

Neue Daten zu Vorkommen und Entstehung kryogener Calcite in ostalpinen Höhlen

ZUSAMMENFASSUNG

Proben grobkristalliner kryogener Calcite (CCC = cryogenic cave carbonates) aus hochalpinen Höhlen im Totes Gebirge (Großes Almbergloch) sowie im Ötscher (Taubenloch), die heute keine ganzjährigen Eisbildungen im Bereich der Fundpunkte mehr aufweisen, ergaben radiometrische Alter von $12,25 \pm 0,07$ bzw. $14,28 \pm 0,04$ ka. Die Werte der stabilen Isotope $\delta^{18}\text{O}$ und $\delta^{13}\text{C}$ entsprechen jenen aus anderen Höhlen mit grobkristallinen CCC, wobei jedoch die Daten aus dem Großen Almbergloch diesen Bereich Richtung extrem niedriger $\delta^{18}\text{O}$ -Werte erweitern. Weiters werden erste Alter grobkristalliner CCC aus der Glaseishöhle (Steinernes Meer) vorgestellt, die Eisabtauphasen vor $84,4 \pm 1,2$ ka und $90,0 \pm 3,3$ ka während milder Klimaphasen im Frühwürm dokumentieren.

ABSTRACT

New data on the occurrence and origin of cryogenic carbonates from eastalpine caves

Samples of coarse crystalline cryogenic cave calcites (CCC) from two high alpine caves in Totes Gebirge (Styria, Großes Almbergloch) and Ötscher (Lower Austria, Taubenloch) yielded ages of 12.25 ± 0.07 and 14.28 ± 0.04 ka, respectively. Both caves lack perennial cave ice bodies in the vicinity of the sampling spots. Stable isotope results of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ are in agreement with previous investigations of coarse crystalline CCC from caves elsewhere, but data from Großes Almbergloch extend this range to even lower $\delta^{18}\text{O}$ values. In addition, first dates of coarse crystalline CCC from Glaseishöhle (Steinernes Meer, Bavaria) are presented, which document thawing of former cave ice at 84.4 ± 1.2 ka and 90.0 ± 3.3 ka, i.e. during peak interstadials of the Early Würmian period.

Rudolf Pavuza

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

Christoph Spötl

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

Eingelangt: 26.4.2017

Angenommen: 7.6.2017

EINLEITUNG UND VORGESCHICHTE

Kryogene – d.h. im Zuge des Gefrierprozesses gebildete – Karbonate aus Höhlen wurden in den letzten Jahren zu einem wichtigen Werkzeug für das Verständnis der langfristigen Dynamik von Höhleneis. Ihr Vorkommen belegt die einstige Existenz von Höhleneis in heute meist eisfreien Bereichen. Die internationale Forschung bezeichnet solche Bildungen als *cryogenic cave carbonates* (CCC) und unterscheidet meist zwischen solchen, die mit freiem Auge als Kristalle oder unterschiedlich geformte Aggregate erkannt werden können (grobkristalline CCC), und jenen, die feine, meist weißliche Kristallpulver bilden (feinkristalline CCC). Besonderes Interesse haben erstere geweckt, da vor allem an solchen Proben mittels der Uran-Thorium-Methode bestimmt werden kann, wann in der Vergangenheit in einem bestimmten Höhlenbereich ein größerer Eiskörper vorhanden war, der im langsamen Abtauen begriffen war.

In dieser Zeitschrift fanden sich bereits einige Artikel über dieses Phänomen in alpinen Höhlen (z.B. Spötl, 2008; Richter et al., 2009), die die Genese und die verschiedenen Ausbildungen beschreiben. Weitere Ausführungen zu alpinen und mitteleuropäischen kryogenen Karbonaten finden sich z.B. bei Richter et al. (2010, 2013, 2015, 2017), Žák et al. (2012), Luetscher et al. (2013), Orvosová et al. (2013) oder Spötl & Cheng (2014). Im Zuge einer Befahrung des Großen Almberglochs (1624/16) in den Grundlsee Bergen am 12.11.1977 durch Helmut Traindl und den Erstautor fiel im tagfernen, eisfreien Bereich unterhalb der ersten Schächte dieser heute nur im Einstiegsschacht eisführenden Höhle eine weiße Masse auf einem riesigen Felsblock auf, die auf den ersten Blick wie eine Ablagerung von Karbidresten aussah. Aus der Nähe entpuppte sich diese auffallende Erscheinung jedoch als eine überraschend große Menge weißer, meist nadelförmiger

Kristallaggregate, die dem Block wie aufgestreut auflagerten. Zu diesem Zeitpunkt war uns nicht bekannt, dass Reinhold Kreuz von der Höhlenforschergruppe Schwäbisch-Gmünd (D) im Jahr zuvor im Zuge der Erforschung und Vermessung der Höhle diese Kristallmassen ebenfalls bemerkt und auch beprobt hatte (Kreuz, 1976) und somit nach heutigem Kenntnisstand der erste war, der mit kryogenen Karbonaten in alpinen Höhlen – freilich unbewusst – konfrontiert wurde. Er ließ röntgenographische Untersuchungen der Aggregate durchführen; sein tragisches Ableben (1979) führte indessen zum Ende aller weiteren Aktivitäten.

Die aus dem Großen Almbergloch geborgene Probe wurde im Laufe der folgenden Jahrzehnte ebenfalls mit verschiedenen Methoden untersucht und interpretiert. Eine schlüssige Diagnose ergab sich aber erst im Zuge der internationalen Forschung zum Thema CCC.

Eine recht ähnliche Probe aus dem Ötscherhöhlensystem (1816/6) – entdeckt im damals noch nicht mit dem Geldloch verbundenen Taubenloch (1816/15) – wurde von Eckart Herrmann am 3.11.1990 geborgen und an Robert Seemann (NHM Wien) übergeben, der mineralogische Untersuchungen durchführte; eine Identifikation als kryogener Calcit erfolgte jedoch auch in diesem Fall damals nicht.

In diesem Artikel werden die beiden Vorkommen kurz vorgestellt und ihre kryogene Entstehung mittels Isotopendaten dokumentiert.

Altersbestimmungen erlauben eine genaue zeitliche Erfassung der Eisabschmelzprozesse in diesen beiden alpinen Höhlen. Abschließend werden erste Altersdaten von CCCs aus der Glaseishöhle (1331/258; im deutschen Teil des Steinernen Meeres) berichtet.

GROSSES ALMBERGLOCH (1624/16)

Das Große Almbergloch liegt in den Ausläufern des Toten Gebirges nördlich des Grundlsee. Sein imposanter, von weitem sichtbarer Eingang (Abb. 1) befindet sich in einer Seehöhe von 1475 m.

Der folgende Gang stellt eigentlich eine teilweise sehr steile Durchgangshöhle zur Hochfläche (mit über 120 m Höhenunterschied) dar. Der Hauptteil der Höhle zweigt jedoch etwa auf halbem Wege von dieser



Abb. 1: Das von weitem sichtbare Portal des Großen Almberglochs oberhalb des Grundlsee.
Fig. 1: The entrance of Großes Almbergloch near Grundlsee can be seen from afar.

Foto: Lukas Plan

ab und zieht in einigen meist kurzen Schachtstufen mit ausgedehnten Horizontalteilen bis in 188 m Tiefe unter der Abzweigung. Die Höhle wies 1977 nur mehr im *Eisschacht* bald nach der Abzweigung permanentes Höhleneis auf, allerdings liegen einige Abschnitte des eisführenden Almborg-Höhlensystems (1624/18) lediglich 180 m vom Almborgloch entfernt (Schneider, 2013).

80 m unter der Abzweigung aus der Durchgangshöhle fand sich in der *Wartehalle* auf einem riesigen Versturzbloc aufgestreut eine große Menge eines weißen, aus strahligen Mineralaggregaten aufgebauten Pulvers. Röntgendiffraktometrie-Untersuchungen ergaben – analog zu den Untersuchungen von Kreuz (1976) – magnesiumarmen Calcit. Unter dem Lichtmikroskop erscheinen die Kristalle von beinahe glasklarer Rein-



Abb. 2: Federförmige Calcitkristalle aus dem Großen Almborgloch.
Fig. 2: Feathery calcite crystals from Großes Almborgloch.

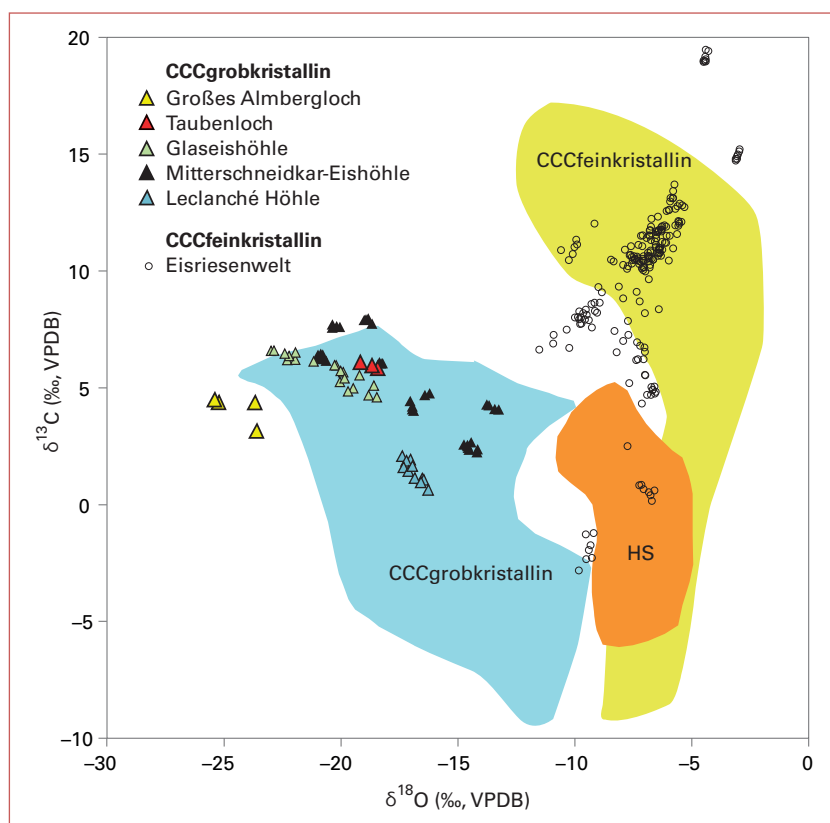


Abb. 3: Stabile Kohlenstoff- und Sauerstoffisotope der CCC-Proben aus dem Großen Almborgloch, dem Taubenloch und einigen anderen alpinen Höhlen im Vergleich zu Daten grob- und feinkristalliner kryogener Karbonate nicht-alpiner mitteleuropäischer Höhlen (gelbes und hellblaues Feld), feinkristalliner CCC aus der Eisriesenwelt sowie holozäner Tropfsteine aus alpinen Höhlen (HS Feld). Die publizierten Daten stammen von Spötl (2008, mit weiteren Zitaten mitteleuropäischer Vorkommen), Richter et al. (2009), Spötl & Cheng (2014), Luetscher et al. (2013) und May et al. (2011).
Fig. 3: Stable isotopic composition of CCC from Großes Almborgloch, Taubenloch and a few other alpine cave sites compared to data of coarse and fine crystalline CCC from non-alpine central European caves (yellow and light blue arrays), fine crystalline CCC from Eisriesenwelt, as well as Holocene dripstones from alpine caves (HS field). The published data are from Spötl (2008, including studies of central European sites), Richter et al. (2009), Spötl & Cheng (2014), Luetscher et al. (2013) and May et al. (2011).

heit und bestehen aus mehrere Millimeter langen Stäbchen, an denen seitlich Fortsätze mit schrägem Winkel ansetzen und ihnen so ein federartiges Aussehen verleihen (Abb. 2). Viele Kristalle sind nur als Fragmente erhalten.

Untersuchungen der stabilen Isotopenwerte des Kohlenstoffs und Sauerstoffs ergaben sehr niedere $\delta^{18}\text{O}$ -Werte ($-25,4$ bis $-23,6$ ‰) und positive $\delta^{13}\text{C}$ -Wer-

te ($+3,2$ bis $+4,5$ ‰), die sich markant von klassischen Sinterbildungen alpiner Höhlen unterscheiden (Abb. 3). Diese Wertepaare in Kombination mit der Kristallform in dem charakteristischen Vorkommen sprechen klar für eine kryogene Entstehung. Im Vergleich mit bisher bekannten grobkristallinen CCC erweitern die Almberglochproben das Feld hin zu extrem niederen $\delta^{18}\text{O}$ -Werten (Abb. 3).

Tabelle 1: Uran-Thorium Altersbestimmungen an grobkristallinen CCC. Die Alterswerte beziehen sich auf das Jahr 1950 n. Chr.
Table 1: Uranium-Thorium dates of coarse crystalline CCC. Ages are reported as BP, i.e. before the year 1950 AD.

Probe	^{238}U (ppb)	^{232}Th (ppt)	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ ($\times 10^{-6}$)	$\delta^{234}\text{U}$ (gemessen)	$^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ (Aktivität)	^{230}Th age (a)(unkorr.)	$\delta^{234}\text{U}_{\text{initial}}$ (korr.)	^{230}Th Alter (a BP) (korr.)
Großes Almbergloch								
ALM	4270 ± 9	6202 ± 125	639 ± 13	$-468,2$ $\pm 0,9$	0,0563 $\pm 0,0001$	12399 ± 41	-485 ± 1	12254 ± 71
Taubenloch								
CC11-90	14247,5 $\pm 18,1$	27007 ± 542	2130 ± 43	963,5 $\pm 2,2$	0,2449 $\pm 0,0004$	14377 ± 31	1003 ± 2	14283 ± 36
Glaseishöhle								
GLAS-1*	482 ± 2	160800 ± 3260	60 ± 1	967,0 $\pm 6,4$	1,2096 $\pm 0,0083$	94476 ± 1064	1247 ± 14	90018 ± 3281
GLAS-2**	790 ± 3	84868 ± 1709	173 ± 4	959,5 $\pm 4,6$	1,1276 $\pm 0,0054$	85881 ± 661	1218 ± 7	84400 ± 1196

*Steile Rhomboeder, **normale Rhomboeder (vgl. Richter et al., 2009).

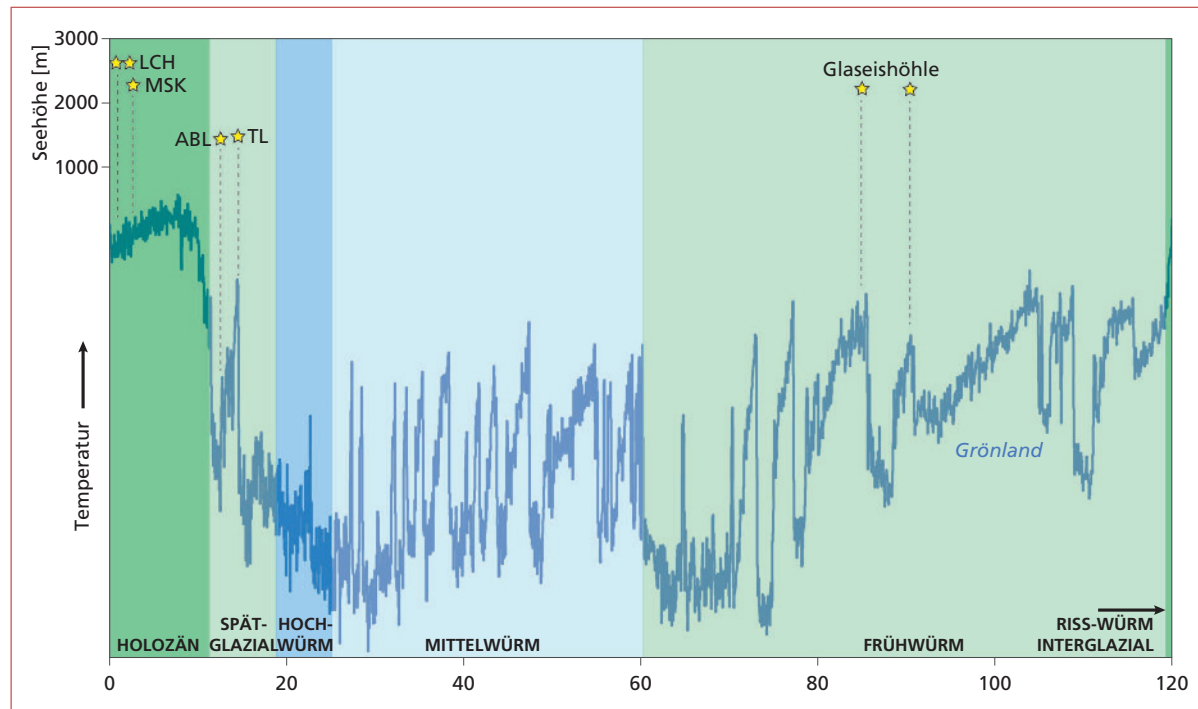


Abb. 4: Zeitskala der letzten 120 ka (links ist heute) mit den Altersdaten der untersuchten grobkristallinen CCC aus dem Großen Almbergloch (ABL), Taubenloch (TL) und der Glaseishöhle sowie publizierten Daten aus der Mitterschneidkar-Eishöhle (MSK, Spötl & Cheng, 2014) und der westalpinen Leclanché Höhle (LCH, Luetscher et al., 2013). Die Klimakurve aus dem Eis von Zentralgrönland fungiert als unskalierte nordhemisphärische Referenz der Temperaturentwicklung (North Greenland Ice Core Project members, 2004).

Fig. 4: Time scale of the last 120 ka (present-day is on the left side) showing ages of investigated coarse crystalline CCC from Großes Almbergloch (ABL), Taubenloch (TL) and Glaseishöhle, as well as published data from Mitterschneidkar-Eishöhle (MSK) and the westalpine Leclanché Cave (LCH). The climate curve from ice of central Greenland acts as an unscaled northern hemispheric reference of temperature variability (North Greenland Ice Core Project members, 2004).

Die Altersbestimmung ($12,25 \pm 0,07$ ka; Tab. 1) zeigt, dass die Bildung dieser Kristalle in die Jüngere Dryas fällt, eine ca. 1200 Jahre lange Epoche kalten Klimas am Übergang von der letzten Eiszeit in die heutige Warmzeit, das Holozän (Abb. 4). Die präzise Datierung passt haargenau zu einem Klimaübergang innerhalb der Jüngeren Dryas, der erst in den letzten Jahren erkannt und anhand von jahreszeitlich geschichteten Seesedimenten in Mitteldeutschland auf $12,24 \pm 0,04$ ka datiert wurde (Lane et al., 2013). Damals dürfte es zu einer sprunghaften leichten Zunahme der Temperatur gekommen sein, die im Übrigen auch in einem Stalagmiten der Bärenhöhle (1114/1, Beza, Vbg.) festgestellt und auf $12,3 \pm 0,1$ ka datiert wurde (Luetscher

et al., 2016). Diese geringfügige Erwärmung war vermutlich jener Auslöser, der in damals eisführenden Abschnitten des Großen Almborglochs das Eis langsam abtauen ließ, wodurch sich in der Folge im Bereich des Fundpunkts durch erneutes Gefrieren am damaligen Eiskörper CCCs bilden konnten.

Es wurde auch eine Bestimmung des Radiokarbongehalts dieser CCC-Probe durchgeführt, die wenig überraschend ein höheres Alter ergab (13400 ± 80 BP bzw. 16361–15847 cal BP, 2 sigma Bereich; Univ. Utrecht, Fac. Natuur- en Sterrenkunde, Probe-Nr. 3986). Dies spiegelt die Beimengung von anorganischem (^{14}C -freien) Kohlenstoff aus der Lösung des Dachsteinkalks wider.

TAUBENLOCH/ÖTSCHERHÖHLENSYSTEM (1816/6)

Im Zuge der Erforschung des Taubenlochs – noch vor dem Zusammenschluss mit dem Geldloch zum Ötscherhöhlensystem – fand Eckart Herrmann (Herrmann, 1991) im *Schlazlosen Gang* in ca. 1250 m Seehöhe unter einer mm- bis cm-dicken Lehmschicht eine 2–3 cm dicke Lage aus weißen Kristallnadeln. Unter dem Lichtmikroskop zeigen sich teils fast glasklare, teils leicht milchigweiße Kristalle, die aus meist 1 mm langen Stäbchen mit seitlich aufgesetzten, kurzen, schräg abstehenden Seitenteilen bestehen. Diese Kristallform ähnelt der aus dem Großen Almborgloch, wobei jedoch die Kristalle deutlich kleiner sind und zudem mehr Verunreinigung in Form von hellbraunen Mineralpartikeln auftritt. Zudem finden sich weiße Calcitpartikel,

die feinkristallin sind und als Fragmente vorkommen. Untersuchungen der stabilen Isotope ergaben abgereicherte $\delta^{18}\text{O}$ -Werte (–19,2 bis –18,4 ‰) und positive $\delta^{13}\text{C}$ -Werte (+5,9 bis +6,1 ‰), die in das bisher bekannte Feld grobkristalliner CCC fallen und mit Daten z.B. aus der Mitterschneidkar-Eishöhle (2516/6) in den Zillertaler Alpen überlappen (Abb. 3). Für die U-Th-Altersbestimmung wurden die braunen Verunreinigungen unter dem Mikroskop entfernt, die Reinprobe ergab ein Alter von $14,28 \pm 0,04$ ka (Tab. 1). Das Wachstum dieser Kristalle fällt somit in die ersten Jahrhunderte nach Beginn des Bølling Interstadials, das vor 14,6 ka eine abrupte Erwärmung mit sich brachte (Abb. 4) und zur Wiederbewaldung in den Alpen führte.



Abb. 5: Stäbchenförmige Calcitkristalle aus dem Taubenloch.
Fig. 5: Rod-shaped calcite crystals from Taubenloch.

GLASEISHÖHLE (1331/258)

Diese Höhle öffnet sich in 2230 m Seehöhe westlich des Schneibers (2330 m) im bayerischen Anteil des Steinernen Meers. Nach dem Abtauen eines Eisverschlusses im Jahr 2002 konnte das 2,3 km lange Höhlensystem befahren und vermessen werden. Nahe der tiefsten Stelle (-229 m) dieses großteils vertikal ausgebildeten Systems fanden sich grobkristalline CCC im Verband mit durch Frost zerstörten Sinterformationen. Richter et al. (2009) studierten dieses CCC-Vorkommen und fanden zwei Kristallpopulationen: Solche, die aus normalen, und solche, die aus steilen Calcit-Rhomboedern bestehen. Die Isotopenwerte beider Gruppen fallen in das Feld der grobkristallinen CCC (Abb. 4). Richter et al. (2009) vermuteten eine Entstehung dieser CCC am Übergang von

der letzten Eiszeit zum Holozän, hatten aber keine Altersdaten zur Verfügung. Je eine Probe bestehend aus normalen und steilen Rhomboederkristallen, die dankenswerterweise von D.K. Richter zur Verfügung gestellt wurden, wurden nun mittels U-Th altersbestimmt und ergaben deutlich höhere Alter als seinerzeit vermutet. Die Probe mit den normalen Calcit-Rhomboedern ergab ein Alter von $84,4 \pm 1,2$ ka, jene mit den steilen ein etwas höheres von $90,0 \pm 3,3$ ka (Tab. 1). Diese Werte fallen in das Frühwürm und zwar auffallenderweise in Epochen, die klimatisch mild waren (Abb. 4). Diese Daten geben somit erste Einblicke in das Vorkommen von Höhleneis in eingangsfernen Abschnitten alpiner Höhlen lange vor dem Höhepunkt der letzten Eiszeit.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Kryogene Karbonate bieten die seltene Möglichkeit des sicheren Nachweises längst verschwundener Eisvorkommen in Höhlen sowie der Bestimmung von Phasen mit Übergängen zu wärmeren Zeiten, in denen wieder Sickerwasser zur Verfügung stand, das in der Folge im Bereich der damaligen Eiskörper wieder gefrieren und durch Ausfrieren der gelösten Mineralisation CCC bilden konnte. In den kältesten glazialen Abschnitten stand hingegen in vielen Höhlen vermutlich gar kein Sickerwasser zur Verfügung. In weiterer Folge ergeben sich aus solchen Daten somit interessante Rückschlüsse auf das frühere Klima.

Wie Abbildung 4 zeigt, deutet sich eine nicht-lineare Abhängigkeit des Abtauens früherer Höhleneisvorkommen von der Seehöhe an: Die Vorkommen mit der niedrigsten Seehöhe (Großes Almbergloch, 1475 m bzw. Taubenloch, Eingang in 1492 m) tauten

schon während der Jüngeren Dryas bzw. im früheren Bölling auf, während die über 2000 m gelegenen Bereiche in der Glaseishöhle bereits während ausgeprägter Interstadiale im Frühwürm instabil wurden. Das über 2600 m hohe Eisvorkommen in der Leclanché Höhle (Sanetsch, Schweiz) wurde hingegen erst im Zuge der warmtrockenen Römerzeit bzw. im Hochmittelalter instabil.

Die alpine CCC-Forschung steht erst am Anfang. Große Teile dieses Permafrost-„Puzzles“ kennen wir noch nicht, und die genaue Suche nach CCC sowohl im Eis – jüngst z.B. in Höhlen der spanischen Pyrenäen (Bartolomé et al., 2015) und der Julischen Alpen (Colucci et al. 2017) – als auch, etwas schwieriger, in heute gänzlich eisfreien Bereichen entsprechender Höhlen ist zweifellos lohnenswert und wissenschaftlich von hoher Relevanz.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Hai Cheng (Xi'an Jiaotong University) sei für die Datierungsergebnisse gedankt. Detlev Richter überließ Christoph Spötl freundlicherweise Proben aus der

Glaseishöhle zur weiteren Bearbeitung und las eine frühere Version dieses Manuskriptes.

LITERATUR

- Bartolomé, M., Sancho, C., Osácar, C., Moreno, A., Leunda, M., Spötl, C., Luetscher, M., López-Martínez, J. & Belmonte, A. (2015): Characteristics of cryogenic carbonates in a Pyrenean ice cave (northern Spain). – *Geogaceta*, 58: 107–110.
- Colucci, R.R., Barbante, C., Bertò, M., Dreossi, G., Festi, D., Forte, E., Gabrieli, J., Guglielmin, M., Lenaz, D.,

- Luetscher, M., Maggi, V., Princivalle, F., Schwikowski, M., Stenni, B. & Žebre, M. (2017): Ice cores and calcite precipitates from alpine ice caves as useful proxies in paleoclimate reconstructions. – *Geophys. Res. Abstracts*, 19: EGU2017-17181-3.
- Herrmann, E. (1991): Taubenloch 1990. – *Höhlenkundl. Mitt. Wien*, 47(2): 21–35.

- Kreuz, R. (1976): Vermessungsfahrt ins Almbergloch (Grundlsee, Kataster-Nr. 1624/16 a,b) vom 16.4.–18.4.1976. – *Höhlenkundl. Mitt. Wien*, 32(10): 149–151.
- Lacelle, D., Lauriol, B. & Clark I.D. (2009): Formation of seasonal ice bodies and associated cryogenic carbonates in Caverne de l'Ours, Québec, Canada: Kinetic isotope effects and pseudo-biogenic crystal structures. – *Cave and Karst Studies*, 71(1): 48–62.
- Lane, C.S., Brauer, A., Blockley, S.P.E. & Dulski, P. (2013): Volcanic ash reveals time-transgressive abrupt climate change during the Younger Dryas. – *Geology*, 41: 1251–1254.
- Luetscher, M., Hellstrom, J., Müller, W., Barrett, S., Dublyansky, Y. & Spötl, C. (2016): A Younger Dryas temperature reconstruction from alpine speleothems. – *Geophys. Res. Abstracts*, 18: EGU2016-11602.
- Luetscher, M., Borreguero, M., Moseley, G., Spötl, C. & Edwards, R.L. (2013): Alpine permafrost thawing during the Medieval Warm Period identified from cryogenic cave carbonates. – *The Cryosphere*, 7: 1073–1081.
- May, B., Spötl, C., Wagenbach, D., Dublyansky, Y. & Liebl, J. (2011): First investigations of an ice core from Eisriesenwelt cave (Austria). – *The Cryosphere*, 5: 81–93.
- North Greenland Ice Core Project members (2004): High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period. – *Nature*, 431: 147–151.
- Orvosová, M., Deiniger, M. & Milovsky, R. (2013): Permafrost occurrence during the Last Permafrost Maximum in the Western Carpathian Mountains of Slovakia as inferred from cryogenic cave carbonate. – *Boreas*, 43: 750–758.
- Richter, D.K., Goll, K., Grebe, W., Niedermayr, A., Platte, A. & Scholz, D. (2015): Weichselzeitliche Kryocalcite als Hinweis für Eisseen in der Hüttenbläuserschachthöhle (Iserlohn/NRW). – *E&G Quaternary Sci. J.*, 64: 67–81.
- Richter, D.K., Knolle, F., Meyer, S. & Scholz, D. (2017): Erste weichselzeitliche Kryocalcit-Vorkommen in Höhlen des Iberg/Winterberg-Riffkomplexes (Harz). – *Mitt. Verb. dt. Höhlen- und Karstforscher*, 63: 52–57.
- Richter, D.K., Meyer, S., Scholz, D. & Immenhauser, A. (2013): Multiphase formation of Weichselian cryogenic calcites, Riesenberg Cave (Süntel/NW Germany). – *Z. Dt. Ges. Geowiss.*, 164: 353–367.
- Richter, D.K., Voigt, S. & Neuser, R.D. (2009): Kryogene Calcite unterschiedlicher Kristallform und Kathodolumineszenz aus der Glaseishöhle am Schneiber (Steinerenes Meer/Nationalpark Berchtesgaden, Deutschland). – *Die Höhle*, 60: 3–9.
- Richter, D.K., Meissner, P., Immenhauser, A., Schulte, U. & Dorsten, I. (2010): Cryogenic and non-cryogenic pool calcites indicating permafrost and non-permafrost periods: a case study from the Herbstlabyrinth-Advent Cave system (Germany). – *The Cryosphere*, 4: 501–509.
- Schneider, T.-M. (2013): Neues aus dem Almberg-Höhleensystem (1624/18), Totes Gebirge – ein Überblick über die laufenden Forschungsarbeiten. – *Die Höhle*, 64: 72–78.
- Seemann, R. (1992): Bestimmung einer Mineralprobe aus dem Taubenloch (1816/14). – *Höhlenkundl. Mitt. Wien*, 48(11): 235–236.
- Spötl, C. (2008): Kryogene Karbonate im Höhleneis der Eisriesenwelt. – *Die Höhle*, 59: 26–36.
- Spötl, C. & Cheng, H. (2014): Holocene climate change, permafrost and cryogenic carbonate formation: insights from a recently deglaciated, high-elevation cave in the Austrian Alps. – *Climate of the Past*, 10: 1349–1362.
- Žák, K., Hercman, H., Orvosová, M. & Jačková, I. (2009): Cryogenic cave carbonates from the Cold Wind Cave, Nízke Tatry Mountains, Slovakia: Extending the age range of cryogenic cave carbonate formation to the Saalian. – *Int. J. Speleol.*, 38(2): 139–152.
- Žák, K., Richter, D.K., Filippi, M., Živor, R., Deininger, M., Mangini, A. & Scholz, D. (2012): Coarsely crystalline cryogenic cave carbonate – a new archive to estimate the Last Glacial minimum permafrost depth in Central Europe. – *Climate of the Past*, 8: 1821–1837.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Die Höhle](#)

Jahr/Year: 2017

Band/Volume: [68](#)

Autor(en)/Author(s): Pavuza Rudolf, Spötl Christoph

Artikel/Article: [Neue Daten zu Vorkommen und Entstehung kryogener Calcite in ostalpinen Höhlen 100-106](#)