

Die speläogenetischen Bereiche am Beispiel des Wägitals (CH)

Marco Filipponi¹, Andreas Dickert²

Zusammenfassung: Das Konzept der speläogenetischen Bereiche unterteilt ein verkarstetes Gebirge in fünf Bereiche mit unterschiedlichen Karströhrencharakteristika und speläogenetischen Prozessen. Die Unterteilung eines Gebirges in diese Bereiche erfolgt aufgrund von speläomorphologischen Aspekten. Sie erlaubt ein besseres Verständnis der Höhlen- und Karstentwicklung in einem Untersuchungsgebiet, eine differenzierte Beschreibung und Charakterisierung der bekannten Karstvorkommen und eine sinnvolle Reduktion der speläo-topometrischen Daten.

Diese Arbeit zeigt am Beispiel eines Sektors des Wägitals das Ausscheiden und Charakterisieren der speläogenetischen Bereiche.

Schlüsselwörter: speläogenetische Bereiche, Karstcharakteristiken, Wägital.

Das Konzept der speläogenetischen Bereiche

Das Konzept der speläogenetischen Gliederung eines verkarsteten Gebirges in fünf Bereiche, mit unterschiedlichen Karströhrencharakteristika und speläogenetischen Prozessen wurde von FILIPPONI (2009) UND FILIPPONI & JEANNIN (2009) eingeführt [Abb. 1]. Das Konzept ist angelehnt an die hydrogeologische Einteilung eines Karstgebietes (Epikarst, vadose und phreatische Zone), dem Konzept der speläogenetischen Stadien (z.B. LOWE, 1992), dem Konzept der Epikarstschächte (BARÓN, 2002) und dem Konzept der Höhlenniveaus (z.B. PALMER, 1987). Die Unterteilung eines Gebirges in die speläogenetischen Bereiche erfolgt aufgrund von speläomorphologischen Aspekten.

- Der Epikarstbereich ist der oberflächennahe Bereich des Karstgebirges und entspricht dem hydrogeologischen Epikarst. Er umfasst die oberflächennahen 0 - 20 m. Die Mächtigkeit kann – bedingt durch die Oberflächenerosion sowie die Intensität der Verkarstung – räumlich stark variieren. Der Bereich zeichnet sich durch eine wesentlich erhöhte Permeabilität aus. Diese ist auf die meist noch intensive Lösungsfähigkeit der Sickerwässer zurückzuführen, die entlang von Trennflächen in den Untergrund versickern und diese erweitern. Die verbreitetsten Karstformen sind erweiterte Trennflächen oder kleine Karströhren. Eigentliche Höhlen fehlen weitgehend.
- Unterhalb des Epikarstbereichs schliesst sich der Epikarstschacht-Bereich an. Der Bereich ist für die Entwässerung des Epikarstes zuständig. Die meist verbreitete Karstform sind spaltenartige, eher enge Schächte mit einem Durchmesser von einigen Dezimetern bis Metern.

Der Bereich hat eine räumlich stark variierende Mächtigkeit von 20 - 50 m und geht mit der Tiefe in den Schachtbereich über.

- Der Schachtbereich befindet sich im Liegenden des Epikarstschacht-Bereichs. Morphologisch wechseln sich grossräumige, tiefe Schächte (bis zu >20 m breit und bis zu >100 m tief) und subhorizontale Mäanderpassagen ab. Die Mächtigkeit des Schachtbereichs hängt von der Mächtigkeit der vadosen Zone ab und kann mehrere hundert Meter betragen. Der Schachtbereich endet mit dem Eintauchen der Höhlengänge in den horizontalen Höhlenbereich.
- Der Horizontalhöhlenbereich liegt im Liegenden des Schachtbereichs. Die Karströhren sind im Gegensatz zu jenen in den darüber liegenden Bereichen unter phreatischen oder epiphreatischen Bedingungen entstanden. Die Karströhren haben in der Regel einen subhorizontalen Gangverlauf mit charakteristischen Loops und entwickeln sich in der epiphreatischen Zone und in den obersten 30 - 60 m der phreatischen Zone. Die Gänge weisen oft einen runden bis elliptischen Querschnitt auf, wobei Durchmesser von bis zu mehreren Quadratmetern häufig sind.

Die Karströhren sind immer (phreatische Zone) oder zeitweise (epiphreatische Zone) vollständig mit Wasser gefüllt.

- Als Initialbereich wird der Gebirgsbereich des Karstaquifers bezeichnet, der sich unterhalb des Horizontalhöhlenbereichs erstreckt. Die kleinen Hohlräume sind permanent mit Wasser gefüllt, die Durchlässigkeit und damit der Grundwasserfluss sind noch sehr gering. In diesem Bereich befindet sich die Verkarstung noch im Anfangsstadium.

Im Initialbereich werden Trennflächen zu Initialfugen, welche später zu Karströhren erweitert werden können. Eigentliche Karströhren sind im Initialbereich nicht zu erwarten. Hingegen treten bereits bis auf wenige cm erweiterte Trennflächen auf.

¹ *Arbeitsgemeinschaft für Speläologie Regensburg (AGSR). marco.filipponi@bauen-im-karst.info*

² *Ostschweizerische Gesellschaft für Höhlenforschung (OGH)*

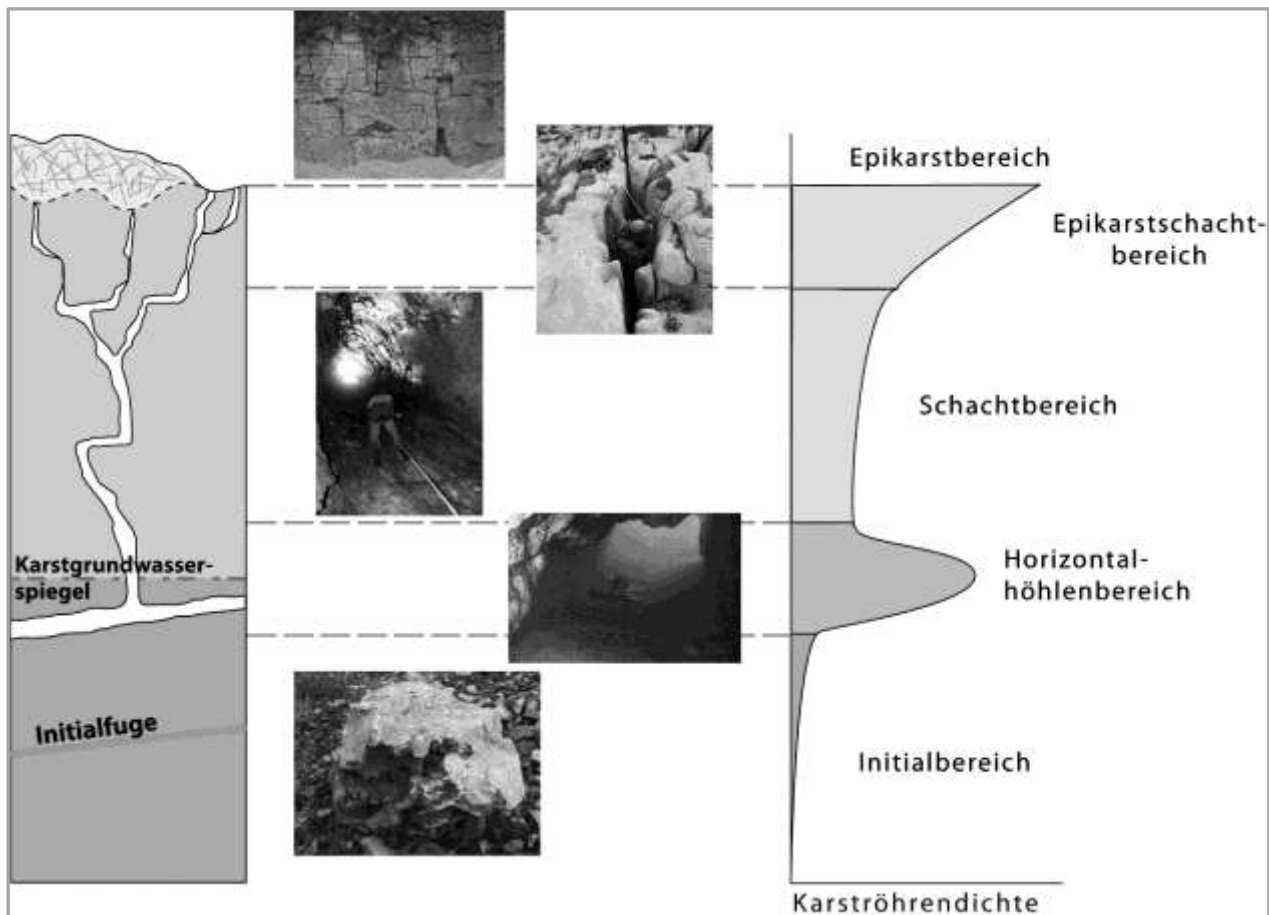


Abb. 1: Die speleogenetischen Bereiche in einem verkarsteten Gebirge: Die Morphologie und Hydrogeologie der Karströhren und deren Auftretensdichte hängen von den speleogenetischen Bereichen ab – Epikarstbereich, Epikarstschachtbereich, Schachtbereich, Horizontalhöhlenbereich und Initialbereich.

In einem alpinen Kontext, in welchem die Landschaft durch Gletschervorstöße und Tiefenerosion regelmässig verändert wurde, mussten sich die Karstsysteme regelmässig an die veränderten hydrologischen Rahmenbedingungen anpassen (z.B. AUDRA et al., 2007). Dabei werden die speleogenetischen Bereiche einer bestimmten Zeit durch die späteren speleogenetischen Prozesse teilweise überprägt. In jeder Phase entwickelt sich auf dem Niveau des Vorfluters ein Horizontalhöhlenbereich, darüber ein Schachtbereich und so fort. Dabei werden die Höhlengänge der vorherigen Phase zum Teil weiterverwendet oder fallen trocken. Die speleogenetischen Bereiche der vorhergehenden Phasen werden als paläobereiche bezeichnet. Diese Überlagerung von verschiedenen speleogenetischen Bereichen kann in Regionen mit einer bewegten Landschaftsgeschichte ein komplexes Bild der speleogenetischen Bereiche bilden.

Das Untersuchungsgebiet

Das alpine Karstgebiet des Wägitals zwischen dem Wägitalersee (Innerthal, SZ, CH) und dem Oberseetal (Näfels, GL, CH) ist rund 20 km² gross und erstreckt sich vom Wägitalersee (930 m ü.M.) bis hinauf auf rund 2300 m ü.M. (Mutteriberg) [Abb. 2]. Das Landschaftsbild ist ab rund 1500 m ü.M. durch eine ausgeprägte Karrenlandschaft gekennzeichnet.

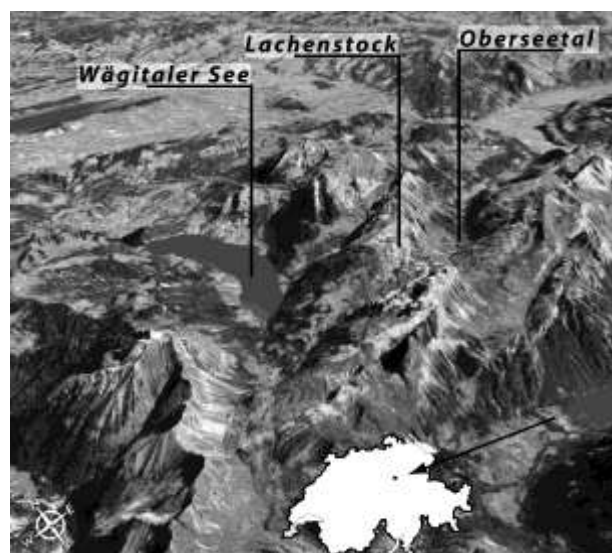


Abb. 2: Geografische Lage des Lachenstocks. Schön zu erkennen ist, die nach Westen abfallende Schattenkalkplatte des Lachenstocks. Blickrichtung: Nord. (Bildquelle: Google Earth)

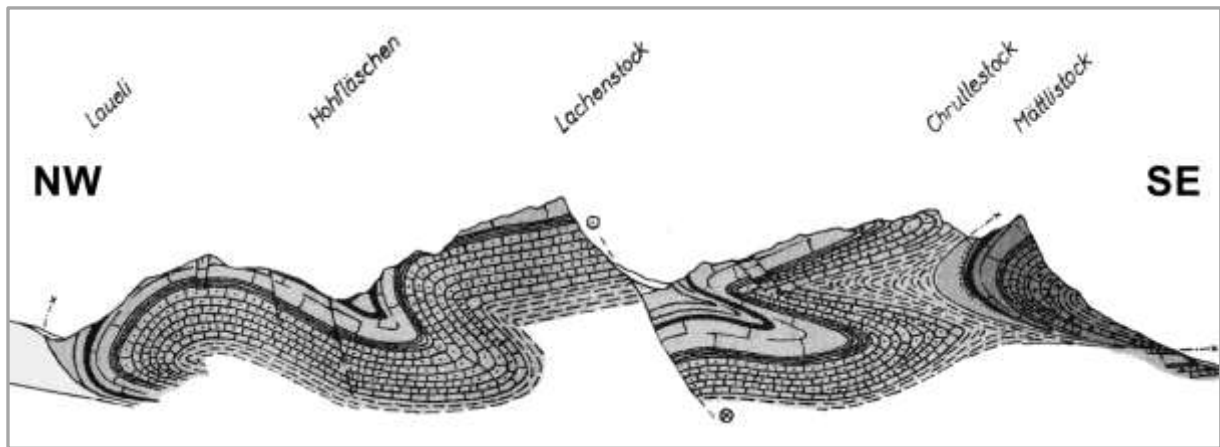


Abb. 3: Geologisches NW-SE Profil durch das Lachenstockgebiet. Strukturell besteht der Lachenstock aus einem nach Westen einfallendem Antiklinal-Schenkel (aus HANTKE, 1961).

Seit den 50er-Jahren wird das Karstgebiet durch die Ostschweizerische Gesellschaft für Höhlenforschung (OGH) systematisch erkundet, vermessen und dokumentiert. Das Gebiet weist eine ausgeprägte Verkarstung auf, was sich neben den Karrenfeldern vor allem durch eine Vielzahl von bereits entdeckten Höhlen manifestiert. Bis heute sind 257 Höhleneingänge bekannt und über 21 km Höhlengänge vermessen.

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die Zone K (Lachenstock), deren Prospektion als weitgehend abgeschlossen betrachtet wird. Die Erkundungs- und Vermessungstätigkeiten konzentrieren sich auf einige noch nicht abgeschlossene Objekte.

Das Lachenstock-Karstgebiet entwickelte sich hauptsächlich in der gut verkarstungsfähigen Schratzenkalk-Formation der Rederten-Decke (Helvetikum; OBERHOLZER, 1942). Die Formation hat im Untersuchungsgebiet eine Mächtigkeit von rund 200 m. Strukturell besteht der Lachenstock aus einem Antiklinal-Schenkel (HANTKE, 1961) mit einem Schichteinfallen von rund 30° Richtung Westen (290°/30°), wobei im Osten der Schenkel durch eine grosse Verwerfung abgeschnitten wurde, was zur Bildung der steilen Felswand Richtung Oberseetal führte [Abb. 3]. Assoziiert mit der grossen Verwerfung trifft man im Untersuchungsgebiet auf eine Vielzahl von Verwerfungen mit Versatzbeträgen von mehreren Metern bis Zehnermetern.

Es wird angenommen, dass heute das gesamte verkarstete Gebiet zwischen Schiberg und Schwalppass (also auch das Lachenstock-Gebiet) zu den Karstquellen des Fläschlochs sowie Hundslöchs im Talboden des Wägitalersees entwässert (DUERI, 1998). Der permanente Karstwasserspiegel liegt demnach heute auf rund 900 m ü.M.. Keine der hier besprochenen Höhlen erreicht diesen Bereich; auch sind keine permanenten Wasserläufe anzutreffen. Hingegen werden bei Niederschlag oder Schneeschmelze etliche Schachtpartien aktiv. Die phreatischen Höhlengänge auf verschiedenen Höhlenlagen zeugen von einer mehrphasigen Entwicklung des Lachenstock-Karstes.

Methode und Resultate

Die speläogenetischen Bereiche im Gebiet Lachenstock wurden anhand von Höhlenplänen, Höhlenbeschreibungen sowie Höhlenvermessungsdaten (Toporobot-Format) ausgeschieden und charakterisiert. Hierfür wurden die bekannten und vermessenen Höhlenpartien den verschiedenen Bereichen zugeordnet. Eine Höhle kann sich auch in verschiedenen speläogenetischen Bereichen entwickelt haben [Tab. 1].

Der vorliegende Artikel stellt vorerst nur einige erste Resultate der Charakterisierung und Interpretation der speläogenetischen Bereiche vor.

	Speläogenetische Bereiche		
	Epikarst-schacht	Schacht	Horizontal höhlen
Länge der Höhlengänge [km]	2.2	7.1	6.8 (3.1, 3.7)
Höhlengang-dichte [m/m ³]	2.1*10 ⁻⁴	9.3*10 ⁻⁵	8.4*10 ⁻⁵ 8.7*10 ⁻⁵
Mächtigkeit der Zone, [m]	35 (± 10)	150 (90, 60)	50 (± 15)

Tabelle 1: Kurzer Steckbrief der speläogenetischen Bereiche des Lachenstockgebiets.

Die Epikarstzone wurde nicht ausgeschieden.

Die Ausscheidung der Epikarstschächte und Schächte der Schachtzone erfolgte vorwiegend anhand von speläomorphologischen Kriterien (TSCHERFINGER, 2010) [Abb. 4]. Die Absenkung der Karstoberfläche (vorwiegend durch die Gletschererosion) führte im Untersuchungsgebiet dazu, dass an der aktuellen Oberfläche paläo-Epikarstschächte sowie Schächte der paläo-Schachtzone münden. Es erfolgte keine Unterteilung zwischen Schächten im aktuellen und paläo-Schachtbereich.

Die Ausscheidung der Horizontalhöhlenbereiche erfolgte anhand speläomorphologischer Kriterien (subhorizontale Höhlenbereiche mit charakteristischen Loops sowie einem elliptischen Gangquerschnitt) sowie anhand den Höhlenvermessungsdaten (Höhenverteilung der Höhlengänge, FILIPPONI & DICKERT, 2007). Es konnten zwei paläo-Horizontalhöhlenbereiche ausgeschieden werden (1850 und 1725 m ü.M.).

Zur statistischen Charakterisierung der speläogenetischen Bereiche wurden die Höhlenvermessungsdaten der Höhlen im Computerprogramm CaSuDaAn (Cave Survey Data Analysis, FILIPPONI, 2012) aufgearbeitet.

Interessant ist, dass die speläogenetischen Bereiche eine unterschiedliche Höhlengangdichte aufweisen [Tab. 1], wobei die generelle Dichteverteilung mit anderen Karstgebieten vergleichbar ist: höchste Höhlengangdichte im Epikarstbereich, kleinste Dichte im Schachtbereich. Interessant ist die im Verhältnis leicht erhöhte Dichte des Schachtbereichs (üblicherweise 1:10 bis 1:20 der Dichte des Epikarstschachtbereichs). Diese erhöhte Dichte des Schachtbereichs stammt vermutlich aus der Überlagerung von verschiedenen paläo und aktuellen Schachtbereichen.

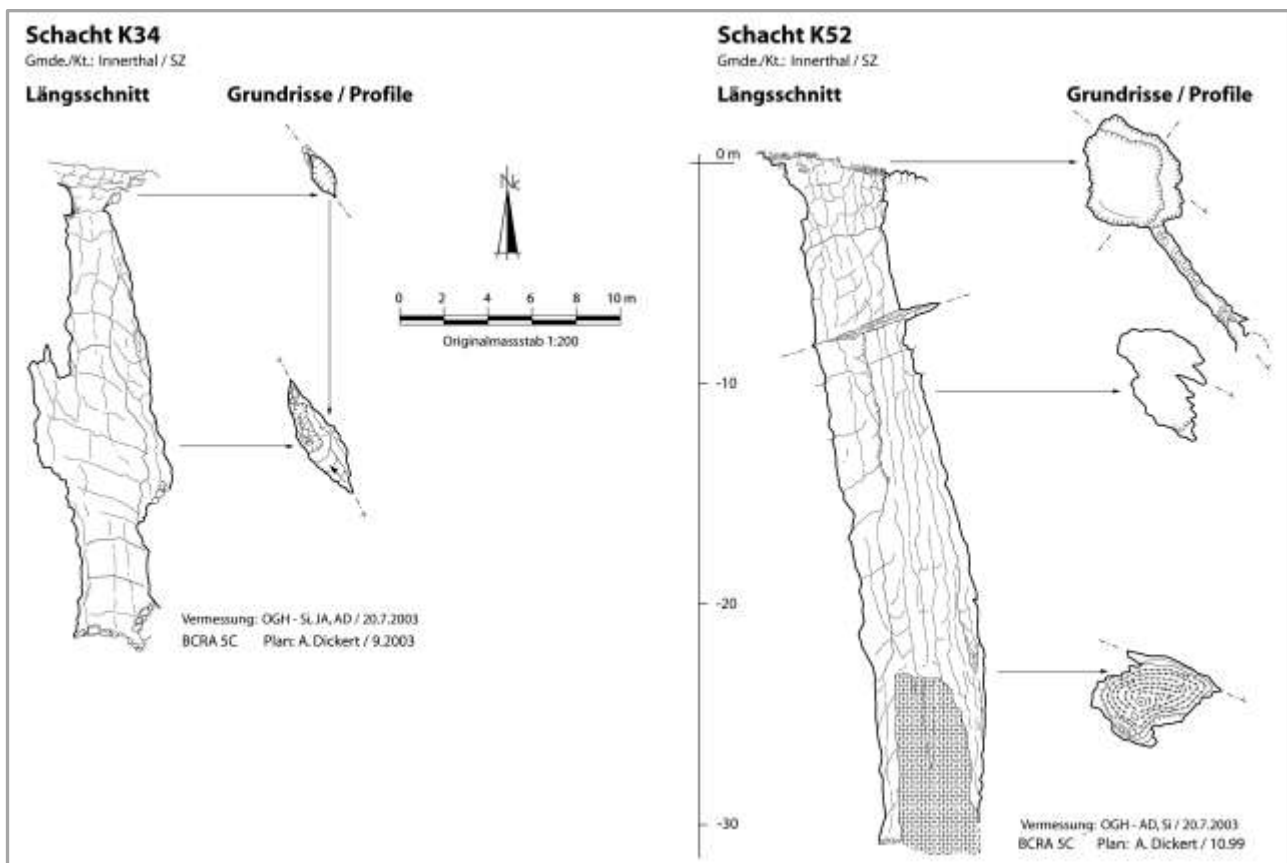


Abb. 4: Morphologische Unterscheidung zwischen: links - Epikarstschächte (eher spaltenförmige enge Schächte); rechts - Schächte der Schachtzone (grossräumige elliptische Schächte mit dazugehörigen Mäanderpassagen).

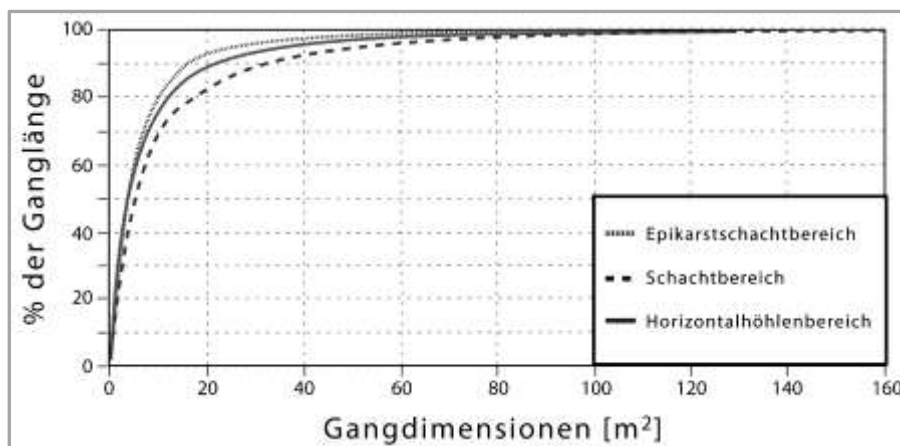


Abb. 5: Summenkurve der Gangdimensionen in den speläogenetischen Bereichen.

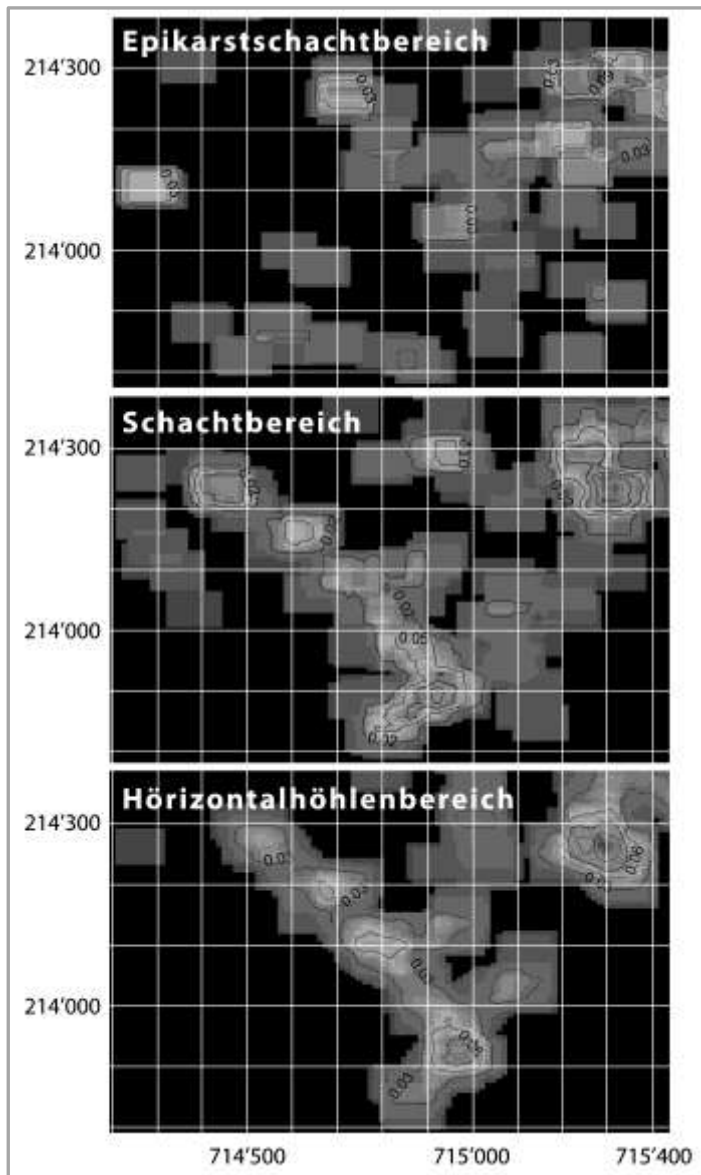


Abb. 6: Contourplot-Darstellung der Höhlengangdichte in der X-Y-Ebene (Planansicht): Gut zu erkennen die unterschiedliche Rolle der regionalen Initialfugen für die Höhlenentstehung in den speläogenetischen Bereichen. Die %-Angaben beziehen sich auf die Anzahl Höhlenganglängen pro speläogenetischer Bereich.

Eine interessante Auswertung ist die Darstellung der Höhlengangdichteverteilung der einzelnen speläogenetischen Bereiche in der Planansicht (XY-Contourplot) [Abb. 6].

Die Darstellungen zeigen, wie die Rolle der Initialfugen für die Höhlenentstehung in den einzelnen Bereichen unterschiedlich ausgeprägt ist. Während im Epikarstschachtbereich die Rolle der regionalen Initialfugen (FILIPPONI & DICKERT, 2007) noch untergeordnet ist, gewinnen sie in der Schachtzone allmählich an Bedeutung und dominieren den Verlauf der Höhlengänge im Horizontalhöhlenbereich.

Die Summenkurve der Gangneigungen zeigt zeigt [Abb. 7], wie erwartet, dass in allen speläogenetischen Bereichen alle Gangneigungen vorkommen, jedoch mit einer unterschiedlichen Häufigkeit. Während im Schachtbereich die vertikalen Passagen dominieren, überwiegen im Horizontalhöhlenbereich die subhorizontalen Partien.

Schlussfolgerung

Der vorliegende Artikel skizziert wie anhand von Höhlenplänen und Höhlenvermessungsdaten die speläogenetischen Bereiche im Karst des Lachenstockgebiets ausgeschieden wurden.

Die Unterteilung eines Gebietes, respektive die Zuordnung der Höhlen in die speläogenetischen Bereiche, erlaubt neue speläogenetische Zusammenhänge herzustellen und zu erkennen. Die Auswertung dieser Zusammenhänge ist für das hier vorgestellte Untersuchungsgebiet noch nicht abgeschlossen. Im Rahmen dieses Artikels wurde daher nur auf drei Aspekte kurz eingegangen. Jedoch zeigen diese ersten Resultate das Interesse und die Vorzüge einer speläogenetischen Klassierung der Höhlen.

Als letzte Auswertung möchten wir hier den Vergleich der Gangdimensionen in den einzelnen speläogenetischen

Bereichen vorstellen [Abb. 5]. Wie erwartet weisen die Bereiche unterschiedliche Verteilungen der Gangdimensionen auf. Wie auch in anderen Gebieten weisen die

Höhlengänge des Schachtbereichs die grössten Gangdimensionen und des Epikarstschachtbereichs die kleinsten auf.

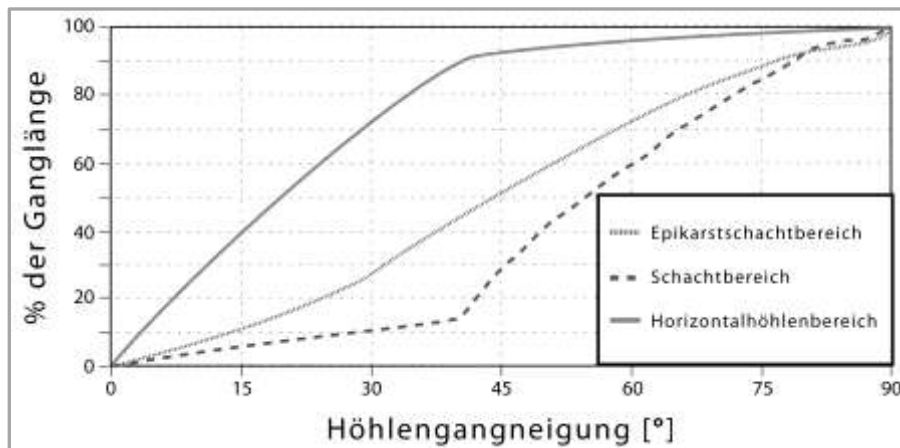


Abb. 7: Summenkurve der Höhlengangneigung in den speläogenetischen Bereichen: Die speläogenetischen Bereiche weisen typische Verteilungen Höhlengangneigungen auf.

Literatur

- AUDRA P., BINI A., GABROVŠEK F., HÄUSELMANN P., HOBLÉA F., JEANNIN P.-Y., KUNAVÉR J., MONBARON M., ŠUŠTERŠIČ F., TOGNINI P., TRIMMEL H., WILDBERGER A. (2007): Cave and karst evolution in the Alps and their relation to paleoclimate and paleotopography. *Acta Carsologica* 36/1, 53-68.
- BAROŇ I. (2002): Speleogenesis along sub-vertical joints: A model of plateau karst shaft development: A case study: the Dolný Vrch Plateau (Slovak Republic). *Cave and Karst Science* 29/1, 5-12.
- DUERI S. (1998): Zitieren mit oder ohne Klammer? Mit oder ohne Doppelpunkt? Das Karstgebiet Wägital – Geologische und hydrogeologische Untersuchungen. Diplomarbeit, ETH-Zürich, 67 p.
- HANTKE R. (1961): Tektonik der helvetischen Kalkalpen zwischen Obwalden und dem St. Galler Rheintal. *Mitteilungen des Geologischen Institutes der ETH und der Universität Zürich, Serie B* 16, 210 p.
- FILIPPONI M. (2009): Spatial analysis of karst conduit networks and determination of parameters controlling the speleogenesis along preferential lithostratigraphic horizons. PhD-Thesis, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- FILIPPONI M. (2012): CaSuDaAn - Computerprogramm für die Analyse von Höhlenvermessungsdaten. Akten des 13. Nationalen Kongresses für Speläologie, Muotathal.
- FILIPPONI M., DICKERT A. (2007): Verstehen der Speläogenese durch 3D-Analyse - Fallbeispiel des Lachenstock-Karstes. 12. National Congress of Speleology – Switzerland, 46-55.
- FILIPPONI M., JEANNIN P.-Y. (2009): Flow distribution at early stage of karstification and 3D geometry of cave systems. 15th International Congress of Speleology, Proceedings, Volume 2 : 871-876.
- LOWE D.J. (1992): The origin of limestone caverns: in inception horizon hypothesis. PhD Thesis, Manchester Polytechnic, United Kingdom.
- OBERHOLZER, J. (1942): Geologische Karte des Kantons Glarus. Schweizerische Geologische Kommission.
- PALMER A.N. (1987): Cave levels and their interpretation. *Bulletin of the National Speleological Society of America* 49, 50-66.
- TSCHERFINGER A. (2010): Die räumliche Verteilung vadoser Höhlen. Bachelorarbeit, ETH-Zürich, 27 p.