.

Gangquerschnitte: Paragenetische Canyons und Profile sowie ebene Decken

Entlang einer oder mehrerer Initialfugen entstandene rundliche oder elliptische Profile können sich aufgrund der teilweisen Verfüllung mit Sedimenten vorwiegend nach oben erweitern, wodurch sich canyonartige bzw. kastenförmige Profile ausbilden (Abb. 1). Diese können beträchtliche Ausmaße annehmen: Das lösungsbedingte Einschneiden in die Decke aufgrund von Paragenese wurde bis zu einer Höhe von 50 m dokumentiert (Palmer, 2007: 264).

Wenn das Profil durch Lösung vergrößert wird, so sinkt bei gleichbleibendem Wasserdurchfluss die Fließgeschwindigkeit und Sediment kann sich ablagern. In Abhängigkeit von Sediment- und Wasserangebot stellt

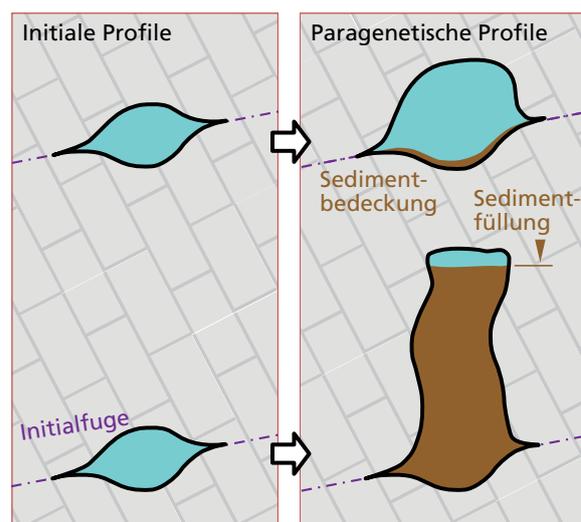


Abb. 1: Entstehung paragenetischer (Canyon-)Profile mit wenig und viel Sediment.

Verändert nach Lauritzen & Lundberg (2000).

Fig. 1: Development of paragenetic (canyon) profiles with little and much sediment.

Modified after Lauritzen & Lundberg (2000).

sich daher ein dynamisches Gleichgewicht zwischen der Sedimentations- bzw. Abtragsrate, die den freien Querschnitt bestimmt, und der Durchflussrate ein. Wird das Profil wieder freigelegt, so wird die für die ursprüngliche Ausbildung verantwortliche Fuge, wenn sie flach lagert, im unteren Profilbereich zu finden sein (Abb. 1) bzw. wenn sie senkrecht oder steil verläuft nicht immer am höchsten Punkt des Profils verlaufen. Im Gegensatz zu vadosen Canyons, deren Gefälle im Prinzip in eine Richtung weisen, können paragenetische Canyons bergauf und bergab führen.

In Passagen mit horizontalem Sedimentboden kann Paragenese zur Ausbildung subhorizontaler ebener Decken führen, die unabhängig von geologischen Strukturen (Schichtung, Störungen) verlaufen (Palmer, 2007: 264).

Ganglängsschnitte

Wird in einem auf- und abwärtsführenden Gang eine Senke vollständig mit Sediment verfüllt, so ist das Wasser gezwungen, verschiedene, oft weniger prominente Fugen oder Initialröhren zu erweitern, um den „Sedimentsiphon“ zu umgehen. Die meist eng-räumigen, verschlungenen und deshalb auch als *Korrenziehermorphologie* bezeichneten Überführungen, Parallelstrecken und tw. auch Unterführungen werden als *paragenetische Bypässe* bezeichnet (Lauritzen & Lundberg, 2000; Abb. 2).

Wird die Gangsenke nicht vollständig mit Sediment verschlossen, so setzt die Lösung nur an der Decke an und formt nur in diesem Bereich ein paragenetisches

Canyonprofil aus. Dies kann zu markanten Wechseln im Profilquerschnitt, vor allem bedingt durch die Raumhöhe, führen.

Selten ist auch ein Wechsel im Gangquerschnitt zwischen elliptischen Profilen in abwärtsführenden Höhlenteilen (im Sinne der Fließrichtung) zu canyonartigen Profilen in aufwärtsführenden Teilen festzustellen.

Kleinformen an der Decke: Paragenetische Deckenkarren, -mäandere und -kanäle

Meist sind dies geschwungene, teils vernetzte Kanäle an der Decke bzw. an überhängenden Wandpartien. Sie entstehen bei nahezu vollständiger Füllung des Profils mit Sediment, wobei sich zwischen diesem und der Decke Fließkanäle ausbilden, in denen das Gestein gelöst wird, aber die Fließgeschwindigkeit nicht ausreicht, um das darunterliegende Sediment zu erodieren (Abb. 3). Die Formen sind in der Regel nicht an Initialfugen gebunden. Bei fortschreitender Lösung bleiben oftmals nur zapfenförmige Gebilde (*ceiling pendants*) übrig. Teilweise gehen die Deckenkarren auch in kleine, meist schicht- oder störungsgebundene Röhren über, die analog zu den Bypässen entstehen können.

Im Gegensatz zu den paragenetischen Formen können sich auch aus Anastomosen (vernetzte, Dezimeter durchmessende Röhren) Deckenkarren entwickeln, wenn sie durch Herunterbrechen des unterlagernden Gesteinspakets freigelegt werden. Im Gegensatz zu paragenetischen Deckenkarren treten sie nur entlang

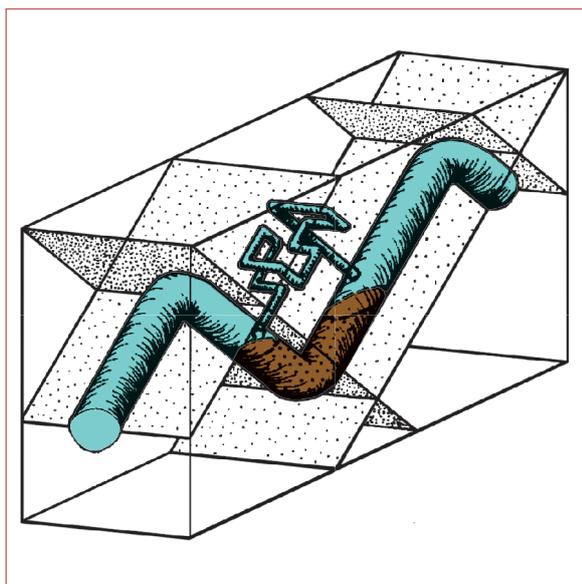


Abb. 2: Skizze eines paragenetischer Bypass.
Nach Lauritzen & Lundberg (2000).
Fig. 2: Sketch of a paragenetic bypass.
After Lauritzen & Lundberg (2000).

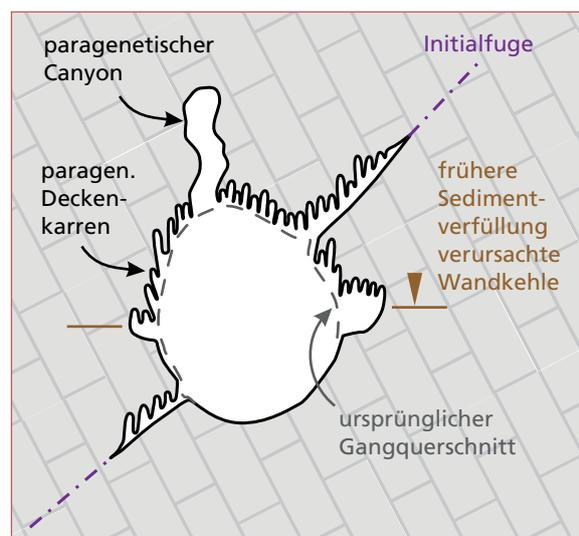


Abb. 3: Entstehung paragenetischer Deckenkarren, Canyons und Wandkehlen.
Verändert nach Lauritzen & Lundberg (2000).
Fig. 3: Origin of paragenetic ceiling pendants, canyons, half tubes and wall notches.
Modified after Lauritzen & Lundberg (2000).

Plan / Paragenese – ein häufiges Phänomen ostalpiner Höhlen

von Schichtflächen auf. Auch sie bilden sich großteils oberhalb der Fuge aus, was ebenfalls auf Sedimentbedeckung der Sohle (Paragenese in einem sehr kleinen Maßstab) oder unterschiedliche Lösungseigenschaften des Gesteins hindeutet.

Kleinformen an der Wand: Lösungsrampen oder Kehlen

Lösungsrampen (*solution ramps*) sind gewellte Stufen bzw. Kehlen (*wall notches*) in der Höhlenwand, die über einem ehemaligen Sedimentkörper im (epi)phreatischen Milieu entstanden. Sie können Wasserstandsmarken ähneln, sind aber nicht exakt horizontal.

BEISPIELE AUS DEN OSTALPEN

Im Folgenden werden einige Beobachtungen und Beispiele aus den Ostalpen beschrieben, wobei die Reihung nach großtektonischen Einheiten erfolgt.

Helvetikum

Das Schneckenloch (1126/1) im Bregenzerwald zeigt nur an wenigen Stellen eindeutig paragenetisch entstandene Profile, da die großen Gangquerschnitte im dünnbankigen Schrattekalk stark versturztgeprägt sind. In der ehemals zum selben hydrologischen System gehörenden Schneckenlochbachhöhle III (1126/4) ist eine Überführung gut als paragenetischer Bypass zu interpretieren (Abb. 4).

Freilegung der Formen

Viele dieser Formen bleiben dem Betrachter verborgen, wenn nicht zumindest Teile des Sediments wieder erodiert wurden. Viele Höhlengänge enden mit Sedimentverschlüssen bzw. ist die Mächtigkeit von Feinsedimenten oftmals unbekannt: Durch mächtige Sedimentablagerungen kann ein niedriger Schluf an der Decke eines meterhohen (verschütteten) Gang ausgebildet sein.

Die Formen werden nur freigelegt, wenn zu einem späteren Zeitpunkt die Strömungsgeschwindigkeit so groß ist, dass das Sediment wieder erodiert werden kann. Oftmals erfolgt dies durch vadose Bäche, die die existierenden phreatischen Passagen durchfließen.

Nördliche Kalkalpen

Dachstein

Für die Dachstein-Mammuthöhle zeigen detaillierte Untersuchungen, dass Paragenese ein wichtiger Faktor für die Ausbildung der heute sichtbaren Raumformen war (Bauer, 1961; Plan & Xaver, 2010). Paragenetische Canyons bzw. Gänge mit kastenförmigen Profilen aufgrund von sedimentbedeckter Sohle sind weit verbreitet, wobei die Paläotraun wohl eines der beeindruckendsten Beispiele im Ostalpenraum ist. Weiters finden sich oft Deckenkarren (Abb. 5 a und b) sowie Lösungsrampen. Die Lehmhalle ist ein schönes Beispiel einer riesigen horizontalen Decke (wobei die

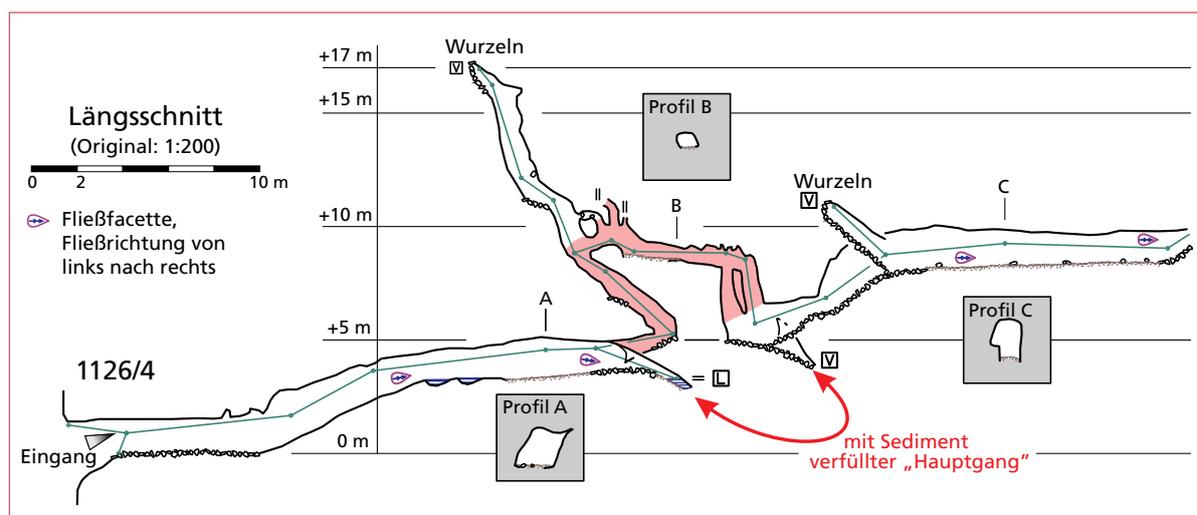


Abb. 4: Teil-Längsschnitt der Schneckenlochbachhöhle III (1126/4; verändert nach A. Klampfer). Ein paragenetischer Bypass über einem Sedimentsiphon ist in rosa dargestellt. Die Gangquerschnitte vom Hauptwasserweg (A und C) sind rund fünf Mal so groß wie die des Bypasses (B).

Fig. 4: Part of a longitudinal section of Schneckenlochbach Cave III (Vorarlberg, modified after A. Klampfer). A paragenetic bypass above a sediment sump is marked in pink. The cross sectional areas of the main gallery (A and C) are some five times larger than the one of the bypass (B).

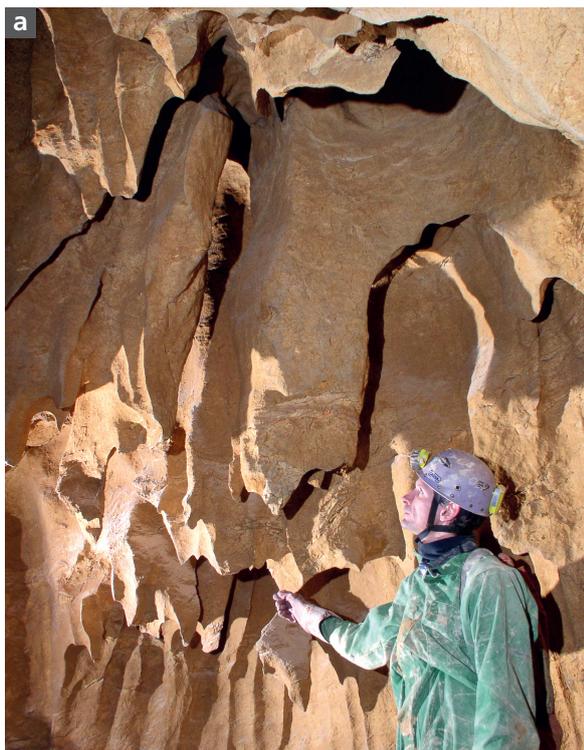


Abb. 5a: Über 1 m hohe Deckenkarren nahe dem Gorbivak in Transatlantis (Dachstein-Mammuthöhle).

Fig. 5a: More than 1 m high ceiling meanders near Gorbivak in Transatlantis (Dachstein-Mammuthöhle, Upper Austria).

Abb. 5b: Der Blick steil nach oben zeigt ihre komplexe, netzwerkartig-verschlungene Anlage.

Fig. 5b: Upward view showing the complex network-like intertwined arrangement. Fotos: L. Plan. Photos: L. Plan.

Schichten schräg dazu einfallen), deren Bildung über einem ebenen Sedimentkörper erfolgte. Die paläohydrologischen Verhältnisse des Dachsteins sind unklar. Die für die Dachstein-Mammuthöhle abgeschätzten Paläoschüttungen (Plan & Xaver, 2010) erzwingen nicht wie von Bock (1913) angenommen eine Speisung durch allogene Wässer aus den südlich gelegenen Zentralalpen. Dies ist aber trotzdem gut möglich. Aufgrund ihrer Lage an den Südstürzen des Dachsteins wurde die 10,9 km lange Südwandhöhle (1543/28) sehr wahrscheinlich von Wässern aus den Zentralalpen gespeist. An allogenen Sedimenten finden sich hauptsächlich mächtige Ablagerungen von Feinsedimenten (Ton bis Sand) aber nur selten Augensteinkiese mit bis zu wenigen Zentimetern Korngröße. Die großteils im Wettersteindolomit angelegte Höhle weist große paragenetische Canyons auf und etliche Passagen wie zum Beispiel die enge Überführung zwischen Ramsauer Dom und Schladminger Schacht sind paragenetische Bypässe. Kleinformen wie Deckenkarren sind im Dolomit kaum ausgebildet bzw. erhalten.

Totes Gebirge

Auch hier ist Paragenese in vielen Höhlen zu beobachten. Schöne Beispiele sind aus dem Burgunderschacht (1625/20), dem DÖF-Sonnenleiter-Höhle system (1625/379) und dem Grauen Riesen (1625/391) dokumentiert (Plan et al., 2009).

Auch aus der Raucherkarhöhle (Schönberg-Höhle system, 1626/300) wurden zahlreiche Vorkommen von Deckenkarren beschrieben (Kuffner, 1986, 1998), wobei ihre Entstehung teilweise bereits im Sinne der Paragenese interpretiert wurde (siehe Diskussion). Plan et al. (2009) ermittelten die (miozänen) Paläofließrichtungen im DÖF-Sonnenleiter-Höhle system, Schwarzmooskogel-Höhle system (1623/40), Schönberg-Höhle system (1626/300) und in Höhlen im Woising-Gebiet (1627) aufgrund des Einfallens der ehemaligen Karstwasserflächen, die sich in der Ausbildung der epiphreatischen Gänge entlang leicht geneigter Ebenen abbilden (im Sinne einer *speleogenetic phase* nach Häuselmann et al., 2003). Diese vier Höhlegebiete ergeben eher das Bild einer einstmaligen radialen Entwässerung des Toten Gebirges. Dies spricht für lokale (autogene) Speisung und eher gegen allogene Gerinne, die sich südlich vom Toten Gebirge sammelten und es Richtung Norden durchquerten.

Hochschwab

Das Frauenmuer-Langstein-Höhle system (Eisenerz, Stmk; 1742/1) wurde mit großer Wahrscheinlichkeit aus einem südlich gelegenen Gebiet gespeist, in dem Sand- und Tonsteine der Werfen Formation auftraten, deren bis zu 50 cm große Gerölle in der Höhle zu finden sind. Paragenetische Profile und Kleinformen sind in der Höhle häufig zu finden.



Abb. 6: Paragenetischer Canyon in der Paulinenhöhle (1837/11). Typisch ist, dass Initialfugen im oberen Profilabschnitt nicht identifiziert werden können. Foto: L. Plan.

Fig. 6: Paragenetic canyon in Paulinen Cave (Lower Austria). The initial fissures are typically not visible in the upper part of the profile. Photo: L. Plan.

Die 5,4 km lange Hirschgrubenhöhle (1744/450) weist an vielen Stellen paragenetische Deckenformen und Bypässe auf. Hier sind es vermutlich die weit verbreiteten Augensteinsande und -schotter, die für die Paragenese verantwortlich waren. Über die Paläohydrologie dieser auf rund 1900 m gelegenen Höhle können kaum Aussagen gemacht werden.

In der Feistringgrabenhöhle (1745/7), einer aktiven Wasserhöhle im Talniveau, sind paragenetische Raumprofile nur in aufsteigenden Gängen (im Sinne der Fließrichtung) festzustellen. Während die betauchte Siphonstrecke noch heute größtenteils mit Sediment erfüllt ist und hier der Canyoncharakter nur erahnt werden kann, wurde in den großräumigen, heute meist trockenen Teilen (Zackenklamm, Rundgang) das Sediment ausgeräumt (Plan et al., 2011).

Voralpiner Karst

Die canyonartigen Gänge der 242 m langen Paulinenhöhle (Türnitz, NÖ 1837/11) wurden von Fink (1975:

45/2) als Beispiele von „Canyons mit ungleichsinnigem Gefälle“, in denen ein „Auf- und Absteigen der Canyons“ zu beobachten ist, beschrieben. Er stellte fest, dass die Entstehung nicht auf vadose „Gravitationsgerinne“ zurückgeführt werden kann, und dass eine „Bildung [...] unter phreatischen Bedingungen nicht auszuschließen“ ist, wobei „die Untersuchungen über den Entstehungsvorgang [...] noch nicht abgeschlossen sind“. Des Weiteren fiel Riedel (1959) und Fink (1967: 100) auf, dass die Profile zwar schmal und hoch, aber die initialen Klüfte oder Störungen nur selten zu erkennen sind (Abb. 6).

Tatsächlich bietet die Paulinenhöhle schöne Beispiele für paragenetische Canyons, wobei auch Deckenkarren und -zapfen für eine bedeutende einstmalige Sedimentverfüllung sprechen.

Eines der wenigen untersuchten ausgedehnten phreatisch entstandenen Höhlensysteme, in dem praktisch keine paragenetischen Formen zu finden sind, umfasst das Trockene und Nasse Loch (Schwar-



Abb. 7: Odelsteinhöhle: Paragenetischer Canyon am Ende des Führungswegs (oben liegt der Eforationsgang). Zunehmende Sedimentbedeckung an der Sohle hatte zur Folge, dass das Profil nur nach oben erweitert wurde. In einem späten Stadium wurde kein Sediment mehr abgelagert und der Gang wurde auch in die Breite erweitert, was zur annähernden Schlüsselochform führt. Vadoses Fließen, das für „normale“ Canyonprofile verantwortlich ist, spielte bei der Formung dieses Profils keine Rolle, eventuell aber bei der Ausräumung des Sediments. Foto: E. Herrmann.

Fig. 7: Odelstein Cave (Styria): paragenetic canyon at the end of the tourist trail (the Efforationsgang starts above). Increasing sediment infill caused an upward growth of the profile. After sedimentation had ceased the gallery also expanded sideways. Vadose flow responsible for the formation of "normal" canyons had no impact on the development of this profile but possibly caused the erosion of the sediment. Photo: E. Herrmann.

zenbach/Pielach, NÖ; 1836/34 und /19). Es sind dies in etlichen Teilen nach wie vor aktive, zum Teil epiphreatische Wasserhöhlen, die durch dispers versickernde Niederschlagswässer gespeist werden. Lediglich einige kleinere Ponordolinen könnten im Einzugsgebiet der beiden Höhlen liegen.

Grauwackenzone

Die Odelsteinhöhle (Johnsbach, Stmk; 1722/1) zeigt mit ihren bis zu 10 m hohen paragenetischen Canyonprofilen (Abb. 7) sowie ihren Deckenkarren, Bypässen und sedimentverfüllten Gängen eine sehr starke paragenetische Prägung (Plan, 2010a; Plan & De Waele, 2011). Allochthone Höhlensedimente und die von den

Raumformen abgeleiteten paläohydrologischen Bedingungen weisen deutlich auf eine allogene Speisung durch Wässer aus nicht verkarstungsfähigen Einzugsgebieten der Grauwackenzone hin.

Ostalpinen Kristallin

Die Hermannshöhle (Kirchberg am Wechsel, NÖ; 2871/7) und genetisch zusammenhängende Höhlen im nahen Umfeld wie die Antonshöhle (2871/2) und die Rauchspalten (2871/34) wurden durch allogene Wässer gebildet, die ihr Einzugsgebiet in Schiefen und Gneisen des umliegenden Unterostalpins hatten (Kempe & Mrkos, 1991; Seemann, 1997). Paragenetische Formen sind in diesen Höhlen allgegenwärtig: An



Abb. 8: Hermannshöhle: Sinusförmig mäandrierender Deckencanyon mit 10 cm Breite im Bereich der Fürstenhalle.

Foto: L. Plan.

Fig. 8: Hermannshöhle cave: sinusoidal ceiling meanders (width 10 cm) near Fürstenhalle.

Photo: L. Plan.

Raumprofilen dominieren paragenetische Canyons und es gibt viele Bypässe und Deckenkarren (Abb. 8) an den meisten überhängenden Wandpartien. Schöne Beispiele für paragenetische Lösungsrampen finden sich zum Beispiel im *Großen Dom*.

ÜBERBLICK

Tabelle 1 gibt einen Überblick über Höhlen, die bezüglich des Auftretens paragenetischer Formen untersucht (Feldbeobachtungen und Literatur) wurden, sowie eine semiquantitative Abschätzung des Einflusses der Paragenese auf das jeweilige Gesamtbild der Höhle, wobei neben den bereits erwähnten weitere Beispiele angeführt sind. Ferner wurde versucht ab-

DISKUSSION

Paragenese ist aufgrund der großen Mengen an schlecht löslichem Sediment in fast allen Karstgebieten der Ostalpen häufig. In den Zentralalpen und der Grauwackenzone ist dies bei den oftmals vorherr-



Abb. 9: Ein dichtes Netzwerk von 5–10 cm breiten Karren in einer ebenen Höhlendecke in der Steiner Lehmhöhle (3922/4).

Foto: O. Jamelnik.

Fig. 9: A dense network of 5–10 cm wide half-tubes on a flat ceiling in the Steiner Loam Cave (Carinthia).

Photo: O. Jamelnik.

Ein Beispiel am Rande des Wiener Beckens ist die Altaquelle (Bad Erlach, NÖ; 2871/1), in der Deckenkarren auf eine einstmalige Sedimentverfüllung hindeuten. Durch diese in einem Kalkmarmorzug gelegene Höhle fließt bei Hochwasser ein Teil des Schwarza-Wassers zur südlich gelegenen Pitten.

Südliche Kalkalpen

Aus diesem Abschnitt, der im Wesentlichen den karbonatischen Anteil der Südalpen sowie den Drauzug und die Karawanken umfasst, liegen bisher nur wenige Beobachtungen vor. Lediglich in der nur 45 m langen Steiner Lehmhöhle (3922/4) südwestlich von Bad Vellach (Kärnten) zeigen Deckenkarren und eine ebene Höhlendecke eine einstmalige fast vollständige Verfüllung mit Sediment (Abb. 9).

zuschätzen, ob die Höhle während ihrer Entstehung durch lokal versickernde Wässer gespeist oder ob sie durch Ponore punktuell infiltriert wurde. Das Zweite bedeutet meist, dass im Einzugsgebiet nicht-verkarstungsfähige Gesteine vorkommen, die auch als nicht-lösliche Sedimente in die Höhle verfrachtet wurden.

schenden Kontaktkarstbedingungen, bei denen die meist relativ kleinräumigen Karstgebiete von Nicht-Karstgesteinen umgeben sind, naheliegend. Ähnlich bietet die Schichtfolge im Helvetikum, bei der sich

Plan / Paragenese – ein häufiges Phänomen ostalpiner Höhlen

Tabelle 1: Einige Beobachtungen bezüglich Paragenese in ostalpinen Höhlen.

Table 1: Some observations regarding paragenesis in caves of the Eastern Alps.

PG (Paragenese): 1: sehr dominant bis 5: nicht zu beobachten; ^ nur in aufsteigenden (Siphon)teilen.**Form (Art der paragenetischen Formen):** K – Deckenkarren und -kanäle, C – Paragenetische Canyons, E – Ebene Decke, B – Bypässe, R – Lösungsrampen**PI (Punktueller Infiltration – über Ponore, meist gespeist aus Gebieten mit nicht verkarstungsfähigem Gestein):**

1: ausschließlich bis 5: nicht gegeben; (?): fraglich.

PG (paragenesis): 1: very dominant to 5: not observed; ^ only in ascending (siphon) galleries.**Form (type of paragenetic feature):** K – ceiling meander, C – paragenetic canyons, E – flat ceiling, B – bypass tube, R – solution ramps**PI (point recharge – via ponors, mostly fed from non-karstic catchments):** 1: exclusively to 5: not existing; (?): questionable.

Geologische Einheit	Gebiet	Kat.Nr.	Höhle	L [km]	PG	Form	PI	Literatur, Quelle
Helvetikum	Hoher Ifen	1126/1 /2-4	Schneckenloch und -lochbachhöhlen 1-3	3,5	4	K, (C), B	3	eigene Beobachtung
Nördl. Kalkalpen	Dachstein	1543/28	Südwandhöhle	11	2	C, B	2	eigene Beobachtung
	Dachstein	1547/9	Dachstein-Mammuthöhle	67	2	K, C, E, R	2?	Plan & Xaver, 2010
	Totes Gebirge	1625/20	Burgunderschacht	23	3	K, C	3?	eigene Beobachtung
	Totes Gebirge	1625/379	DÖF-Sonnenleiter HS.	23	3	K, C	3?	eigene Beobachtung
	Totes Gebirge	1626/300	Schönberg-Höhlensys.	136	3	K, E, ?	3?	Kuffner, 1989
	Hohe Schrott	1616/67	Langwandhöhle	0,9	3	K, C	?	Plan & Tenreiter, 2009
	Gesäuse	1712/71	Wildschützenhöhle	0,3	2	K, C	2?	pers. comm Herrmann
	Gesäuse	1713/7	Jahrlingmauerhöhle	1,5	2	K, C	?	Plan, 2009a
	Gesäuse	1714/1	Bärenhöhle	1,3	1	K, C	2	Herrmann & Fischer 2013
	Hochschwab	1742/1	Frauenmuer-Langstein-HS.	35,4	3	K, C	2	eigene Beobachtung
	Hochschwab	1744/450	Hirschgrubenhöhle	5,4	3	K, C	?	eigene Beobachtung
	Hochschwab	1745/7	Feistringgrabenhöhle	0,7	3^	C	5	Plan et al., 2011
	NÖ Voralpen	1836/34	Trockenes Loch	4,5	5	(K)	4	eigene Beobachtung
	NÖ Voralpen	1836/20	Nixhöhle	1,4	3	K	2?	eigene Beobachtung
NÖ Voralpen	1836/18 /180	Mariannenhöhle Bärenlucke	1,3	3	C, B	2	eigene Beobachtung	
NÖ Voralpen	1836/27	Trobachhöhle	0,8	4^	(C)	5	eigene Beobachtung	
NÖ Voralpen	1837/11	Paulinenhöhle	0,2	2	K, C	?	eigene Beobachtung	
Wienerwald	1911/2	Allander Tropfsteinhöhle	0,2	4	K, C	?	Plan, 2011b	
Grauwackenzone	Gesäuse	1722/1	Odelsteinhöhle	0,5	2	K, C, R	1	Plan, 2010a
Ostalpines Kristallin	Wechsel	2871/7, /34,/2	Hermannshöhle, Rauchspalten, Antonshöhle	4,9	1	K, C, E, B, R	1	eigene Beobachtung
	Wr. Becken	2871/1	Altaquelle	0,3	2	K	1	eigene Beobachtung
	Floining	1731/1	Rettenwandhöhle	0,7	3	K, C	2?	Plan, 2009b
	Troiseck	1732/2 1733/3	Weißbacher Wasserhöhle Offenbacher Westhöhle	0,7	2	K, C	1	Plan, 2011a
Südliche Kalkalpen	Karawanken	3922/4	Steiner Lehmhöhle	0,1	4	K, E	?	pers. comm Jamelnik

Karbonate und Nichtkarstgesteine abwechseln, viele Quellen für große Mengen an schlecht löslichem Höhlensediment. Auch in den zentralen und östlichen Nördlichen Kalkhochalpen, die vor rund 30 Ma mit bis über 1 km mächtigen Augensteinsedimenten bedeckt wurden (Frisch et al., 2002), sind diese Sedimente und ihre Verwitterungsprodukte ebenfalls sehr häufig in Höhlen anzutreffen. Hier spielen nicht lösliche Gesteine aus den Kalkalpen selbst nur lokal eine Rolle.

Lediglich in wenigen Gebieten der Kalkvoralpen treten lokal gespeiste Höhlen auf, in denen das Angebot an unlöslichem Sediment gering ist und es daher kaum zu paragenetischen Bildungen kommt.

Da Sedimentverfüllungen und Paragenese wichtige Faktoren bei der Höhlenentwicklung sein können, kann das Nichterkennen zu Fehlinterpretationen bezüglich der Raumentwicklung führen. Besonders wenn der gesamte Gangquerschnitt (paragenetischer

Canyon) betroffen ist, führt dies auch zu falschen Aussagen über die Paläodurchflussmenge. Ein bekanntes Beispiel dafür ist die Abschätzung der ehemaligen Durchflussmenge der Paläotraun durch Bock (1913) und die daraus resultierende Interpretation eines enormen Einzugsgebiets. Die Untersuchungen von Bauer (1961) sowie Plan & Xaver (2010) legen nahe, dass nur jeweils ein Teil des Profils für den Durchfluss zur Verfügung stand und ein Großteil des heute sichtbaren Querschnitts mit Sediment verfüllt war. Neben anderen Korrekturen (siehe Diskussion in Plan & Xaver, 2010) führt das Vernachlässigen der teilweisen Sedimentverfüllung in diesem Fall grob abgeschätzt zu einer Reduktion der Wassermenge bei Flutereignissen um einen Faktor 5 bis 10 auf rund 15 m³/s.

Die von Fink (1975) aus der Paulinenhöhle (1837/11) bzw. Mrkos (1997: 93) aus der Hermannshöhle beschriebenen Canyons mit ungleichsinnigem Gefälle respektive gegenläufige Canyons stellten ein Rätsel dar. In beiden Fällen wurde richtig interpretiert, dass es sich aufgrund der Raumformen nicht um normale vadose Canyons, sondern um phreatische Bildungen handelt. Wieso das Wasser aber in einem Canyon bergauf und bergab fließen kann, konnte nicht geklärt werden. Aufgrund der heutigen Modellvorstellungen ist in beiden Höhlen klar nachvollziehbar, dass Paragenese für die Ausbildung der Canyonprofile verantwortlich war.

Kuffner (1986, 1998: 141-143) erörtert die Entstehung von Deckenkarren anhand von Beispielen aus der Raucherkarhöhle (Schönberg-Höhlsystem, 1626/300), in der sie vor allem im Deckenkarrengang sehr zahlreich und großflächig auftreten. Er interpretierte einen Teil als Bildungen über einer ehemaligen Sedimentbedeckung im Sinne der Paragenese bzw. nach einem Modell von Warwick (1962). Der Großteil der Formen wird im Sinne von Ewers (1966) als Schichtfugen-Anastomosen interpretiert: Diese entstanden in der Initialphase der Höhlenentwicklung, in der das Wasser durch ein Netz kleiner Röhren fließt, und wurden durch das Herunterbrechen des darunterliegenden Schichtpakets freigelegt (z.B. Lauritzen & Lundberg, 2000: 419). Nach anderen Autoren wird die Entstehung von Schichtfugen-Anastomosen, abgesehen von Ausnahmen, nicht in der Initialphase der Höhlenentste-

hung angenommen, sondern als Resultat von Flutereignissen, bei denen Wasser in Schichtfugen gepresst wird und es dadurch zur Ausbildung der vernetzten Röhren kommt (Palmer, 2007: 203-204).

Auch die völlig ebene Decke im Verlorenen Gang der Raucherkarhöhle, die als tektonisch verkippte „Laugdecke“ (vermutlich im Sinne von Kempe et al., 1975) interpretiert wurde (Kuffner, 1998: 142), kann einfacher als Produkt der Paragenese interpretiert werden (vgl. Palmer, 2007: 264).

In der internationalen Fachliteratur wird bezüglich Paragenese in ostalpinen Höhlen aufgrund der Überlegungen von Bauer (1961) als einziges Beispiel die Paläotraun der Dachstein-Mammuthöhle (fälschlicherweise wurde sie in die Eisriesenwelt verlegt) erwähnt (u.a. Lauritzen & Lundberg, 2000; Pasini, 2009; Farrant & Smart, 2011).

Farrant & Smart (2011) schlossen aus Beschreibungen in Plan et al. (2009) und Plan (2010b), dass die Sedimente, die die Paragenese in den Höhlen der Nördlichen Kalkalpen verursacht haben, während der Eiszeiten in die Höhlen verfrachtet wurden. Zweifelsohne gab es vor allem in den Abschmelzphasen nach den Kaltzeiten ein großes Wasserangebot, das in die Höhlen eingespeist wurde und zu Sedimentumlagerungen führte. Auch das Sedimentangebot war groß. In der Dachstein-Mammuthöhle ist aber gut zu beobachten, dass die jüngsten laminierten karbonatreichen Feinsedimente (von Seemann, 1973 als helle Tone bezeichnet), die als Ablagerung von kaltzeitlichen back floodings interpretiert werden (Flutungen der Höhlen, während die Täler und Quellen vom Gletscher bedeckt sind), nicht für die Paragenese verantwortlich waren (Plan und Xaver, 2010). Reste älterer Sedimente (Augensteinsande und -konglomerate) finden sich teilweise in den Deckenkarren und waren vermutlich für deren Formung verantwortlich.

Ein weiteres Argument gegen die Deutung von Farrant & Smart (2011) ist, dass die während der Kaltzeiten in die Höhlen eingeschwemmten Sedimente in den Kalkalpen oft einen sehr hohen Kalkanteil haben (Seemann, 1973). Somit sind sie auch nicht zur Ausbildung paragenetischer Formen geeignet, da diese Sedimente aufgrund ihrer um ein Vielfaches größeren Oberfläche vermutlich eher gelöst werden als die Höhlendecke.

SCHLUSSFOLGERUNG

Die bisherigen Untersuchungen zeigen, dass ehemalige Sedimentverfüllungen und die daraus resultierende Paragenese in den meisten phreatisch bzw. epiphreatisch entstandenen Höhlen der Ostalpen zu beobachten sind. Phreatische Höhlensys-

teme, die wenig oder keine paragenetische Überprägung aufweisen, sind selten. Dies liegt vermutlich daran, dass bei den meisten Höhlen ein großes Angebot an schlecht löslichem Sediment gegeben war. In einigen Höhlen bzw. Höhlenteilen ist Paragenese

ein Hauptfaktor für die Form und Dimension der Gänge. Daher ist bei der Ermittlung des Paläodurchflusses aufgrund von Fließgeschwindigkeitsindikatoren und dem Gangquerschnitt Vorsicht geboten, da es bei paragenetischen Profilen ansonsten zu signifikant überhöhten Werten kommt. Zumindest in den höhergelegenen Höhlen (Riesenhöhlenniveau) der Nördlichen Kalkalpen sind die paragenetischen Formen vermutlich vor dem Quartär entstanden, d.h. älter als

2,6 Millionen Jahre alt, und wurden nicht durch die während der Kaltzeiten in die Höhlen eingeschwemmten hellen Tone verursacht.

Wie erwartet sind paragenetische Formen vor allem in Höhlen mit punktueller Infiltration beziehungsweise allogener Infiltration besonders ausgeprägt. Paragenetische Formen können deshalb einen Hinweis auf die ehemaligen Infiltrationsbedingungen in alpinen Höhlen geben.

DANK

An der Diskussion waren beteiligt: Augusto Auler, Jo De Waele, Andrew Farrant, Philipp Häuselmann, Eckart Herrmann, Stein Erik Lauritzen, Andrea Schober,

Robert Seebacher und Christoph Spötl. Für Hinweise im Zuge des Reviews danke ich Marco Filipponi und Stephan Kempe.

LITERATUR

- Bauer, F. (1961): Sedimentation und Konvakuationserweiterung in aufsteigenden Siphonstrecken. – *Atti Symp. Internaz. Speleol., Varenna (Como), Rassegna Speleologica Italiana*, 5(1): 171–175.
- Bock, H. (1913): Alte Höhlenstromläufe im Inneren des Mittagkogels. – In: Bock, H., Lahner, G. & Gaunersdorfer, G. (Eds.): *Höhlen im Dachstein*. – Graz (Verein f. Höhlenkunde in Österreich): 72–88.
- Bretz, J.H. (1942): Vadose and phreatic features of limestone caverns. – *Journal of Geology*, 50(6): 675–811.
- Ewers, R.O. (1966): Bedding-plane anastomoses and their relation to cavern passages. – *Nat. Speleol. Soc. Bulletin*, 28 (3): 133–140.
- Farrant, A. (2004): Paragenesis. – In: Gunn (Hrsg.): *Encyclopedia of Caves and Karst Science*. Fitzroy Dearborn, New York, London: 569–571.
- Farrant, A.R. & Smart, P.L. (2011): Role of sediment in speleogenesis; sedimentation and paragenesis. – *Geomorphology*, 134: 79–93.
- Farrant, A.R., Smart, P.L., Whitaker, E.F. & Tarling, D.H. (1995): Long term Quaternary uplift rates inferred from limestone caves in Sarawak, Malaysia. – *Geology*, 23: 357–360.
- Fink, M.H. (1967): Tektonik und Höhlenbildung in den Niederösterreichischen Kalkalpen. – *Die Höhle*, Beiheft Nr. 11.
- Fink, M.H. (1975): Studien über Canyons in alpinen Höhlen. – *Abh. V. Int. Kongr. f. Speläologie Stuttgart*, Bd. 3 (München): 45/1–3.
- Ford, D. & Williams, P. (2007): *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. – Chichester (Wiley).
- Ford, D.C. & Ewers, R.O. (1978): The development of limestone cave systems in the dimensions of length and depth. – *International Journal of Speleology*, 10(3–4): 213–244.
- Frisch, W., Kuhlemann, J., Dunkl, I., Székely, B., Vennemann, T., Rettenbacher, A. (2002): Dachstein-Altfläche, Augenstein-Formation und Höhlenentwicklung – die Geschichte der letzten 35 Millionen Jahre in den zentralen Nördlichen Kalkalpen. – *Die Höhle*, 53 (1): 1–36.
- Häuselmann, P., Jeannin, P.Y. & Monbaron, M. (2003): Role of epiphreatic flow and soutirages in conduit morphogenesis: the Bärenschacht example (BE, Switzerland). – *Zeitschrift f. Geomorph.*, 47: 171–190.
- Herrmann, E. & Fischer, R. (2013): Höhlen im Hochtort. – *Die Höhle*, Beiheft Nr. 59.
- Kempe, S. & Mrkos, H. (1991): Zur Speläogenese der Hermannshöhle bei Kirchberg am Wechsel / Niederösterreich. – *Mitt. Verb. dt. Höhlen- u. Karstforsch.*, 34(4): 76–81.
- Kempe, S., Brandt, A., Seeger, M. & Vladi, F. (1975): „Facetten“ and „Laugdecken“, the typical morphological elements of caves developing in standing water. *Ann. de Spéléologie*, 30/4: 705–708.
- Kuffner, D. (1986): Deckenkarren - Ein Beitrag zur Speläogenese. – *Die Höhle*, 37 (3): 157–167.
- Kuffner, D. (1998): Höhlenniveaus und Altflächen im Westlichen Toten Gebirge. – *Die Höhle*, Beiheft Nr. 53.
- Lauritzen, S.-E. & Lundberg, J. (2000): Solutional and erosional morphology. – In: Klimchouk A., Ford D., Palmer A. & Dreybrodt W. (Hrsg.), *Speleogenesis: Evolution of Karst Aquifers*. National Speleological Society, Huntsville, Alabama: 408–426.
- Mrkos, H. (1997): Zur Entstehung der Hermannshöhle. – In: Hartmann, H., Hartmann, W. & Mrkos, H. (Hrsg.): *Die Hermannshöhle in Niederösterreich*. – *Die Höhle*, Beiheft, Nr. 50: 89–100.
- Palmer, A. (2007): *Cave Geology*. – *Daton (Cave Books)*.
- Pasini, G. (1966): I canali di volta nelle grotte carsiche del Bolognese. Nuove ipotesi sulla loro formazione. – *Graduation Short Experimental Thesis no. 280*, Bologna University.
- Pasini, G. (2009): A terminological matter: paragenesis, antigravitative erosion or antigravitational erosion? – *Int. Journal of Speleology*, 38 (2): 129–138.
- Plan, L. & De Waele, J. (2011): Folia in der Odelsteinhöhle, Steiermark – Erstnachweis im deutschsprachigen Raum. – *Die Höhle*, 62: 54–57.
- Plan, L. & Herrmann, E. (2010): Paläotraun? Der Wissenschaftsdisput um die Entstehung der Dachstein-Mammuthöhle. – *Die Höhle*, 61: 3–17.

Plan / Paragenese – ein häufiges Phänomen ostalpiner Höhlen

- Plan, L. & Tenreiter, C. (2009): Die Langwandhöhle (1616/67) auf der Hohen Schrott, Oberösterreich. – Die Höhle, 60: 77–83.
- Plan, L. & Xaver, A. (2010): Geomorphologische Untersuchung und genetische Interpretation der Dachstein-Mammuthöhle (Österreich). – Die Höhle, 61: 18–38.
- Plan, L. (2009a): Bericht über die Befahrung der Jahrlingmauerhöhle (1713/7a–c). – Unveröff. Bericht Nationalpark-Gesäuse.
- Plan, L. (2009b): Geomorphologische Beobachtungen in der Rettenwandhöhle und Wohnhöhle (Kapfenberg, Stmk.). – Höhlenkundl. Mitt., Wien, 65 (1/2): 26–28.
- Plan, L. (2010a): Genetische Charakterisierung der Odelsteinhöhle (Johnsbach, Stmk.). – Höhlenkundl. Mitt., Wien, 66 (3/4): 47–50.
- Plan, L. (2010b): Significance of paragenesis in caves of the Eastern Alps. – Geophysical Research Abstracts 12: EGU2010-14673.
- Plan, L. (2011a): Nachvermessung der Weißenbacher Wasserhöhle (1732/2). Höhlenkundl. Mitt., Wien, 67 (7/8): 80.
- Plan, L. (2011b): Beobachtungen zur Entstehung der Allander Tropfsteinhöhle. – Höhlenkundl. Mitt., Wien, 67 (9/10): 103–104.
- Plan, L., Filipponi, M., Behm, M., Seebacher, R. & Jeutter, P. (2009): Constraints on alpine speleogenesis from cave morphology – a case study from the eastern Totes Gebirge (Northern Calcareous Alps, Austria). – Geomorphology, 106 (1-2): 118–129.
- Plan, L., Schafheutle, M. & Bürger, K. (2011): Neubearbeitung der Feistringgrabenhöhle bei Aflenz (1745/7). – Höhlenkundl. Mitt., Wien, 67 (3/4): 31–37.
- Renault, Ph. (1958): Eléments de spéléomorphologie karstique. Annales de Spéléologie, 13(1-4): 23–48.
- Renault, Ph. (1968): Contribution à l' étude des actions mécaniques et sédimentologiques dans la spéléogénèse. 3e partie: Les facteurs sédimentologiques. – Annales de Spéléologie, 23(3): 529–596.
- Riedl, H. (1959): Die Paulinenhöhle im Klausberg bei Türitz. – Höhlenkundl. Mitt., Wien, 15 (3): 25–27.
- Seemann, R. (1973): Die Genese der Pyrite der Karstgebiete der Nördlichen Kalkalpen. – Unveröff. Diss. Univ. Wien.
- Seemann, R. (1997): Sediment- und Mineralinhalt der Hermannshöhle. – In: Hartmann, H., Hartmann, W. & Mrkos, H. (Red.): Die Hermannshöhle in Niederösterreich. – Die Höhle, Beiheft Nr. 50: 107–132.
- Warwick, G.T. (1962): The origin of limestone caves. – In: Cullingford, C. H. D. (Hrsg.): British Caving – An Introduction to Speleology, 2. Aufl. – Chessler (London): 5–82.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Die Höhle](#)

Jahr/Year: 2013

Band/Volume: [064](#)

Autor(en)/Author(s): Plan Lukas

Artikel/Article: [Paragenese - ein häufiges Phänomen ostalpiner Höhlen 3-14](#)