



International Union of Speleology

**PSEUDOKARST COMMISSION
NEWSLETTER
Nachrichtenbrief**

26





International Union of Speleology

PSEUDOKARST COMMISSION

NEWSLETTER Nachrichtenbrief

No./Nr.: 26.

March, 2016

Editor / Redakteur: **Jan Urban**

Associates / Mitarbeiter: **Rudolf Pavuza, Christa Pfarr**

Mail-address / Postadresse: Institute of Nature Conservation PAS,
Al. A. Mickiewicza 33, 31-120 Kraków, Poland

Homepage address: <http://www.pseudokarst.de.vu/>



Kraków – Wien

FRONT COVER: Albarellos cave system, Galicia, Spain. Smoothed, undulated surfaces and complex forms developed by coalescence of erosional concavities in different levels. Big Canyon with a streamflow level of 35% (explanation of percentage - see 'The boulder granite cave system of Albarellos ...', Fig. 2). Picture was taken from the perched paleolevel called The Bridge (Photo M. Vaqueiro, 2015).

VORDERE UMSCHLAGSEITE: Albarellos Höhlensystem, Galicien, Spanien. Runde, wellige Oberflächenformen sowie komplexe Formen, die sich durch das Zusammenwachsen konkaver Formen in verschiedenen Niveaus bildeten. Der „Große Canyon“ bei einem Wasserpegel von 35 % (Erläuterung dazu siehe 'Das Granit-Blockhöhlensystem Albarellos ...', Abb. 2). Das Foto wurde von einem hängenden Paläo-Niveau, genannt Die Brücke aufgenommen.

BACK COVER: lower photograph – group visiting the Velka Ondrášova Cave at the end of this route, which is suggested by the state of coveralls and humour of the participants (Photo J. Urban); upper photograph – participants of the 13th Symposium in Kunčice, 2015 (Photo J. Urban).

HINTERE UMSCHLAGSEITE: unten: Gruppe nach der Befahrung der Velka Ondrášova-Höhle, was man am Zustand der Overalls und am Humor der Teilnehmer erkennen kann; oben: Teilnehmer am 13. Symposium in Kunčice, 2015.

Correspondence addresses / Kontaktadresse:

Jan Urban, Institute of Nature Conservation PAS, al. A Mickiewicza 33, 31-120, Kraków, Poland;

e-mail: urban@iop.krakow.pl

Rudolf Pavuza, Karst & Caves Research Unit, Museum of Natural History, Vienna, Museumsplatz 1/10, 1070 Vienna,

e-mail: rudolf.pavuza@nhm-wien.ac.at

THE BOULDER GRANITE CAVE SYSTEM OF ALBARELLOS, AVION-OURENSE (GALICIA, SPAIN)

Marcos Vaqueiro-Rodriguez^{1,2}, Reinaldo Costas-Suarez^{1,2} Juan Ramon Vidal-Romani^{1,2}

¹ Clube de Espeleología A Trapa (CETRA); Manuel de Castro, 8-3ºD, Vigo 36210. e-mail: cetra@cetra.es

² Institute of Geology 'Isidro Parga Pondal', University of A Coruña. Campus de Elviña. 15071, A Coruña. Spain, e-mail: xeoloxia@udc.es

Abstract: The Albarellos Cave is a boulder granite cave system characterized by its subterranean gigantic and well developed erosional and depositional forms: potholes larger than 5 m in diameter, and a depth of 11.5 m, erosion tunnels and coalescent concavities constitute the subterranean gallery. The cave is being surveyed and studied. This paper presents preliminary data on the cave morphology and its relation to water flow as well as an extraordinary phenomenon – ground and air vibration generated by water flow energy.

Key words: granite, cave, erosion, channel, potholes

1 Introduction

The Albarellos Cave system is located in Beresmo, township of Avión, province of Ourense (coordinates UTM: X: 562686; Y: 4694251), upstream of the Albarellos lake, which is an artificial reservoir built about 40 years ago for the Albarellos hydroelectric power station.

The Avia River runs underground through this boulder cave system before it flows into the artificial lake. The maximum water level in the lake is 265 m a.s.l. (Del Hoyo 1979), and causes the seasonal flooding of the lower and middle levels of the cave system, as well as changes in the river subterranean dynamics. When the water level decreases, the river flows underground over a distance at least 295 m long and to a depth of -36 m with respect to the one of the swallow-hole.

So far 842 m long system of chambers and galleries have been mapped, located at different levels above the present underground water table (Fig. 1).

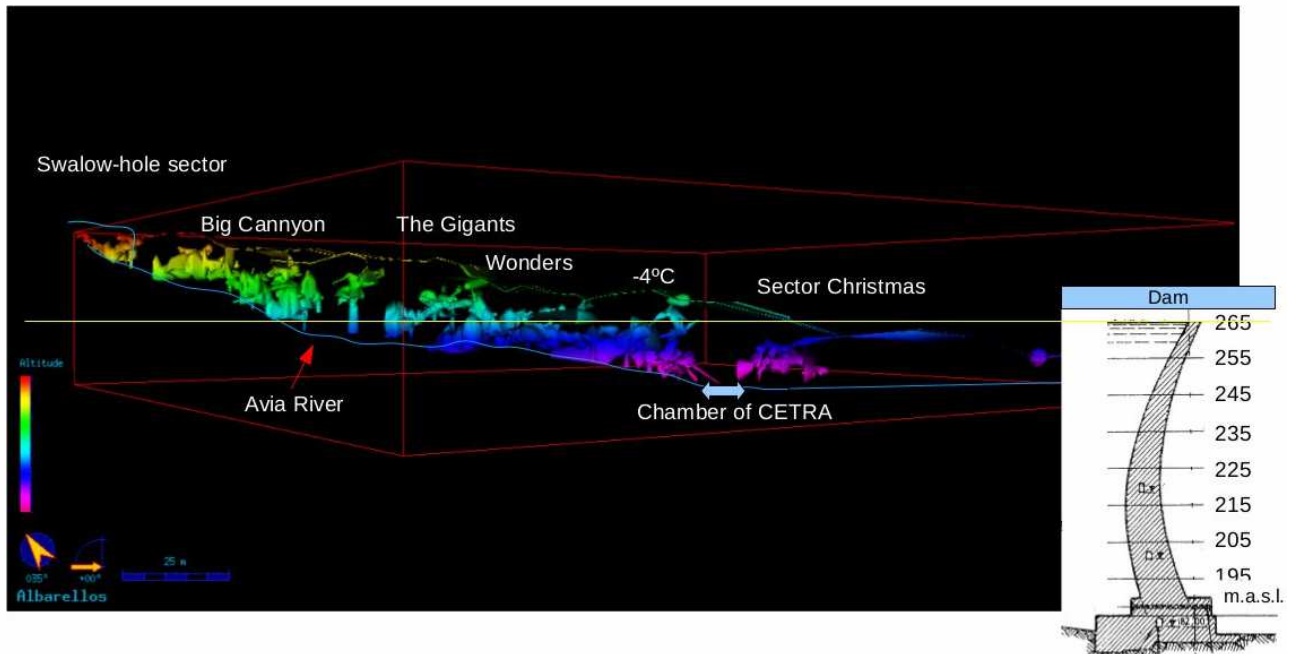


Fig 1. Digital model of the Albarellos Cave system. A scaled dam profile is provided to show the relative influence of water level changes on cave environment

Abb.1 Digitales Modell des Albarellos-Höhlensystems. Ein maßstäbliches Dammprofil soll den relativen Einfluss des Wasserstandes auf die Höhle verdeutlichen

2. Geological settings

Though the cave is totally developed in granite rocks, it is located at the contact between magmatic massifs and metamorphic terrains. The material of metamorphic rocks occurs as clastic deposits: boulders of different sizes. The magmatic rocks are intrusive granodiorites (pre-syn-kinematic phase 3, early granodiorite), with clear contacts with the adjacent metamorphic series. This granodiorite shows feldspar megacrystals and general orientation of the biotites N160°E. The metamorphic complex of the Lower Ordovician age is formed of white quartzites, amphibolites as well as grey micaceous schists and green albitic schists with garnets (IGME 1981).

A granodiorite of a sheet-like structure is constituted of slabs of a metric (ca. 1 m) thickness displaying variable dip, usually between 30° and 45°, but somewhere subvertical dip is observed in the cave area.

3. Hydrological and climatic framework

The springs of the Avia River are located in the place of Fonteavia at 880 m a.s.l. in the Serra do Suído mountain range. The total river length is 37 km, while its basin covers 673 km². The surface of the basin associated directly with the reservoir is 214 km² (Fig. 2 shows water flow entering the dam in 2012-2015).

The catchment area of the Avia River is located to the east of the ranges of Serra da Faladoira (700 m a.s.l.) and Serra de Faro de Aviión (1,100 m a.s.l.), leeward in reference to main winds coming from Atlantic Ocean, in the zone of pluviometric gradient VI (75-78 mm/100 m) (Martínez et al. 1999). The meteorological station of Amiudal (Aviión) records an annual (2012-2016) rainfall of 1,763 l/m² (1763 mm), with a month maximum of 423.8 l/m².



Fig. 2. Water flow (m³/s) entering the dam from 2012 to 2015. The water level changes (in % of level referenced to the top of dam) are also indicated (by blue line). Data provided by the recording station of the Albarellos dam

Abb. 2. Zuflußmenge zum Damm (in m³/s) im Zeitraum 2012-2015 sowie die Variationen des Wasserstandes (in % der Höhe zur Dammkrone) als blaue Linie. Die Daten stammen von der automatischen Station des Albarellos Dammes

4. Morphologic description

The orientation of the underground Avia River channel in the Albarellos system is N130°E-N160°E. The cave underground channel is located roughly at the contact between the metamorphic complex and the granodiorite. Whole area is affected by a weathering-alteration process with regolith covers visible on the sides of roads and in the upper part of the valley of the Avia River, more evident in the granitic part of the basement than in the metamorphic one.

The underground channel has been developed in the zone of intersection between two adjacent granite domes. So its cross-section presents an asymmetric Y-shaped profile. The central channel axis is sub-vertical and cut the substrate, while there are many paleolevels distributed on ramps or grades associated with the dipping sheet structure of granodiorite.

The swallow-hole of the river comprises a vertical pit (8 m deep) where the water falls between boulders and broken elements of former potholes (Figs. 3A and B).



Fig. 3. External (A - left) and internal (B - right) parts of the swallow-hole area. Fig. 3B shows the Gallery of Roots, which is a level partially overlain by the Avia River in the swallow-hole area. In the background the waterfall and swallow-hole pit are visible (Photo M. Vaqueiro, 2013)

Abb. 3. Bereiche außerhalb (A - links) und innerhalb (B - rechts) des Bereiches des Schluckloches. Abb. 3B zeigt den Gang der Wurzeln, der bereichsweise vom Avia-Fluß im Bereich des Schluckloches überlagert wird. Im Hintergrund sind Wasserfall und Schluckloch erkennbar

The river flows through the underground canyon with continuous walls, cutting the host rocks up to the maximum depth of 12 m. Sidewall surfaces are smoothed and wavy. The canyon runs between large potholes and other complex erosional forms (Front cover and Figs. 4 and 5). Potholes are located not only in the center of the channel but also scattered laterally, indicating channel migration over time. The large potholes are associated with lateral smaller ones, ‘hung’ (elevated at different heights in the vertical canyon) in some cases, or networked by coalescence or by tunnels that combine them giving rise to the development of complex geometry and large size chambers (potholes type F - Nemeč et al. 1982).



Fig. 4. Accurately developed potholes in the Big Canyon (Photo M. Vaqueiro, 2013)

Abb. 4. Perfekt entwickelte Kolke im 'Big Canyon'

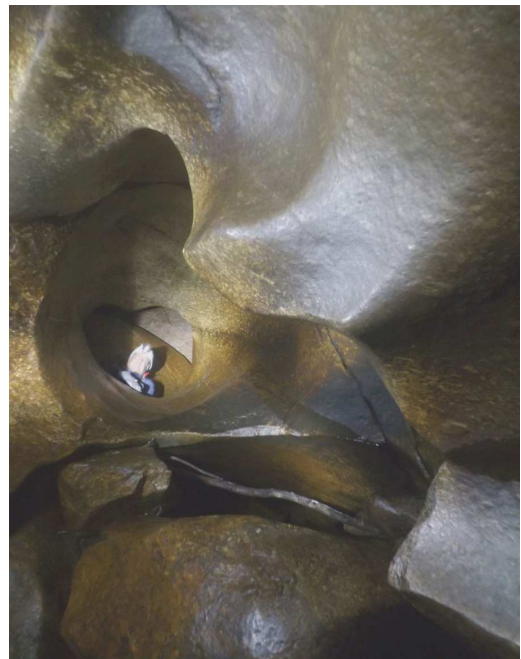


Fig. 5. Potholes with complex geometry are located not only in the center of the channel but also scattered laterally, indicating channel migration over time (Photo M. Vaqueiro, 2014)

Abb. 5. Kolke komplexer Geometrie finden sich nicht nur im Zentrum des Canyons sondern auch randlich, was auf eine Verlagerung im Lauf der Zeit hindeutet

Very few caves like Albarellos are known in the World, with well-developed erosion canyon and F type forms (Nemec et al. 1982). Among such caves we can mention e.g.: Millerton Lake Cave System (California, U.S.A.), the cave formed in the Blue Canyon Tonalite, 956 m long and 41 m of vertical distance (Richards 1996) and Hurricane Cave (Colorado, U.S.A., 1180 m long and 168.6 m of vertical distance) (Frazier 1997).

5. Ground and cave vibration induced by flowing water

Due to the large boulder falls down to the river-bed, the underground stream crosses alternatively different chambers (of heights from 4 to 11 m) and interspersed sections filled with blocks that collapsed as evidenced by the fact that the potholes (cylindrical concavities) developed in them are not in their original positions. These boulder accumulations filling the channel obstruct the water flow between adjacent chambers. The other factor limiting the part of the cave free from water is the water level in the reservoir.

The fluctuating flow loads, generated by the water energy induce vibration of the cave boulders and host rocks, which is transmitted from the deep parts of the cave to the ground. Using three accelerometers we have registered the X-Y-Z components of these vibrations at different moments and in various cave and ground stations. Accelerations are normally distributed. The amplitude and energy of the floor cave and ground vibration are usually relative small, but also reach significant values up to $\pm 0,25 \text{ m/s}^2$.

The module of vibration signal has been analyzed using wavelet transforms (Torrence, Compo 1998; Addison 2002; Grinsted et al. 2004). So we characterize each record using the normalized scale dependent wavelet energy spectrum of the signal, that is their relative contribution to the total energy contained within the signal at a specific scale. Peaks in this dependent energy distribution highlight the dominant energetic scales within the signal. If we compare the distributions of each record considering the level of the lake and the river flow, we observe that the vibration energy rises as water flow increases but only when the underground canyon is relatively empty (Fig. 6). So large stream discharge or high stream stages generate higher-frequency spectrum and also higher energy levels at low frequencies (continuous wavelet power spectrums for velocity series are showed in Fig 7).

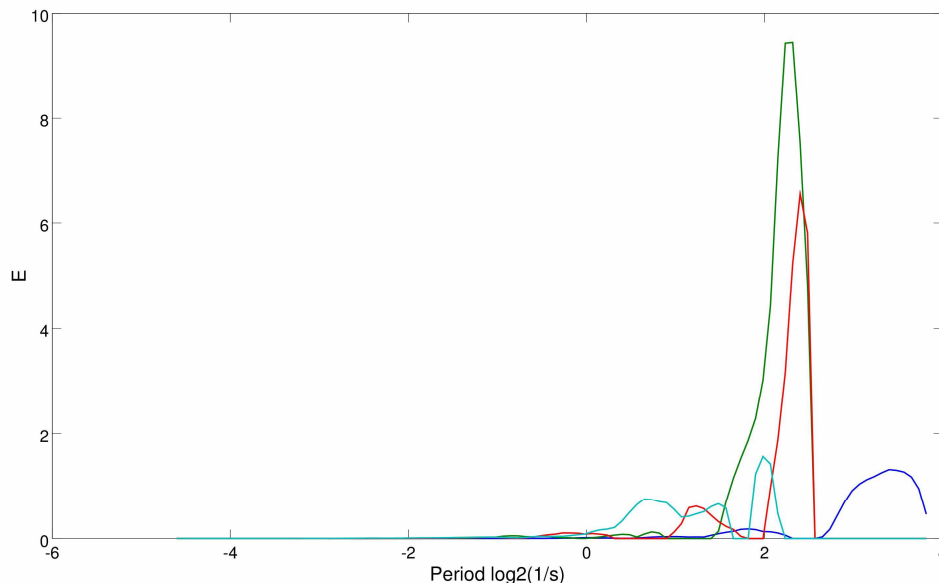


Fig. 6. Significant and dominant energetic scales within the signal: relative contribution to the total energy (E) contained within the signal by scale. Records was done on a boulder hung inside the canyon during different water flows and levels (expressed by the percentages of flooded hydraulic section in the cave): blue line – $Q=3.36 \text{ m}^3/\text{s}$ and level $<2\%$; green line – $Q=13.89 \text{ m}^3/\text{s}$ and level $=33\%$; red line – $Q=6.25 \text{ m}^3/\text{s}$ and level $<10\%$; cyan line – $Q>40 \text{ m}^3/\text{s}$ and level $>67\%$.

Abb. 6. Signifikante und dominante Energieniveaus im Signal als relativer Anteil der Gesamtenergie. Registriert wurde dies an einem Felsblock im Canyon während unterschiedlicher Wassermengen und Pegel (als % der maximal gefluteten Abschnitte): blau – $Q=3.36 \text{ m}^3/\text{s}$ und Pegel $<2\%$; grün – $Q=13.89 \text{ m}^3/\text{s}$, Pegel $=33\%$; rot – $Q=6.25 \text{ m}^3/\text{s}$, Pegel $<10\%$; cyan – $Q>40 \text{ m}^3/\text{s}$, Pegel $>67\%$.

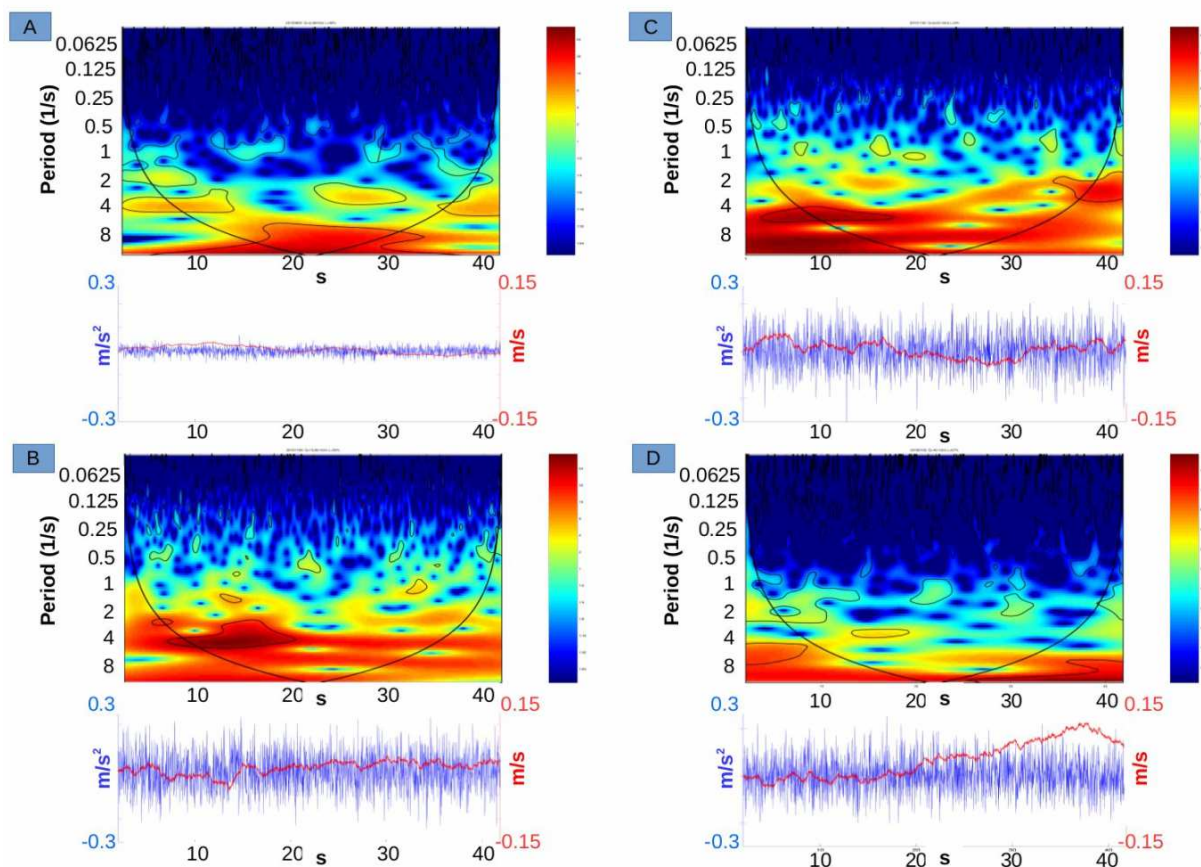


Fig. 7. Records of vibrations in four different water flows and levels (percentages of flooded hydraulic section in the cave): A – $Q=3.36 \text{ m}^3/\text{s}$ and level $<2\%$; B – $Q=13.89 \text{ m}^3/\text{s}$ and level $=33\%$; C – $Q=6.25 \text{ m}^3/\text{s}$ and level $<10\%$; D – $Q>40 \text{ m}^3/\text{s}$ and level $>67\%$. For each record the time series of accelerations (blue) and velocities (red) is shown by the lower graph, while the velocity continuous wavelet power spectrum is shown by the upper graph. The thick black contour designates the 5% significance level against red noise and the cone of influence (COI) where edge effects might distort the picture

Abb. 7. Aufzeichnung der Vibrationen bei unterschiedlicher Schüttung und Pegel (ausgedrückt in % des maximalen Wertes), A – $Q=3,36 \text{ m}^3/\text{s}$ und Pegel $<2\%$; B – $Q=13,89 \text{ m}^3/\text{s}$, Pegel $=33\%$; C – $Q=6,25 \text{ m}^3/\text{s}$, Pegel $<10\%$; D – $Q>40 \text{ m}^3/\text{s}$, Pegel $>67\%$. Für jede Aufzeichnung finden sich darunter die Zeitreihen für Beschleunigung (blau) sowie Geschwindigkeit (rot), das kontinuierliche Wavelet-Power-Spektrum darüber weist ein 5 % Signifikanzniveau (schwarz) gegenüber dem Noise (rot) und dem jenem Kegel (COI – cone of influence) auf, der mögliche Randeefekte ausschließt

6. Conclusions

The Albarellos Cave is a boulder granite cave system characterized by their subterranean gigantic and well developed erosional and depositional forms, which can be compared with only a few such large and spectacular caves in the world. Its morphology has been shaped by water erosion of granite generated by current water flow of variable intensity and gravitational movements of boulders. Ground vibrations produced by water flow loads are being studied. Their velocity and acceleration are in the order of seismic events of low magnitude. And then secondary gravitational movements could be at least partly stimulated by ground vibration, but so far we cannot confirm it.

References

- Addison P.S. 2002. The illustrated wavelet transform handbook: introduction theory and applications in science, engineering, medicine and finance. IOP Publishing Ltd. UK, 368 pp.
- Del Hoyo R. 1979. La presa bóveda de Albarellos. Revista de Obras Públicas. Diciembre 1979: 1061-1070.
- Frazier M. 1997. The discovery and exploration of Hurricane Cave. NSS News – America's Caving Magazine 55, 1: 6-11.

- Grinsted A., Moore J.C., Jevrejeva S. 2004. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Processes in Geophysics* 11: 561-566.
- IGME 1981. Puentecaldelas 186 (5-10). Mapa Geológico de España E 1:50.000.
- Martínez A., Castillo F., Pérez A., Valcárcel M., Blanco R. 1999. Atlas climático de Galicia. Norme Editorial, Santiago de Compostela, 75 pp.
- Nemec W., Lorenc M.W., Saavedra J. 1982. Potholed granite terrace in the Rio Salor valley, western Spain: a study of bedrock erosion by floods. *Tecniterrae* 50: 6-21.
- Torrence C., Compo G.P. 1998. A Practical Guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society* 79, 1: 61-78.
- Richard B 1996. Millerton Lake Cave System (Fresno, County, California). Map NSS13720.

DAS GRANIT-BLOCKHÖHLENSYSTEM ALBARELLOS, AVION-OURENSE (GALICIEN, SPANIEN)

Zusammenfassung. Die Albarellos-Höhle ist eine Blockhöhle im Granit, die durch ihre subterranean, großräumigen und gut entwickelten Erosionsformen und Sedimente charakterisiert ist: Kolke mit Durchmesser über 5 m und einer Tiefe von 11,5 m, Erosionsröhren und miteinander verbundene konkave Formen dominieren die Gangfolgen. Die Höhle wurde vermessen und untersucht, der vorliegende Artikel bringt vorläufige Daten zur Höhlenmorphologie und deren Zusammenhang mit dem Höhlenfluss – sowie ein außergewöhnliches Phänomen: Bodenvibrationen durch die Kraft des fließenden Wassers.

Schlüsselwörter: Granit, Höhle, Erosion, Rinnen, Kolke

1. Einleitung

Das Höhlensystem liegt in Beresmo im Bereich der Stadt Avión in der Provinz Ourense (UTM-Koordinaten: X: 562686; Y: 4694251) stromaufwärts vom Albarellos-See, einem Reservoir, das vor 40 Jahren für das lokale Kraftwerk entstand. Der Avia-Fluss fließt im Untergrund durch diese Blockhöhle, bevor er das Reservoir erreicht. Der Maximalwasserstand im See ist 265 m a.s.l. (Del Hoyo 1979), was das zeitweise Überfluten der unteren und mittleren Niveaus des Höhlensystems und ebenso die wechselnden hydrodynamischen Verhältnisse bedingt. Sinkt der Wasserstand, fließt der Fluss über eine Strecke von 295 m in einer Tiefe von bis zu -36 m bezogen auf die Versickerungsstelle. Bis jetzt wurden 842 m Höhlengänge kartiert, die auf unterschiedlichen Niveaus über dem gegenwärtigen unterirdischen Wasserspiegel liegen (Abb. 1).

2. Geologische Rahmenbedingungen

Ogleich die Höhle zur Gänze im Granit entwickelt ist, liegt sie doch im Bereich des Kontaktes zwischen magmatischen und metamorphen Gesteinsprovinzen. Die Metamorphite machen sich als Klastika in Form verschieden großer Blöcke bemerkbar. Die Magmatite sind durch Intrusiva, wie Granodiorite (präkinematische Phase 3, frühe Granodiorite) mit deutlichem Kontakt zu den Metamorphiten vertreten. Der Granodiorit zeigt riesige Feldspatkristalle, die Biotite sind überwiegend N160°E orientiert. Der Metamorphitkomplex aus dem unteren Ordoviciem besteht aus weißen Quarziten, Amphiboliten sowie grauen Glimmerschiefern sowie grünen Albitschiefern mit Granaten (IGME 1981).

Der Granodiorit, plattenförmig ausgebildet besteht aus Elementen von ca. 1 m Dicke mit variabler Orientierung, üblicherweise jedoch mit einem Einfallen von 30-45°, selten wurde auch eine fast vertikale Orientierung beobachtet.

3. Hydrogeologischer und klimatischer Rahmen

Die Quellen des Avia-Flusses liegen bei Fonteavia in 880 m Seehöhe in der Serra do Suído. Der Fluss selbst erreicht eine Länge von 37 km, sein Einzugsgebiet beträgt 673 km². Das Einzugsgebiet des Reservoirs selbst beträgt 214 km² (Abb. 2 zeigt den Zufluss zum Damm 2012-2015). Das Einzugsgebiet liegt östlich der Serra da Faladoirs (700 m Seehöhe) und der Serra de Faro de Avión (1100 m Seehöhe) windabgewandt in Relation zur Hauptwindrichtung vom Atlantik her. Der pluviometrische Gradient liegt bei VI (75-78 mm/100 m., Martinez et al. 1999). Die Wetterwarte von Amiudal (Avión) meldete einen jährlichen Niederschlag (2012-2013) von 1.763 l/m² (1763 mm) mit einem Monatsmaximum von 423.8 l/m².

4. Höhlenmorphologie

Die Orientierung des unterirdisch fließenden Avia-Flusses ist N130°E bis N160°E. Das Flussbett liegt ungefähr am Kontakt zwischen Metamorphiten und Granodiorit. Das gesamte Gebiet – obertage sichtbar – ist durch eine Verwitterung mit Regolithbildung gekennzeichnet, der beidseitig der Straßen im oberen Teil des Avia-Flusses auftritt, wobei der Prozeß in den granitoiden Gesteinen besser zu sehen ist.

Der unterirdische Flusslauf ist im Schnittpunkt zweier Granitdome angelegt, sein Querschnitt hat daher ein Y-förmiges Profil. Die zentrale Rinnenachse ist subvertikal und schneidet in den Untergrund ein. Demgegenüber finden sich aber viele weitere Paläo-Niveaus, angelegt an den mehr oder weniger stark einfallenden Exfoliationen des Granodiorites. Das Schluckloch des Flusses wird durch einen 8 m tiefen Schacht gebildet, das Wasser verschwindet zwischen Böcken und abgebrochenen Teilen ehemaliger Kolke (Abb. 3A und 3B). Der Fluss fließt durch den unterirdischen Canyon in bis zu 12 m hohen, durchgehenden, festen Wänden im Muttergestein, die Seitenwände machen einen abgerundeten, welligen Eindruck. Der Canyon verläuft dabei zwischen großen Kolken und anderen komplexen Erosionsformen (siehe vorderes Umschlagbild sowie Abb. 4 und Abb.5). Die Kolke liegen aber auch abseits des derzeitigen Flusslaufes und zeigen, dass sich dieser im Lauf der Zeit verlagert hat. Die großen Kolke haben in ihrem Umfeld auch kleinere, manche „hängen“ in verschiedenen Höhen des Canyons, sind zusammengewachsen und bilden so komplexe, mitunter auch großräumige Formen (Kolke vom Typ F nach Nemeč et al. 1982). Es gibt weltweit nur relativ wenige Höhlen a la Albarellos mit gut entwickelten Erosionscanyons und F-Typen von Kolken (Nemeč et al. 1982). Dazu zählen z.B. das Millerton Lake Cave System (Kalifornien, USA) und die Hurricane Cave (Colorado, USA), die 1180 m lang und 168.6 m tief ist (Frazier 1997).

5. Vibrationen des Bodens und der Höhle durch Wasserfließen

Der Fluss durchquert auf seinem Weg durch die großen Blockanhäufungen bis zum Flußbett verschiedene Kammern zwischen den Blöcken mit Höhen von 4 bis 11 m und eingeschaltete Bereiche mit abgestürzten Blöcken. Jene sind nicht mehr in situ, was man an den Kolken (in Form zylindrisch-konkaver Formen) sieht, die sich nicht mehr in ihrer ursprünglichen Position befinden. Diese Bereiche verzögern den Wasserfluss zwischen den verschiedenen Kammern. Ebenso spielt der Wasserspiegel im Reservoir darunter eine Rolle, wieweit die Höhle jeweils wassererfüllt ist.

Die fluktuierende Durchflussmenge versetzt die Blöcke sowie das angrenzende Gestein in eine Vibration, die sich bis zur Erdoberfläche fortpflanzt. Mittels dreier Beschleunigungsaufnehmer (Geophone) wurden die X/Y/Z-Komponenten der Vibrationen zu unterschiedlichen Zeiten und an unterschiedlichen Stellen in der Höhle und an der Oberfläche registriert. Die Messwerte für die Beschleunigung sind normalverteilt, ihre Amplitude und Energie sowohl in der Höhle, als auch an der Oberfläche sind zwar relativ gering, jedoch signifikant mit Werten von bis zu $\pm 0,25 \text{ m/s}^2$.

Das Signal wurde mittels Wavelet-Transformation (Torrence, Compo 1998; Addison 2002; Grinsted et al. 2004) analysiert. So kann jede Aufzeichnung durch das normalisierte skalenabhängige Wavelet-Energiespektrum charakterisiert werden. Jenes stellt den relativen Anteil an der Gesamtenergie innerhalb des Signales bezogen auf eine spezifische Skala dar. Peaks innerhalb des Energiespektrums weisen auf die dominanten energetischen Abschnitte im Signal hin. Bei Betrachtung der einzelnen Aufzeichnungen in Relation zum Seespiegel und der Schüttung des Höhlenbaches sieht man, dass die Energie mit der Schüttung zunimmt, jedoch nur dann, wenn die Höhle relativ wasserarm ist (Abb. 6). Auf diese Weise generieren hohe Schüttung bzw. Wasserstände ein höheres Frequenzspektrum, aber auch eine höhere Energie bei niedrigeren Frequenzen (Wavelet-Energiespektren für bestimmte hydrologische Niveaus - Abb. 7)

6. Schlußfolgerungen

Die Albarellos-Höhle ist eine Blockhöhle im Granit, die durch ihre ausgedehnten und gutentwickelten Erosions- und Sedimentationsformen charakterisiert ist, die sich weltweit nur selten derartig finden. Die Morphologie und die charakteristischen Formen wurden durch die Erosionskraft des Wassers bei variabler Intensität sowie durch gravitative Verlagerung der Blöcke geprägt. Vibrationen, die durch das fließende Wasser erzeugt werden, wurden untersucht, wobei die deren Parameter in der Größenordnung seismischer Vorgänge mit geringer Magnitude liegen. Man kann vermuten, dass die Verlagerung von Blöcken auch dadurch induziert wird, dies kann derzeit aber noch nicht bewiesen werden.

Literatur – siehe englischer Text.