

Wann entstanden die Tropfsteine in der Kraushöhle bei Gams (Steiermark)?

ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Artikel werden erstmals Daten zum Alter der Stalagmiten in der durch ihr Gipsvorkommen bekannten Kraushöhle bei Gams (Steiermark) mitgeteilt. Leider sind die meisten der ohnehin nur spärlich vorhandenen Stalagmiten dieser Höhle früheren Vandalenakten zum Opfer gefallen; eine Bestimmung des Wachstumsbeginns ist dennoch möglich, da die Sockel der Stalagmiten erhalten blieben. Mittels Kernbohrung schonend entnommene Proben nahe der Basis von elf Tropfsteinen ergaben – mit der Uran-Thorium-Methode analysiert – Alter zwischen 6,8 und 86,0 kyr (1 kyr = 1000 Jahre). Die meisten Stalagmiten datieren in das Mittelwürm, und nur eine einzige Probe begann im Holozän zu wachsen. Diese Daten belegen, dass die Temperatur in der Kraushöhle während des Würm-Glazials zu meist über dem Gefrierpunkt lag. Nur während des Höhepunktes des Würm bildeten sich keine Tropfsteine; vermutlich ein Hinweis, dass damals die Bedingungen zu kalt (und trocken) waren, um Vegetation und Bodenbildung über der Höhle und damit Tropfsteinbildung zu ermöglichen. Die Datierung der ältesten Probe passt gut zur – wenn auch sehr unpräzisen – Altersbestimmung des Minerals Alunit (80 ± 80 kyr), dessen Entstehung den Zeitpunkt der hypogenen Bildung der Kraushöhle indiziert. Die geologisch gesehen junge Speläogenese dieses Höhlensystems wird somit durch diese Befunde gestützt.

EINLEITUNG

Die Kraushöhle bei Gams (622 m Seehöhe) ist Österreichs bekannteste und am besten untersuchte Höhle hypogenen Ursprungs. Ihre Raumformen, die Ablagerungen von massigem Gips, dessen geochemische Signatur sowie das Vorkommen von seltenen Minera-

ABSTRACT

When did the speleothems in Kraushöhle near Gams (Styria, Austria) form?

In this article we present the first data on the age of stalagmites from Kraushöhle near the village of Gams (Styria), a cave that is known for its prominent gypsum occurrences. Unfortunately, most of the few stalagmites in this cave were vandalised. Determining the onset of the growth of some of these stalagmites, however, is still feasible as their trunks are preserved. Drill cores carefully recovered from the base of eleven speleothems, from which small subsamples were analysed using the Uranium-Thorium method, yielded ages between 6.8 and 86.0 kyr (1 kyr = 1000 years). Most of the stalagmites reveal a Last Glacial age and only one sample started its growth during the Holocene. The age data clearly suggest that temperatures in Kraushöhle were mostly above the freezing point during Last Glacial period. During the Last Glacial Maximum, however, speleothems were apparently not forming, implying very cold (and dry) conditions that did not permit vegetation and soil formation hence prohibiting dripstone formation. The U-Th age of the oldest stalagmite sample agrees well with the, albeit highly imprecise, age on the mineral alunite (80 ± 80 kyr), whose presence indicates the timing of hypogene cave development. A geologically speaking young speleogenesis of this cave system is thus supported by these results.

**Christoph Spötl,
Ronny Boch,
Gina Moseley,
Susanne Brandstätter**

Institut für Geologie
Leopold-Franzens-Universität Innsbruck
Innrain 52, 6020 Innsbruck
christoph.spoetl@uibk.ac.at

**R. Lawrence Edwards,
Hai Cheng**

Department of Earth Sciences
University of Minnesota
Minneapolis, MN 55455, USA

Augusto Mangini

Heidelberger Akademie der Wissenschaften
Im Neuenheimer Feld 229
69120 Heidelberg, Deutschland

Lukas Plan

Karst- und Höhlenarbeitsgruppe
Naturhistorisches Museum Wien
Museumsplatz 1
1070 Wien

Eingelangt: 14.6.2014
Angenommen: 19.7.2014

(Hauer, 1885; Kraus, 1891). Neuere Untersuchungen zeigen aber, dass der Großteil des Hohlraumvolumens durch Schwefelsäurekorrosion entstanden ist (Puchelt & Blum, 1989; De Waele et al., 2009; Plan et al., 2012). Erst in einem späteren Entwicklungsstadium fanden auch „normale“ Sickerwässer und ein allogener Bach ihren Weg in diese Hohlräume und führten zur teilweisen Auflösung der Gipsablagerungen, zum Eintrag von klastischen Sedimenten (Lehm und Fremdgerölle) sowie zur Bildung von karbonatischen Speläothemen. Es finden sich massive Bergmilchbildungen (*Vorhang*), sowie einzelne Stalagmiten und Bodensinter. Als Spezialität tritt im Kaisersalon eine diskusförmige Sinterformation auf, die als Sintertrommel (im Englischen *cave shield*) bekannt ist.

Während die frühe Geschichte der Kraushöhle gut dokumentiert ist und als Beispiel für Schwefelsäure-

induzierte Speläogenese Eingang in die internationale Fachliteratur gefunden hat (z.B. Dublyansky, 2013), liegen über die Sinterbildungen bisher keine Daten vor. Im Zuge einer Pilotstudie sollte dieses Manko behoben und Altersbestimmungen an Tropfsteinproben mit der Uran-Thorium-Methode (vgl. Spötl & Boch, 2012) durchgeführt werden.

Vom ursprünglichen Tropfsteinschmuck der Kraushöhle – seit 1881 durch die Initiative von Franz Kraus durch einen bequemen Eingang erschlossen und zur Schauhöhle ausgebaut – ist leider wenig erhalten. Fast alle leicht erreichbaren Stalagmiten wurden abgeschlagen und sind nur als Stümpfe erhalten. Kleine Stalagmiten blieben lediglich in schwer einseh- bzw. erreichbaren Stellen vom Vandalismus verschont. Die Beprobung wurde unter größtmöglicher Schonung der noch vorhandenen Tropfsteinformationen durchgeführt.

UNTERSUCHUNGSMETHODE

Um Daten zum Alter ausgesuchter Tropfsteinformationen zu erhalten, wurde eine geringe Menge Tropfsteinmaterial mittels Kernbohrung entnommen. Die Bohrlöcher wurden anschließend wieder verschlossen, um den optischen Eindruck der Tropfsteine nicht zu beeinträchtigen. Die Bohrungen wurden im Dezember 2009 und Dezember 2010 mit Diamantkernbohrern durchgeführt, deren Innendurchmesser 9,5 bzw. 25 mm beträgt (vgl. Spötl & Matthey, 2012). Die 2009er Bohrungen wurden meist horizontal von der Seite Richtung Stalagmiteninneres ausgeführt; die

2010er Bohrungen wurden vertikal in der Mitte der Stalagmitenstümpfe abgeteuft, um möglichst ein Profil bis zur Basis zu erhalten. Die Bohrkern wurden anschließend der Länge nach aufgeschnitten und Teilproben für die Altersbestimmung entnommen. Die Proben der 2009er Kampagne wurden am Institut für Umweltphysik der Heidelberger Akademie der Wissenschaften mittels TIMS datiert. Die zweite Probenserie wurde mittels MC-ICP-MS an der University of Minnesota in Minneapolis analysiert. Die Alterswerte werden in der Einheit „kyr“ vor heute angegeben: 1 kyr = 1000 Jahre.

RESULTATE

Insgesamt wurden elf Stalagmiten beprobt, die im Folgenden anhand ihrer Lokalität in der Höhle kurz besprochen werden. Ihre Verortung ist Abb. 1 zu entnehmen.

Haupthalle (Tanzsaal)

KRA2: Der 14 cm hohe untere Teil eines Stalagmiten, dessen oberer Bereich fehlt. Dieser Stalagmit ist innen reinweiß und außen von ziegelrotem Lehm überzogen. Der Stalagmit wuchs auf massigem Gips, eine Datierung 2 cm über der Basis ergab $35,9 \pm 0,7$ kyr.

KRA3: 19 cm hoher, vollständiger Stalagmit, wuchs in einer Lösungsdepression im 1,5 m mächtigen, massigen Gips (Abb. 2). Das Alter nahe der Basis des Stalagmiten (17 cm unter der Spitze) beträgt $58,2 \pm 1,2$ kyr.

KRA4: Nur 5 cm hoher, kompletter Stalagmit, der in einer markanten Wasserstandsmarke wuchs, dessen

oberer Teil weggebrochen ist. Das Basisalter des Stalagmiten beträgt $6,8 \pm 0,3$ kyr.

KRA5: Markanter Torso eines ehemals ansehnlichen, hellen Stalagmiten. Zuerst wurde durch eine horizontale Bohrung eine Probe aus dem Inneren des Stalagmiten gewonnen ($14,6 \pm 0,2$ kyr). Im Zuge der zweiten Bohrkampagne wurde ein vertikaler Bohrkern gezogen (Abb. 3) und in 36 cm Tiefe ein vergleichbares Alter gemessen ($14,1 \pm 0,1$ kyr).

KRA1: 0,7 m neben KRA5 befindet sich ein weiterer abgeschlagener Stalagmitenstumpf, von dessen Außenseite eine kleine Probe entnommen und datiert wurde: $51,7 \pm 0,7$ kyr.

KRA6: Braune Tropfsteingruppe, bis ca. 3 m über dem Führungsweg. Drei Einzelstalagmiten wurden angebohrt: KRA6a ist ein Stalagmitenstumpf mit 19 cm Durchmesser. Eine annähernd vertikale Bohrung (Abb. 4) erreichte in 8 cm Tiefe Kalkstein, d.h. diese Tropf-

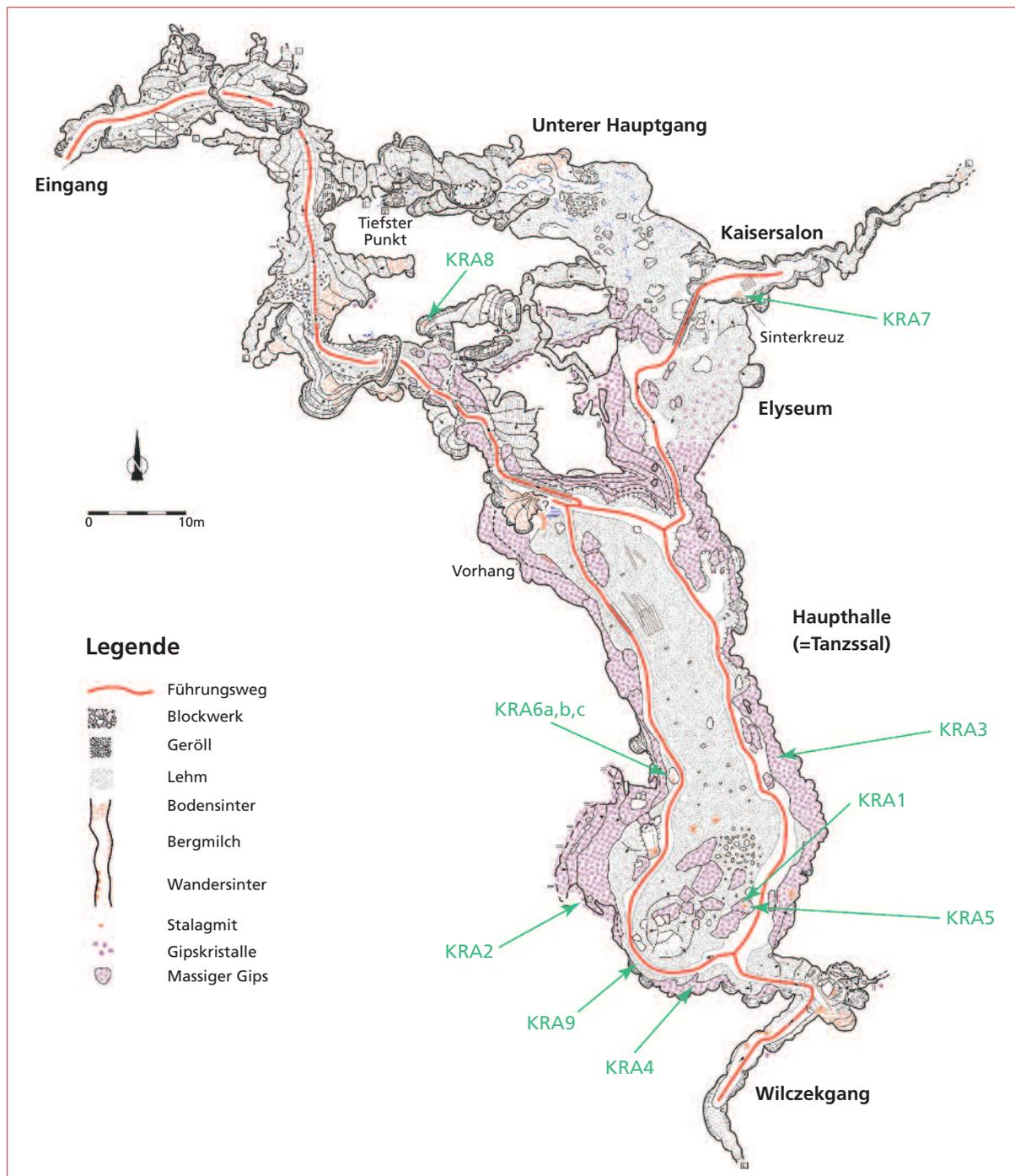


Abb. 1: Grundriss der Kraushöhle (unter Weglassung der Überlagerung) und Lage der beprobten Tropfsteine (grün).
 Fig. 1: Plan view of Kraushöhle (overlying cave parts are omitted) and location of sampled speleothems (green).

Entwurf und Zeichnung: L. Plan

steinformation bildete sich über einem vorhandenen heruntergestürzten Gesteinsblock. Der Kalzit in Tropfstein KRA6a ca. 3 cm über dessen Basis ist $42,1 \pm 0,2$ kyr alt. 30 cm unterhalb davon wurde ein weiterer Stalagmitenstumpf angebohrt (KRA6b). In 15 cm Tiefe wurde auch dort das Muttergestein angetroffen. 2,5 cm über dieser Basis ist der Kalzit des

Tropfsteins $76,8 \pm 0,8$ kyr alt. Ein dritter, kleiner Stalagmit 1 m unterhalb von KRA6a wurde ebenfalls vertikal angebohrt und in 15 cm Tiefe dessen Basis erreicht (Abb. 5). 1,5 cm über dieser Basis wurde ein Alter von $51,6 \pm 0,3$ kyr bestimmt.

KRA9: Lose aufgefundener Zwillingstalagmit, 18 cm hoch. Von unten wurde 14,5 cm Richtung Spitze ge-



Abb. 2: Dieser kleine Stalagmit (KRA3) begann vor etwa 58 kyr zu wachsen, als Tropfwasser bereits eine Mulde in die Gipsablagerungen (Umrandung des Tropfsteins) der Kraushöhle gelöst hatte.

Fig. 2: This small stalagmite (KRA3) started to form some 58 kyr ago after dripwater had already dissolved part of the surrounding gypsum.



Abb. 4: Der zentrale Stalagmit KRA6a einer Tropfsteingruppe ist ebenfalls nur noch als Torso erhalten. Die Analyse eines Bohrkernes ergab, dass sein Wachstum vor etwa 42 kyr begann.

Fig. 4: The central stalagmite KRA6a of a dripstone formation is also preserved as a trunk only. Growth of this stalagmite commenced some 42 kyr ago.

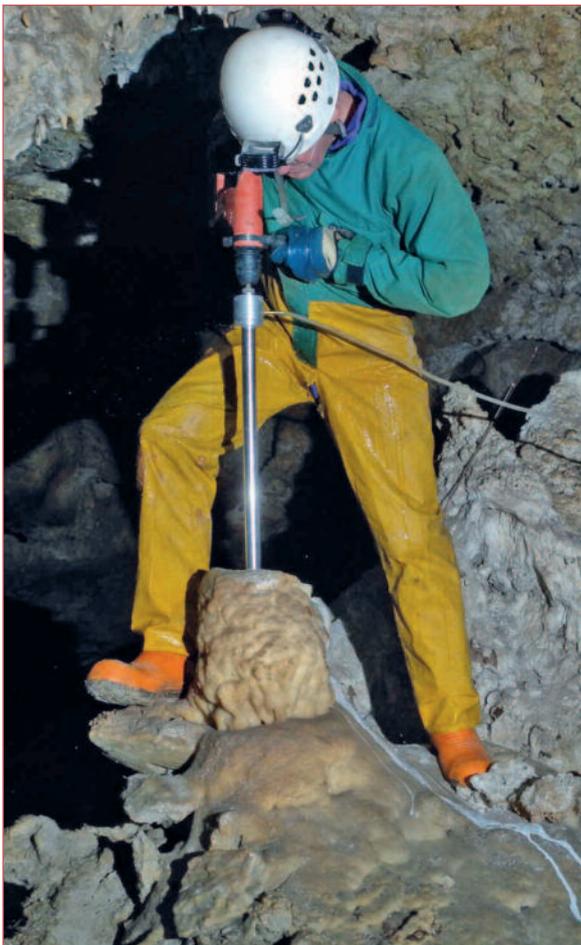


Abb. 3: Kernbohrung (mit Wasserspülung) in den Stalagmiten KRA5.

Fig. 3: Drill coring (with water flushing) of stalagmite KRA5.



Abb. 5: Der Bohrkern des Stalagmiten KRA6c offenbart die interne Wachstumsstruktur mit variablem Eintrag von bräunlichem Ton, besonders im jüngsten obersten Abschnitt.

Fig. 5: The drill core of stalagmite KRA6c reveals the internal growth structure and the changing influx of brownish clay, most pronounced in the youngest, uppermost part.

bohrt. 6 cm unterhalb der Stalagmitenspitze wurde ein Alter von $11,2 \pm 0,08$ kyr bestimmt.

Kaisersalon

KRA7: Die Basis eines abgeschlagenen Stalagmiten ist eingerahmt von Bodensinter. 2009 wurde dieser Stumpf seitlich angebohrt und aus dem Inneren eine Probe mit einem Alter von $59,8 \pm 0,4$ kyr bestimmt (Abb. 6). Im Jahr 2010 wurde der Stumpf vertikal angebohrt und in 20 cm Tiefe noch nicht die Basis des Speläothems erreicht. In 17,3 cm Tiefe wurde ein Alter von $86,0 \pm 0,3$ kyr bestimmt, d.h. der Beginn des Tropfsteinwachstums ist demnach noch etwas früher anzusetzen.

Nördlicher Höhlenbereich

KRA8: Ein Stalagmit wuchs direkt auf der Höhlenwand auf und ist nur noch als 5 cm hoher Stumpf erhalten. Eine Probe, die mittels Horizontalbohrung an der Basis entnommen wurde, ergab ein Alter von $73,4 \pm 1,8$ kyr.

INTERPRETATION

Mithilfe der nun vorliegenden Uran-Thorium-Daten kann gezeigt werden, dass seit mindestens 86 kyr Tropfsteinwachstum in der Kraushöhle stattfindet. Verschiedene Zeitfenster während dieser Periode sind durch einzelne Proben belegt, wobei aufgrund der beträchtlichen Zerstörungen am Sinterschmuck dieser Höhle die Dauer der jeweiligen Tropfsteinwachstumsphasen nur in wenigen Fällen bestimmt werden konnte. Im Vergleich zu vielen anderen österreichischen Höhlen überrascht das junge Alter der Speläotheme, obwohl gerade die frühen Wachstumsabschnitte der Stalagmiten (erhaltungsbedingt) bevorzugt beprobt wurden. Die unterste Probe des Bodensinters KRA7 liefert ein Mindestalter für die Höhlenbildung selbst (d.h. älter als 86 kyr). In anderen Fällen kann eindeutig gezeigt werden, dass das Tropfsteinwachstum nach der Ablagerung der mächtigen Gipschicht – ein Produkt der Reaktion von Schwefelsäure mit dem umgebenden Kalkstein – einsetzte, und zwar erst nachdem dieser Gips teilweise wieder aufgelöst worden war (KRA2 und 3).

Die hier vorgestellten Altersdaten sprechen für eine – geologisch gesehen – junge Entstehung der Kraushöhle. Vor mindestens 86 kyr muss die Höhlenbildung samt massiver Gips-Ablagerung bereits weitestgehend abgeschlossen gewesen sein. Sickerwässer haben anschließend ihren Weg in diese hypogen geprägte



Abb. 6: Basis eines ehemals stattlichen Stalagmiten neben dem sogenannten Sinterkreuz (siehe Abb. 1), von dem zuerst seitlich ein Bohrkern entnommen wurde, später vertikal.
Fig. 6: Trunk of a once grand stalagmite next to the so-called Sinterkreuz (see Figure 1) from which first a lateral drill core was obtained and subsequently a vertical one.

Höhle gefunden. Ein solches Mindestalter passt innerhalb der analytischen Unsicherheit gut zum Alter des Alunits, das mit 80 ± 80 kyr zwar sehr ungenau datiert, aber eindeutig ebenfalls geologisch jung ist (De Waele et al., 2009). Alunit ist ein wasserhältiges Aluminiumsulfat, das aufgrund seines Kaliumgehaltes mittels der Argon-Argon Methode datiert werden kann. Es ist eines von mehreren Mineralen, das sich im Zuge der Schwefelsäure-Reaktion mit dem kalkigen Umgebungsgestein bildete und so die hypogene Speläogenese der Kraushöhle zeitlich einzugrenzen erlaubt.

Zehn der elf datierten Speläotheme wuchsen im letzten Glazial (Würm) und nur ein Stalagmit datiert aus dem gegenwärtigen Interglazial, dem Holozän (KRA4). Auch dieser Befund überrascht, herrschten doch während des langen und klimatisch sehr wechselhaften Würm-Glazials generell kältere und trockenere Bedingungen vor als im Holozän. Laufende Detailuntersuchungen mittels Sauerstoff-Isotopenanalysen belegen, dass das Tropfsteinwachstum nicht auf die milderen Interstadiale beschränkt war; d.h. es muss die Höhlentemperatur auch während der kalten Stadiale z.B. des Mittelwürm (Abb. 7) über dem Gefrierpunkt gelegen haben und Tropfwasser verfügbar gewesen sein. Heute beträgt die Lufttemperatur im Inneren der Kraushöhle $7,6 \pm 0,1$ °C (Abb. 8). Das

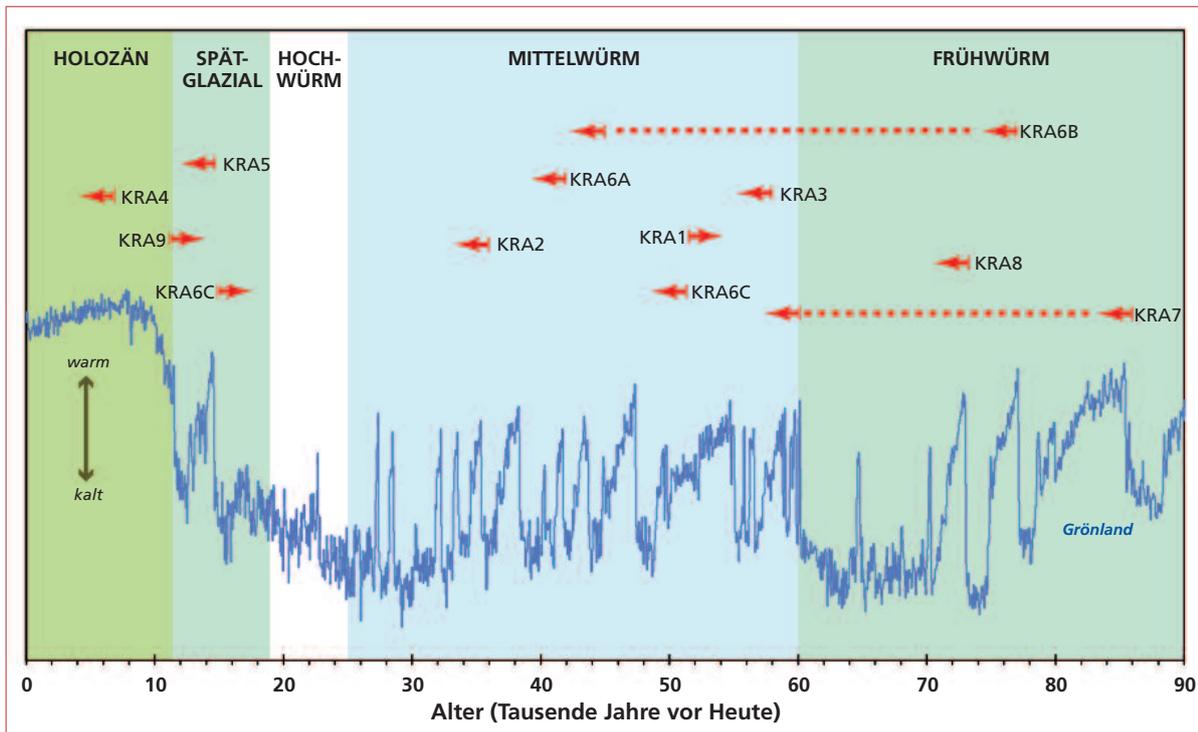


Abb. 7: Zeitskala der letzten 90 kyr (links ist heute) mit den Altersdaten der untersuchten Speläotheme aus der Kraushöhle. Die Pfeile markieren das Basis- bzw. Topalter einzelner Stalagmiten. Die strichlierten Linien zeigen die vermutlich nicht kontinuierliche Wachstumsdauer zweier Tropfsteine an. Die Klimakurve aus dem Eis von Grönland fungiert als nordhemisphärische Referenz der Temperaturentwicklung für diesen Zeitbereich (North Greenland Ice Core Project members, 2004).

Fig. 7: Time scale of the last 90 kyr (present-day is on the left side) showing ages of investigated speleothems from Kraushöhle. Arrows mark the base and top ages of individual stalagmites. Stippled lines indicate the probably discontinuous growth durations of two of the speleothems. The climate curve from the Greenland ice cores acts as a northern hemispheric reference of temperature variability for this time range (North Greenland Ice Core Project members, 2004).

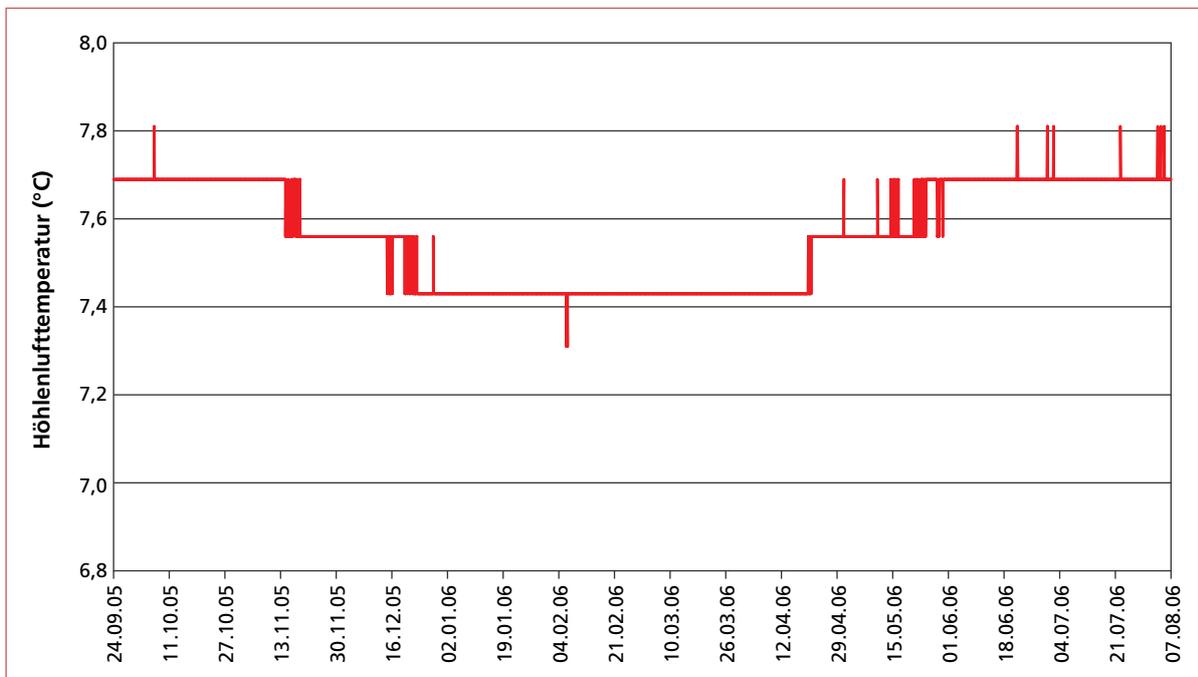


Abb. 8: Verlauf der Lufttemperatur im Tanzsaal (Ostseite, in ca. 2 m Höhe) der Kraushöhle über den Zeitbereich von knapp einem Jahr.

Fig. 8: Evolution of the cave air temperature in Tanzsaal (eastern side, at ca 2 m height) of Kraushöhle over a period of about one year.
Daten: R. Pavuza, NHM Wien

bedeutet, dass die Abkühlung im Mittelwurm weniger als 7–8 °C betrug, spiegelt doch die Höhlentemperatur im Wesentlichen die Jahresmitteltemperatur im Gebiet der Höhle wider. Letztere beträgt heute 7,7 °C, gemessen an der Wetterstation in Hieflau (7 km SW Kraushöhle in 500 m Seehöhe – Land Steiermark, 2011). Es mag an der begrenzten Datenlage liegen, aber es ist durchaus auffallend, dass keiner der untersuchten Tropfsteine in das Zeitintervall des Hochwurm (25–19 kyr) datiert. Vermutlich waren damals die Umweltbedingungen zu kalt und trocken (und eine Vegetation über der Höhle nicht vorhanden), um ein

Tropfsteinwachstum in der Kraushöhle zu ermöglichen. Das deckt sich mit anderen gut untersuchten Höhlen, wo ebenfalls hochwürmzeitliche Tropfsteine gänzlich fehlen, z.B. im Hölloch im Mahdtal (1127/3; Allgäu), in den Obir-Höhlen (3925/1–9) oder in der Gassel-Tropfsteinhöhle (1618/3) (Spötl et al., unveröff. Daten).

Über die Ursache der Seltenheit nacheiszeitlicher Tropfsteine in der Kraushöhle kann nur gemutmaßt werden. Solche dürften wohl in gewisser Anzahl vorhanden gewesen, aber dem Vandalismus zum Opfer gefallen sein.

DANKSAGUNG

Diese Studie wurde durch den österreichischen Wissenschaftsfond (FWF Projekt P222780) gefördert. Dank an K. Bürger, Y. Dublyansky und S. Koppensteiner für die Mithilfe bei der Beprobung, R. Eichstädter für die bewährte Analytik im Heidelberger Labor, R. Pavuza

für die Bereitstellung der Temperaturmessdaten des Tansaals und S. Mischel für die Durchsicht des Manuskriptes. Die Naturschutzabteilung der Steiermärkischen Landesregierung erteilte die naturschutzrechtliche Genehmigung zur Beprobung.

LITERATUR

- De Waele J., Plan, L., Audra, P., Rossi, A., Spötl, C., Polyak, V. & McIntosh, W. (2009): Kraushöhle (Austria): Morphology and mineralogy of an alpine sulfuric acid cave. – Proceedings 15th International Congress of Speleology, Kerville, Texas, 19–26 June, vol. 2: 831–837.
- Dublyansky, Y.V. (2013): Karstification by geothermal waters. – In: Shroder, J. (Editor in chief), Frumkin, A. (Hrsg.), Treatise on Geomorphology. Academic Press, San Diego, CA, vol. 6, Karst Geomorphology, 57–71.
- Hauer, F. (1885): Die Gypsbildungen in der Krausgrotte bei Gams. – Verhandlungen der Geologischen Reichsanstalt, 1885: 21–24.
- Kraus, F. (1891): Höhlenbildung durch Metamorphismus. – Die Natur, 40: 197–199.
- Land Steiermark (2011): Klimaatlas Steiermark. www.umwelt.steiermark.at
- North Greenland Ice Core Project members (2004): High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period. – Nature, 431: 147–151.
- Plan, L., Tschegg, C., De Waele, J., Spötl, C. (2012): Corrosion morphology and cave wall alteration in an Alpine sulfuric acid cave (Kraushöhle, Austria). – Geomorphology, 169–170: 45–54.
- Puchelt, H., Blum, N. (1989): Geochemische Aspekte der Bildung des Gipsvorkommens der Kraushöhle/Steiermark. – Oberrh. geol. Abh., 35: 87–99.
- Spötl, C. & Boch, R. (2012): Uranium series dating of speleothems. – In: White, W. B. & Culver, D.C. (Hrsg.): Encyclopedia of Caves. 2. Aufl., 838–844, Chennai, Academic Press.
- Spötl, C. & Matthey, D. (2012): Scientific drilling of speleothems – a technical note. – Intern. J. Speleol., 41: 29–34.