



**International Union of Speleology**

**PSEUDOKARST COMMISSION  
NEWSLETTER  
Nachrichtenbrief**

**25**



# GEOMORPHOLOGICAL MAPPING OF THE SISMOTECTONIC CAVE SYSTEM OF A TRAPA, RIBADELOURO, TUI (GALICIA, SPAIN)

Marcos Vaqueiro-Rodríguez<sup>1,2</sup>, Reinaldo Costas-Suárez<sup>1,2</sup>, Juan Ramón Vidal-Romaní<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup>University Institute of Geology “Isidro Parga Pondal”, University of A Coruña; Edif. de Servicios Centrales de Investigación, Campus de Elviña, 1507, A Coruña, Spain; e-mail: xeoloxia@udc.es

**Abstract.** Up to now, the A Trapa system is the largest cave formed within granite blocks in the Iberian Peninsula, the second in Europe and the fifth worldwide. The cave is associated with a reverse fault, and its development, morphology and evolution seems to be influenced by the fault dynamics and the successive movements of blocks toward the axis of the valley. In the central sector of the cave system a large pigotite flowstone is preserved, the oldest speleothem of this type recorded up till now. The study of cave deposits indicates that the last stage of the cave evolution falls into the Late Holocene.

**Key words:** granite, cave, seismotectonics, mapping, granite geomorphology

## 1. Introduction

The A Trapa system is a group of granite cavities, which channels the underground watercourse of the San Simón River in a section of 255 m, with 102 m difference in height between the swallow-hole and the resurgence, and a mean watercourse slope of 27.4° (Fig. 1). 1,587 m of passages and galleries were mapped, with a difference in height of 86.6 m between the highest and the lowest levels.

The A Trapa system is associated with a reverse fault of N125°E direction, which coincides with the main underground conduit.

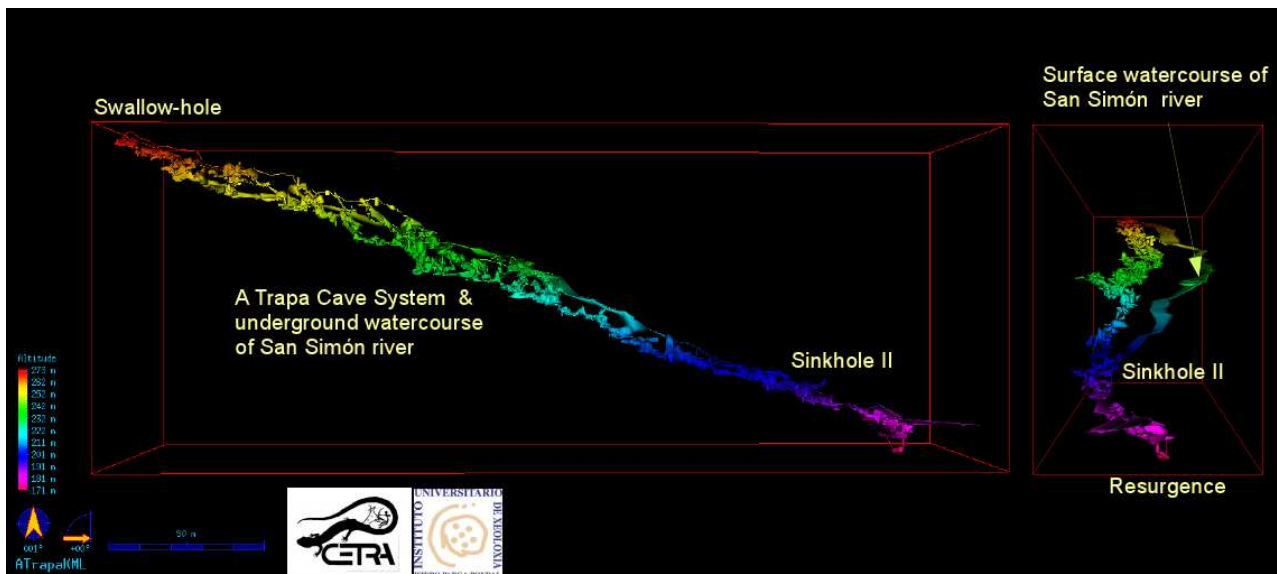


Fig. 1. The seismotectonic cave system of “A Trapa”: spatial model of the cave, views at 0° and 270°

Abb. 1. Das seismotektonische Höhlensystem “A Trapa”. Räumliches Modell mit Sichtwinkel 0° und 270°

The dynamics of the fault (Vidal Romaní et al. 2014) existing since the Paleogene probably triggered a large mass rock slide of a surface of 5400 m<sup>2</sup> which partially covered the original streambed of the San Simón River displacing this streambed toward the north. During dry seasons, the stream has only the underground section through the A Trapa cave, but during the periods of large floods, the stream uses two channels: the main watercourse that is displaced by the front of the slide and the underground one that drains through A Trapa cave, 15 m below the present ground surface (Fig. 2).

## 2. Site description

### 2.1. Location

The system is located at the Ribadelouro parish, Tui township (Pontevedra) on the southern slope of the mountain branch of Mount Aloia in the Serra do Galiñeiro Mountains. The swallow hole of the stream is located at UTM X:526950, Y:4661152; Z:260 m.

### 2.2. Geology

The A Trapa cave is developed in two-mica alkaline granite, which is medium to coarse grained, characterised by equigranular texture and affected by the phase F2 of the Hercynian deformation with N160°E direction (IGME 1981), and therefore without influence on genesis of the cave that formed directly related to the system of joints.

### 2.3. Hydrology and climate

The station set on the Mount Aloia summit recorded an annual rainfall of 2,356 l/m<sup>2</sup> (= 2356 mm) in 2012-2013, with monthly maximum intensities of 408.2 l/m<sup>2</sup>. The watercourse of the San Simón Stream runs to ESE of the Sierra do Galiñeiro, in an area of pluviometric gradient III (93-100 mm/100 m of the high) (Martínez et al. 1999). Its springs are located close to the top of the Mount Aloia (Tui). The large volume of the stream flow is due to the topographic effect of the Serra do Galiñeiro (700 m of altitude) acting as a barrier to the Atlantic storms. In spite of this large rainfall, the upstream basin of the permanent swallow-hole has a small size (the length of the stream above the swallow-hole is slightly over 1.7 km).

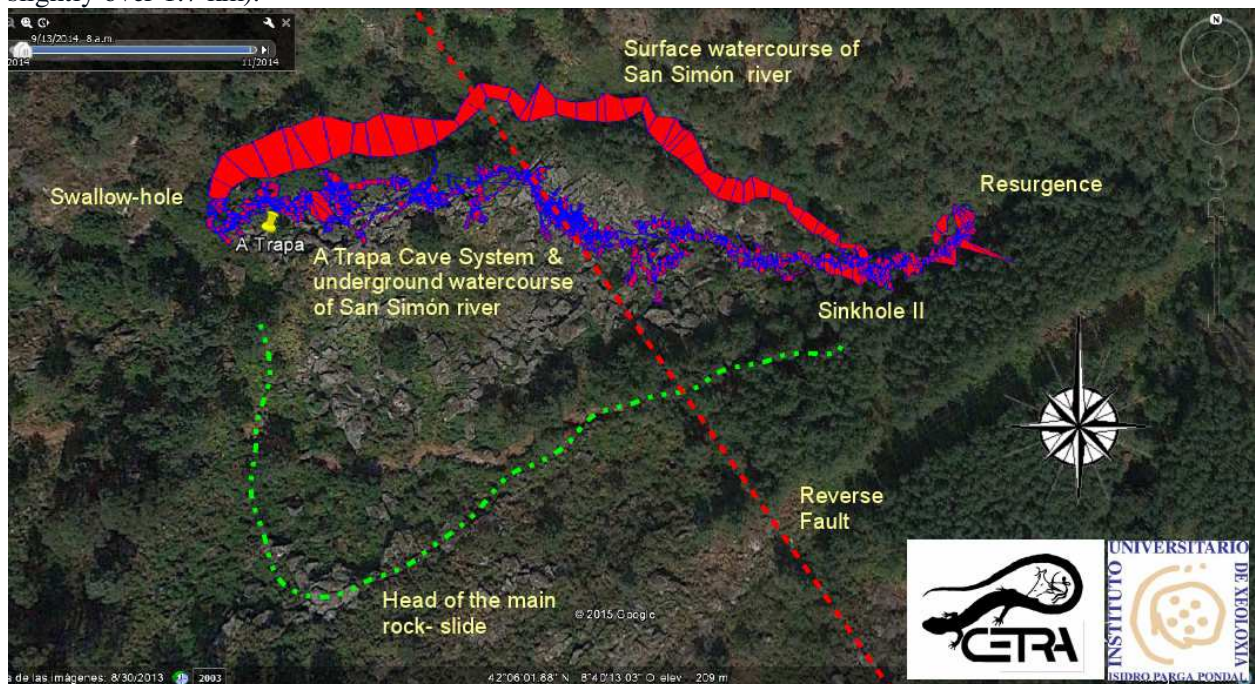


Fig. 2. KML (Keyhole Markup Language) cave and river models projected on the background of local orthophotography; green dotted line marks the border of the head scarp where main rock slide starts, red dashed line indicates the plane of the reverse fault

Abb. 2. KML (Keyhole Markup Language) Höhle und Fluss projiziert auf ein Orthofoto; die grüngepunktete Linie markiert die Grenze jenes Abrisses, wo die Blockgleitung begonnen hat, die rote unterbrochene Linie markiert den Bereich der Aufschichtung

## 3. Seismo-tectonic constraints

The A Trapa system is located at the Galicia-Trás-os-Montes area of the Variscan massif. It is in the seismic-tectonic dominion I (S Galicia-N Portugal) structurally characterized by the existence of several faults active from the Paleogene up to the Late Quaternary with prevailing NNE-SSW and N-S orientations (Viveen et al. 2012).

In this seismic-tectonic domain more than 40 historical earthquakes have been recorded concentrated on the Atlantic littoral zone and northwest section of Portugal. The maximum earthquake intensities confirm the existence of an important seismic activity of moderate magnitude in the area of the cave and also epicentres of various importance distributed in the cross-border zone with Portugal i.e. proximity of the cave (López 2008).

The tectonic horst of Mount Aloia, Sierra do Galiñeiro reaches its present position owing to the uplift between the Paleogene and the present. From the Paleogene (ca 58 Myr ago) to the Middle Pleistocene the average uplift rate was about 0,8 m·ka<sup>-1</sup> (Viveen et al. 2013). Nowadays, the uplift continues about 0.3 m·ka<sup>-1</sup> with a moderate associated seismic activity (Vidal Romaní et al. 2014).

#### 4. Morphology and development of the system

The A Trapa system formation has been a long process consisting of the two following stages: initial release of the rock substratum owing to the weathering, followed by an active dynamics of rock slopes with gravitational movements of blocks, which filled up the lowest parts of the valley, forming a system of cavities of boulder cave type (Vidal Romani, Vaqueiro 2007), crossed by the San Simón Stream. The relationship between the cave framework and the fault N125°E allows to divide the A Trapa cave into three large sections: swallow-hole or highest zone, central or fault zone, and resurgence zone.

The present underground streambed is a channel delimited by either tilted blocks or continuous walls excavated in the *in situ* rock with undulated surfaces. Intermittently, small accumulations of cobbles occur. Small-sized cylindrical potholes and numerous scallops were also identified (Fig. – see back cover). These erosive forms are located at various height above the present streambed marking the incision stages of the San Simón Stream.

The erosion carried out by the stream not only affects the rock substratum but also the collapsed blocks, which filled the valley, thus the slides of the blocks preceded the channel incision. However, the movements of boulders could have continued later, because the erosional (streambed) potholes on their surfaces were tilted (i.e. the pothole elongation axes are not in vertical positions – Fig. 3). The occurrence of several (at least two) phases of the boulder slides are clearly recognized: In a first phase, a generalized slide would be propagated toward the bottom of the valley bringing around to fill it up. In a second phase, a new slide was restricted to the central part of the A Trapa cave, and the accumulation of boulders would have covered the underground system. The blocks mobilized in the second phase also show development of pothole patterns.



Fig. 3. To the left, a pot-hole with two axes; the scale shows the present vertical axis. Note that the block was rotated about 60°. To the right, tilted pot-holes developed on a fallen block (Photo M. Vaqueiro)  
 Abb. 3. Linkerhand ein Strudeltopf mit zwei Achsen, die Skala markiert die Vertikalachse. Der Block wurde um ca. 60° rotiert. Rechterhand rotierte Strudeltopfe auf einem abgeglittenen Block

Both gravitational movements could have been assisted by the erosional incision of a stream channel, although they are supposedly triggered by the movement of the N125°E fault. The successive slides of boulders which occurred in this zone are also observed as the changes of the streambed of the San Simón Stream in its underground section. For example, it is proved by the pigotite speleothems

covering some old potholes and even the nascent terrace deposits. All these features indicate that the conditions of the watercourse were changing along with the time from erosive (development of pothole) to underwater accumulative (deposits of gravels) to subaerial accumulative (pigotite speleothems – Fig. – see back cover).

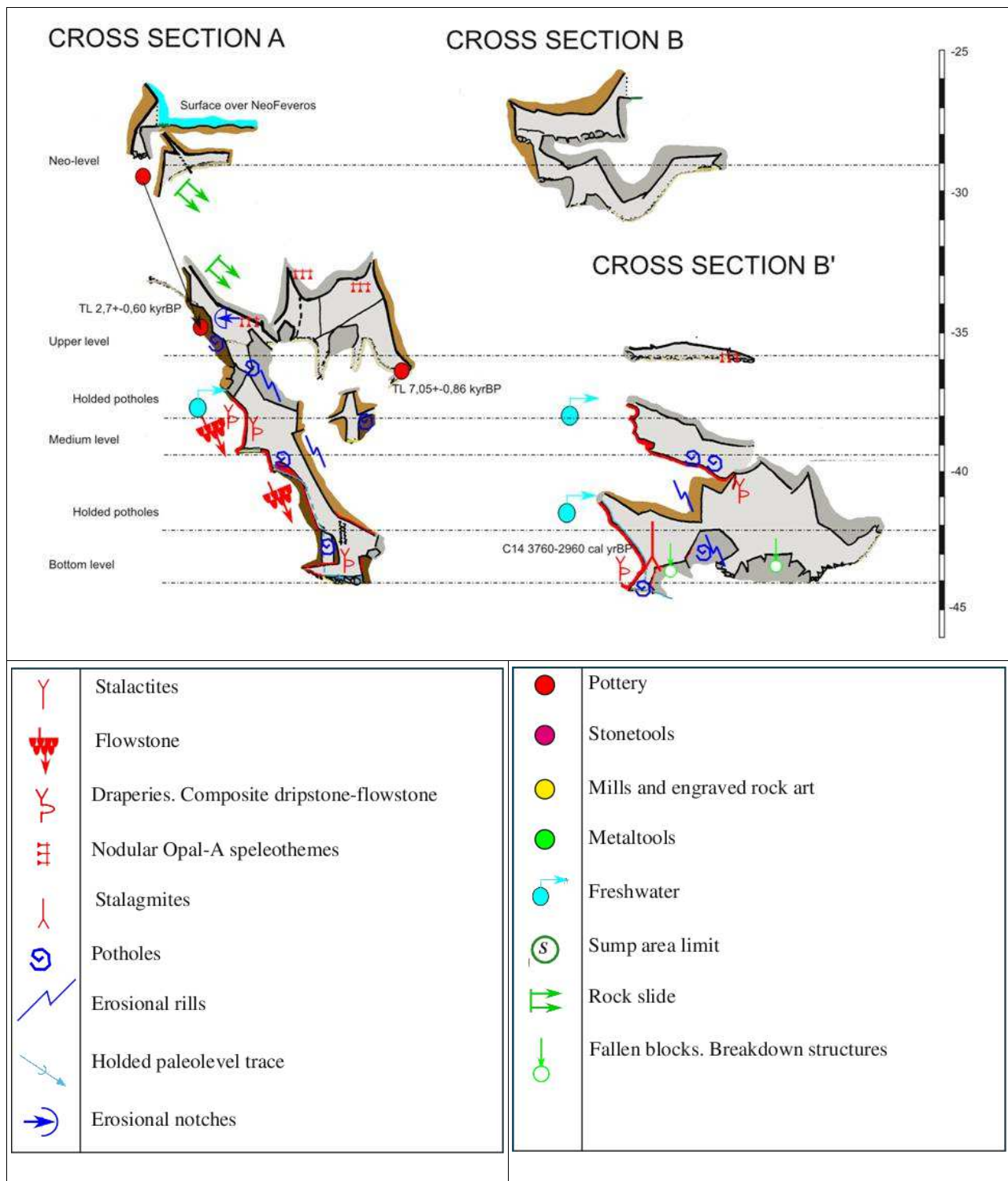


Fig. 4 Two successive composed sections of the Féveros sector. Sedimentation fossilized ancient erosive forms on which new erosive forms are developed. Colours and symbols described in details in Costas et al. (2013).

Abb. 4. Zwei aufeinanderfolgende Querschnitte im Höhlenteil Féveros. Durch Sedimentation wurden frühere Erosionsformen konserviert, wobei sich dann in den Sedimenten neue Formen bildeten. Farben und Symbole zur Zeichnung finden sich in Costas et al. (2013).

Up to now, an absolute chronology of the cave evolution stages does not exist. However we have reconstructed a relative sequence of the evolution stages of the cave based on geomorphological data. The Féveros section, located at the middle section of the A Trapa cave (heights between -25 and -50 m), shows the most complete sequence of forms and deposits. From floor to ceiling there are (Fig. 4): a permanently active streambed (-44 m, Fig. 5); above this streambed a hanging channel that is active only during extreme flooding episodes is situated under the intermediate streambed paleo-level (-39 m) active only occasionally; above this paleo-level, there is a clearly inactive upper paleo-level (-34 m, Fig. 6); and finally, there is a relatively shallow cave level (-28 m), whose formation coincided with the second slide of blocks, mentioned before .

Fig. 5. Féveros part of the A Trapa system: lower paleolevel (-42 m) (Photo M. Vaqueiro)

Abb. 5. Höhlenteil Féveros im A Trapa Höhlensystem: unteres Paläo-Level (-42 m)



The TL (thermoluminescence) dating of the deposits in the relict streambed below the level -28 m, displays the age of  $2.7 \pm 0.60$  kyr BP, while the deposits at the upper level (-34 m) were dated with the same technique (TL) at  $7.05 \pm 0.86$  kyr BP (Sanjurjo et al. 2013). Most the Palaeolithic archaeological sites recognised in the A Trapa system are located at this level (Sanjurjo et al., 2013).

The best preserved pigotite flowstone (Fig. 7) in this part of the cave connects the three described paleolevels between the heights -36 m and -44 m. Its inner zone was dated by radiocarbon method at 3760 cal yr BP, while its external part (currently eroded by migration of the streambed during floods) – at 2960 cal yr BP.



Fig. 6. Féveros part of the A Trapa system: upper paleolevel (-34 m). (Photo M. Vaqueiro).

Abb. 6. Höhlenteil Féveros im A Trapa Höhlensystem: oberes Paläo-Level (-34 m)

The lowermost section of the A Trapa system, resurgence zone, shows a quite different morphology. It is developed downstream of the confluence of superficial and underground courses and channelling of the San Simón underground stream. This section is 26 m deep (spacing between the confluence of stream flows and the flow resurgence)

and runs through a chaos of blocks with the parts of the streambed cutting into the rock substratum *in situ*, and being a vadose channel with a locally asymmetrical keyhole shape (cross-section) similar to the karst conduits *sensu stricto*. The widening of the cross section of the underground channel is related

to the weakness planes of the rock massif related to shear zones. This fact has already been highlighted in similar caves such as O Folón cave (Vaqueiro et al. 2011).

#### Acknowledgements

Thanks to Ana Martelli, Rosa María Suárez, David Costas Vázquez, Begoña Barreiro and Elena de Uña, colleagues from CETRA and IUX.

*Fig. 7. Pigotite flowstone (-42 m) (Photo: M. Vaqueiro)*  
*Abb. 7. Pigotit-Sinterbildung (-42 m).*



#### References

- Costas R., Suárez R.M., Vaqueiro R. 2013. Geomorphological mapping of granite caves. *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe* 37: 89-104.
- IGME 1981. Geological Map of Spain E1:50.000. Tuy, sheet number 261 (4-12).
- López C. 2008. Actividad sísmica, zonación sismotectónica y riesgo sísmico en el NO de la Península Ibérica. Serie Nova Terra. Instituto Universitario de Xeoloxía. A Coruña, 35, 270 pp.
- Martínez A., Castillo F., Pérez A., Valcárcel M., Blanco R. 1999. Atlas climático de Galicia. Norme Editorial, Santiago de Compostela, 75 pp.
- Sanjurjo J., Vidal Romaní J.R., Vaqueiro M., Costas R., Grandal A. 2013. TL estimation of ages of pottery fragments recovered from granite caves in the NW coast of Spain. *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe* 37: 73-88.
- Vaqueiro M., Costas R., Suárez R.M., López J.M., Vidal J.R. 2011. Pseudokarst in granites: How granite caves are developed – the case of Galician caves. *Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Symposium on Pseudokarst, Höhlen- und Karstforschung, Dresden*, 144-159.
- Vidal Romaní J.R., Vaqueiro M. 2007. Types of granite cavities and associated speleothems: Genesis and evolution. *Nature Conservation* 63: 41-46.
- Vidal Romaní J.R., Vaqueiro M., Sanjurjo J. 2014. Granite landforms in Galicia. In: Gutiérrez M., Gutiérrez M. (Eds.), *Landscapes and landforms of Spain*. Springer Verlag, 348 pp.
- Viveen W., Van Balen R.T., Schoorl J.M., Veldkamp A., Temme A.J.A.M., Vidal Romaní J.R. 2012. Assessment of recent tectonic activity on the NW Iberian Atlantic Margin by means of geomorphic indices and field studies of the Lower Miño River terraces. *Tectonophysics* 544-545: 13-30.
- Viveen W., Van Balen R.T., Schoorl J.M., Veldkamp A., Temme A.J.A.M., Vidal Romaní J.R. 2013. Reconstructing the interacting effects of base level, climate, and tectonic uplift in the Lower Miño River terrace record: A gradient modelling evaluation. *Geomorphology* 186: 96-118.

## GEOMORFOLOGISCHE KARTIERUNG DES SEISMOTEKTONISCHEN HÖHLENSYSTEMS A TRAPA, RIBADELOURO, TUI (GALICIEN, SPANIEN)

**Zusammenfassung.** Derzeit ist das A Trapa Höhlensystem die längste Höhle in Granitblöcken auf der Iberischen Halbinsel, die zweitlängste in Europa und die fünftlängste weltweit. Die Höhle liegt im Umfeld einer Aufschiebung und ihre Entstehung, Entwicklung und Morphologie dürfte durch die Dynamik dieser Störung und die Bewegung von Blöcken in Richtung der Längsachse des Tales bestimmt sein. Im zentralen Teil der Höhle gibt es eine große Sinterbildung aus Pigotit – das älteste bislang beobachtete Speläothem dieser Art bisher. Die Untersuchungen des Höhleninhaltes weisen auf eine letzte Phase der Höhlenentwicklung im jüngeren Holozän hin.

## **1. Einleitung**

Das A Trapa Höhlensystem ist eine Gruppe von Granithöhlen um den hier auf eine Länge von 255 Metern unterirdisch fließenden Fluss San Simon, wobei zwischen Versickerung und Wiederaustritt ein Höhenunterschied von 102 Metern überwunden wird. Das mittlere Gefälle beträgt dabei  $27,4^\circ$  (Abb. 1). Insgesamt wurden 1587 Meter Gangstrecke kartiert, der maximale Höhenunterschied zwischen höchst- und tiefstgelegenen befahrbaren Abschnitten beträgt 86,6 Meter.

Das A Trapa Höhlensystem ist mit einer tektonischen Aufschubung in SE-Richtung assoziiert, diese Richtung entspricht auch im Wesentlichen den unterirdischen Gangfolgen.

Die Dynamik dieser Störung (Vidal Romani et al. 2014), die seit dem Paläogen existiert, hat vermutlich eine große Massenbewegung auf einer Fläche von  $5400 \text{ m}^2$  induziert und das ursprüngliche Flussbett blockiert. Dieses verlagerte sich daraufhin Richtung Norden. Während der Trockenzeiten benutzt der Fluss indessen nach wie vor den unterirdischen Weg durch das A Trapa Höhlensystem (Abb. 2), bei Hochwässern wird auch das oberirdische Flussbett aktiviert.

## **2. Beschreibung**

### 2.1. Lage

Das Höhlensystem liegt in der Gemeinde Ribadelouro, die zur Stadt Tui (Pontevedra) gehört, am Südhang des zur Serra do Galiñeiro zählenden Mount Aloia. Die Versickerungsstelle des Flusses hat die UTM-Koordinaten X:526950, Y:4661152, Z:260.

### 2.2. Geologie

Die A Trapa Höhe ist im mittel bis grobkörnigem Zweiglimmergranit von einheitlicher Textur angelegt, der durch die Phase F2 der hercynischen Deformation in SSE-Richtung (IGME, 1981) beeinflusst ist. Diese hat aber keinen Einfluss auf die Entwicklung der Höhle, die sich störungsorientiert entwickelt hat.

### 2.3. Hydrologie und Klima

Auf dem Mount Aloia wurde eine jährliche Niederschlagsmenge von 2356 mm (2012-2013) registriert, das Monatsmaximum betrug dabei 408,2 mm (=  $408,2 \text{ Liter/m}^2$ ). Der San Simon-Fluß fließt von der Serra do Galiñeiro Richtung ESE mit einem pluviometrischen Gradient von 93-100 mm/100 m (Martinez et al., 1999). Seine Quellzone liegt nahe der Kuppe des Mount Aloia bei Tui. Die hohe Niederschlagsmenge ist durch die 700 m hohe Barriere der Serra do Galiñeiro gegen die Stürme des Atlantik begründet. In Relation zur hohen Niederschlagsmenge hat der Oberlauf – oberhalb der Versickerung – des San Simon eine relativ geringe Dimension (etwas über 1,7 km).

## **3. Seismotektonische Rahmenbedingungen**

Das A Trapa System liegt im Gebiet Galicia-Trás-os-Montes des variszischen Massivs. Es gehört zum seismotektonischen Abschnitt I (Südgalicien – Nordportugal), der durch mehrere seit dem Paläogen bis ins jüngere Quartär aktive Störungen gekennzeichnet ist. Diese sind NNE-SSW und N-S orientiert (Viveen et al. 2012). In diesem seismotektonischen Abschnitt wurden 40 Erdbeben an der Atlantikküste sowie im Nordwestabschnitt Portugals registriert. Die Maximalintensitäten bestätigen eine bedeutende Zone moderater Erdbebenaktivität im Bereich der Höhle mit Epizentren verschiedener Intensitäten längs der Grenze zu Portugal in der Nähe von A Trapa (López 2008).

Der tektonische Horst des Mount Aloia hat seine gegenwärtige Position aufgrund der Hebung zwischen dem Paläogen und der Gegenwart erreicht. Seit dem Paläogen (~ 58 Mya) bis ins Mittelpleistozän war die durchschnittliche Hebungsrunde rund 0,8 m pro 1000 Jahren (Viveen et al. 2013). Heute liegt sie bei 0,3 m/1000 Jahren mit moderater seismischer Aktivität (Vidal Romani et al 2014).

## **4. Höhlenentwicklung und Morphologie**

Die Bildung des A Trapa Höhlensystems ist eine langandauernde in zwei aufeinanderfolgenden Phasen. Nach einer initialen Phase der Auflösung des Gefüges durch Verwitterung folgte eine aktive gravitative Felsbewegung, wobei die tiefstgelegenen Bereiche des Tales aufgefüllt wurden und sich Blockhöhlen bildeten (Vidal Romani, Vaqueiro, 2007), die durch den San Simon Fluss durchflossen wurden. Der Zusammenhang zwischen der Höhlenerstreckung und der SE-gerichteten Störungszone



unterteilt die A Trapa Höhle in drei große Abschnitte: Versickerungszone/höchste Zone – Zentrale Zone/Störungszone – Resurgenz.

Das gegenwärtige unterirdische Flußbett ist eine Art Rinne, die entweder durch verkippte Blöcke oder durch anstehenden Felsen in situ – mit kolkartigen Oberflächen – begrenzt wird. Dabei kommt es zur Ansammlung kleiner Mengen von Bachkiesel und auch Fließfacetten und Strudellöcher können beobachtet werden (Abb. – siehe hintere Umschlagseite). Diese Formen können in unterschiedlicher Höhe über dem aktuellen Flußbett beobachtet werden und geben Hinweis auf die Eintiefungsgeschichte des San Simon-Flusses.

Die Erosion durch den Fluss betrifft aber nicht nur das Festgestein in situ, sondern auch die allochthonen Blöcke, da auch die Bewegungsbahnen der abgeglittenen Blöcke das spätere Flußbett präformierten. Doch dürften auch Blöcke späterhin weiterbewegt worden sein, wie man aus verkippten Strudeltöpfen erkennen kann: ihre Achsen sind nicht vertikal (Abb. 3). Dabei kann man zumindest 2 Phasen der Blockbewegungen klar unterscheiden. In der ersten kam es zum Abgleiten und zur Platznahme im Tal, in der zweiten kam es zur begrenzten Abgleitung nur im zentralen Bereich der A Trapa Höhle, wodurch das unterirdische Flußbett teilweise überdeckt wurde. An diesen Blöcken kann auch das erwähnte Verkippen der Strudeltöpfe beobachtet werden.

Beide gravitativen Prozesse wurden möglicherweise gefördert durch die Erosion des Flußbettes, obschon sie ursprünglich durch die Bewegungen an der erwähnten SE gerichteten Störung offenbar ausgelöst wurden. Das sukzessive Abrutschen der Blöcke ist auch in der Änderung der Position des Flußbettes zu erkennen, so sieht man zum Beispiel Pigotitformationen über alten Strudeltöpfen oder sogar in Entstehung befindlichen Ablagerungen. All dies zeigt die Entwicklung der Wasserwege von erosiven Phasen (Strudeltöpfe) über Unterwasserphasen (Ablagerung von Kiessedimenten) zur subaerischen Phase (Pigotitbildungen, Abb. – siehe hintere Umschlagseite).

Bis jetzt gibt es keine absoluten Daten zur Altersentwicklung der Höhle, sehr wohl aber eine relative Abfolge auf Basis der geomorphologischen Beobachtungen. Der Höhlenabschnitt „Féveros“, etwa im mittleren Bereich von A Trapa (relative Höhe zwischen -25 m und -50 m) zeigt am besten die komplette Abfolge von Formen und Ablagerungen. Vom Boden bis zur Decke sieht man (Abb. 4): ein permanent aktives Flußbett (-44 m, Abb. 5), darüber eine „hängende“ Rinne, die nur bei Hochwasser aktiv ist (-42 m) sowie ein gelegentlich noch aktives Paläo-Niveau (-39 m), dann folgt über diesem ein inaktives Paläo-Niveau auf -34 m (Abb. 6) und schließlich ein relativ seichtes Niveau (-28 m), dessen Bildung mit der zweiten Phase des Abgleitens der Blöcke zusammenfällt.

Die Thermolumineszenzdatierung (TL) der Sedimente des -28m Niveaus ergab ein Alter von  $2,7 \pm 0,7$  kyr BP, wogegen das Niveau auf -34 m, ebenfalls mittels TL ein Alter von  $7,05 \pm 0,86$  kyr BP ergab (Sanjuro et al. 2013), Die meisten archäologischen Funde der A Trapa stammen von hier (Sanjuro et al. 2013).

Die besterhaltenen Pigotitformationen (Abb. 7) in diesem Höhlenabschnitt verbinden die drei Niveaus zwischen -36 m und -44 m. Die innerste Zone dieser Speläotheme wurde mit der Radiocarbonmethode datiert und ergab ein kalibriertes Alter von 3760 Jahren BP, die äußerste Zone, die derzeit durch Erosion während Hochwasserereignissen erodiert wird hingegen ein Alter von 2960 Jahren BP.

Der tiefste Abschnitt von A Trapa, der Wiederaustritt des Flusses, zeigt eine sehr unterschiedliche Morphologie. Es ist dies der Bereich unterhalb des Zusammenflusses des ober- und unterirdischen Flußlaufes, wobei die letzten 26 Meter gemeinsam unterirdisch bis zum Wiederaustritt fließen. Hier gibt es eine chaotische Ansammlung von Blockwerk, teilweise schneidet der Fluss im Anstehenden ein und bildet asymmetrische Schlüssellochprofile, ähnlich wie im Karst. Die Raumerweiterung dieses Abschnittes ist an Schwächezonen im Bereich von tektonischen Scherzonen gebunden, ähnlich wie dies auch aus anderen vergleichbaren Höhlen, wie zum Beispiel O Folón beschrieben wurde (Vaqueiro et al. 2011).

## **Danksagungen, Literatur und Abbildungen**

Siehe englischer Text

