

Aktuelle Wachstumsdynamik der Eisstalagmiten in der Hundsalm Eis- und Tropfsteinhöhle (Tirol)

ZUSAMMENFASSUNG

Mittels daueraufzeichnender Temperatursonden und einer automatischen Kamera wurde das Wachstum von saisonalem Eis in einem an den eisführenden Bereich der Hundsalm Eis- und Tropfsteinhöhle angrenzenden Höhlenraum zwischen Ende Oktober 2012 und Anfang Mai 2013 untersucht. Eiswachstum in Form von Stalagmiten setzte immer dann ein, wenn die Temperatur außerhalb der Höhle unter -2 °C fiel und Kaltluft in die schachtförmige Höhle einfloss. Die Haupteisbildungsphase fand zwischen Spätwinter und Frühjahr statt, als der Boden über der Höhle noch gefroren war. Dies belegt das Wasserspeichervermögen des verkarsteten Kalksteins. Zum Zeitpunkt des Einsetzens der Schneeschmelze war die Temperatur im betreffenden Höhlenraum bereits knapp über den Gefrierpunkt angestiegen, und das eindringende Wasser führte daher zu keinerlei Eisbildung mehr. Diese Fallstudie zeigt auf, dass bereits ein geringer Temperaturanstieg der Außenluft im Zuge von Klimaänderungen dazu führen kann, dass die für die Massenbilanz wichtige Eisneubildung im Zuge der Schneeschmelze ausbleibt und mittelfristig solche Höhlen(abschnitte) ihr perennierendes Eis verlieren.

ABSTRACT

Current growth dynamics of ice stalagmites in Hundsalm Eis- und Tropfsteinhöhle (Tyrol)

The dynamics of aggradation and degradation of seasonal ice stalagmites was monitored in a chamber adjacent to the perennial ice-bearing part of Hundsalm Eis- und Tropfsteinhöhle between the end of October 2012 and early May 2013. The instruments used include temperature data loggers and an automatic camera. As soon as the outside temperature dropped below -2 °C , ice growth started in this cave chamber, following the inflow of cold air into this descending cave. The main period of ice aggradation occurred between late winter and spring when the soil above the cave was still frozen. This underscores the significant water storage capacity of the karstified limestone. When snow melt started above the cave, the temperature in the chamber had already risen to values slightly above the freezing point and no further ice was formed.

This case study illustrates that even a small increase in outside temperature as a consequence of climate change may result in a lack of newly formed ice during snow melt (an important component of the mass balance of ice caves), eventually leading to the loss of perennial cave ice.

Christoph Spötl

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

Eingelangt: 4.3.2018

Angenommen: 1.4.2018

EINLEITUNG

Höhleneis wird entweder durch langsame Umkristallisation von Schnee gebildet, welcher in Höhlen hineinfällt bzw. -rutscht, oder durch Gefrieren von Tropf- und Sickerwässern (sog. Kongelationseis). Während Schnee-Eintrag in statisch bewetterten Eishöhlen dominiert und dort bis zu Zehnermetern Mächtigkeit erreichen kann (z.B. Kraterschacht, Hochschneid-Eishöhle), bildet sich Kongelationseis insbesondere in

dynamisch bewetterten Höhlen hinter deren unteren Eingängen und kann bis zu einige Meter dick werden (z.B. Spötl & Pavuza, 2016). Wassereis tritt auch in statisch bewetterten Eishöhlen auf, bildet aber meist nur Eisfiguren wie beispielsweise Eisstalaktiten und -stalagmiten, die in der warmen Jahreszeit meist abschmelzen und nur wenig zur Massenbilanz des Höhleneises beitragen.

Bereits der Pionier der Eishöhlenforschung in Österreich, Eberhard Fugger, hat ab 1876 systematische Eisbeobachtungen insbesondere in der Kolowrathhöhle am Untersberg durchgeführt (z.B. Fugger, 1888; Jäger, 1919; Klappacher & Mais, 1999), die zu den frühesten derartigen Forschungen europaweit zählen (Meyer et al., 2017; Meyer, 2018). Dennoch gibt es bis dato erstaunlich wenige systematische Beobachtungen und Messreihen zum Kongelationseis in ostalpinen Eishöhlen. Diese beschränken sich i.w. auf die großen dynamisch bewetterten Eishöhlen Dachstein-Rieseneishöhle (Saar, 1955) und Eisriesenwelt (Hauser & Oedl, 1926; Obleitner & Spötl, 2011). Saar (1955) konnte beispielsweise anhand von Messungen zwischen September 1928 und September 1929 zeigen, dass das Kongelationseis der Dachstein-Rieseneishöhle eine erste Wachstumsphase im Dezember und Jänner aufweist, im Zeitraum Feber bis April wieder abnimmt und im Mai und Juni sein Hauptwachstum aufweist. Während die erste Eisbildungsphase „infolge vermehrten Sickerwassernachschubes in die schon kaltgewordene Höhle“ (S. 299) eintrat, erklärte er die

zweite Phase „durch vermehrte Zufuhr von Schneeschmelzwässern in die sehr kalte Evakuations“. Den Eisschwund während des Hoch- und Spätwinters führte er auf Eisverdampfung „bei kräftigen, kalten und trockenen Winterwettern“ zurück, angetrieben durch kräftige Bewetterung. Die Degeneration des Eises nach der Hauptwachstumsphase wird laut Saar (1955) hauptsächlich durch Sickerwässer verursacht, die in den Sommer- und Herbstmonaten latente Wärme in die Höhle einbringen.

Vergleichbare Verhältnisse herrschen auch in der Eisriesenwelt, die ebenfalls dynamisch bewettert ist. Am inneren Ende des eisführenden Bereichs, im *Eispalast*, wurde innerhalb eines Jahres (Dezember 2007 bis November 2008) ein Eisverlust von 35 mm gemessen; 90% davon schmolzen im Zeitraum Juni-November ab und 10% durch Sublimation im Winter (Obleitner & Spötl, 2011). Im Beobachtungszeitraum wurde dort keine Eisakkumulation festgestellt.

Vergleichbare Dauerbeobachtungen zur saisonalen Eisdynamik in statischen Eishöhlen stehen bislang für die Ostalpen aus.

DIE HUNDSALM EIS- UND TROPFSTEINHÖHLE (1266/1)

Diese Höhle, im Gemeindegebiet von Angerberg (Tirol) auf 1520 m gelegen, wurde 1921 entdeckt und wird seit 1967 als Schauhöhle betrieben, die einzige eisführende ihrer Art in Tirol. Die Höhle weist einen perennierenden Eisbereich auf, sowie einen erst 1984 entdeckten tieferen Höhlenteil (*Neuteil*), der eisfrei und mit einer Luke verschlossen ist. Der perennierende Eisbereich liegt unterhalb der beiden Tagschächte, die für die Luftzirkulation und damit die Unterkühlung dieser statisch bewetterten Höhle entscheidend sind: Fällt die Außentemperatur unter $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, steigt die weniger dichte und daher leichtere Höhlenluft durch den *Oberen Einstieg*, einen 28 m hohen Schacht, kaminartig auf, während kalte Außenluft durch den unmittelbar nördlich davon und etwas tiefer gelegenen *Unteren Einstieg* in die Höhle absinkt und diese abkühlt. An beiden Stellen kann auch Schnee in die

Höhle fallen bzw. rutschen, und dieser bildet die Hauptmasse des Eiskörpers (Spötl et al., 2014).

Die Hundsalm Eis- und Tropfsteinhöhle weist seit etlichen Jahren eine negative Massenbilanz auf; die Eisoberfläche sinkt ein, die Randklüfte weiten sich, und der an den *Eisdome* nach Süden anschließende Eisbereich ist bereits stark abgeschmolzen. Die Höhle ist – wenn der Trend anhält – auf dem Weg, ihr perennierendes Eis zu verlieren und eine saisonale Eishöhle zu werden. Neueisbildung findet, je nach Charakter des jeweiligen Winters, in unterschiedlichem Ausmaß statt. Dieses Kongelationseis verschwindet jedoch im Laufe des Spätsommers und Herbstes in den meisten Jahren vollständig, so beispielsweise die markante Eissäule am Nordrand des *Eisdoms*. Auch der künstliche Eintrag von Schnee, der seit Jahrzehnten betrieben wird, hat den Eisschwund nicht aufhalten können.

LANGZEITBEOBACHTUNGEN

Um die Dynamik des saisonalen Eises erfassen zu können, wurde knapp südlich des perennierenden Eisbereichs, in der *Tropfsteinhalle*, eine Kamera auf einem Stativ montiert, die jeden Tag ein Foto mit Blickrichtung zum Eisbereich (d.h. nach Norden) machte. Die *Tropfsteinhalle* liegt nur rund 15 m südlich dieses Eisbereichs (Abb. 1). Der Beobachtungszeitraum er-

streckte sich vom 26.10.2012 bis zum 11.5.2013. 1 m neben der Kamera wurde die Höhlenlufttemperatur 1 m über dem Boden mit einem Datensammler aufgezeichnet; dasselbe geschah im *Eisdome* in 1,5 m Höhe und als Vergleich dazu außerhalb der Höhle. Wenige Meter neben dem Schachteinstieg des *Oberen Einstiegs* stand zu dieser Zeit eine automatische Wetter-

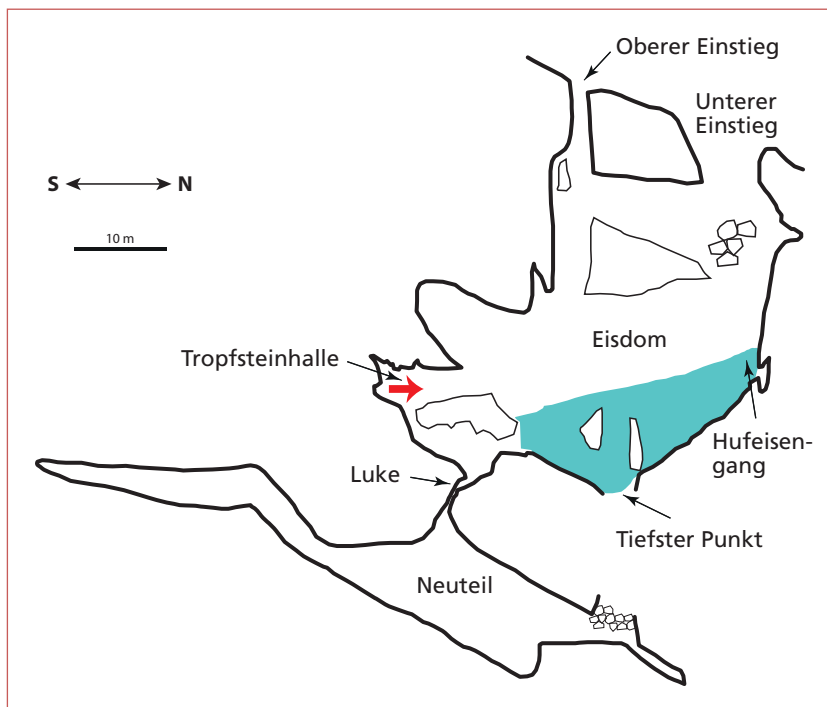


Abb. 1: Längsschnitt der Hundsalm Eis- und Tropfsteinhöhle (nach G. Krejci) mit Lage des perennierenden Eisbereichs (hellblau) und Blickwinkel der automatischen Kamera (in Rot) in der Tropfsteinhalle.

Fig. 1: Longitudinal view of Hundsalm Eis- und Tropfsteinhöhle (according to G. Krejci) showing the perennial ice-bearing part (light blue) and the viewpoint of the automatic camera (in red) in Tropfsteinhalle.

station, die die Lufttemperatur 2 m über Grund maß. Anhand der Schwarzweiß-Infrarot-Serienaufnahmen der Kamera wurde ein Film erstellt, der die Eisbildung und den Eisabbau in diesem Bereich der Höhle dokumentiert (siehe QR-Code am Ende dieses Artikels). Neben der Bildung und dem Vergehen von saisonalen Eisfiguren zeigen die Bilder, wie der Feuchtigkeitsgrad der Höhlenwand variiert: Trocknet diese aus, erscheint die Wand heller. Ersteres hängt ursächlich mit dem Einfließen von kalter Außenluft in die Höhle zusammen, die sich dabei erwärmt, dadurch trockener wird und so zusätzliche Feuchtigkeit aufnehmen kann.

Der Vergleich der Serienbilder mit der Temperaturentwicklung in diesem Höhlenabschnitt sowie außerhalb der Höhle zeigt folgende zeitliche Entwicklung:

- 26.10. bis 27.11.: Der Höhlenabschnitt war eisfrei und wies eine Temperatur von +1,1 °C auf. Ein erster Kälteeinbruch zwischen 27.10. und 31.10. resultierte zwar in Außenlufttemperaturen von etwa –7 °C; dies führte aber nur zu einem schwachen ersten Einfließen von Kaltluft in die Höhle: Im *Eisdome* sank die Temperatur um 0,7 °C ab, in der etwas weiter entfernten *Tropfsteinhalle* nur um 0,1 °C (Abb. 2).
- Ab 28.11. begann eine kältere Witterungsphase, die außerhalb der Höhle Minimalwerte von –13 °C erreichte. Nun setzte das Winterregime der Höhlenluftzirkulation ein: Die kalte Außenluft verdrängte großteils die wärmere Höhlenluft, und ein erstes Austrocknen der Höhle setzte ein. Ab dem 1.12. sank im *Eisdome* die Lufttemperatur unter den Gefrier-

punkt und sechs Tage später auch in der *Tropfsteinhalle*. Am 7.12. zeigte die Kamera, dass die dortige Höhlenwand austrocknete.

- Am 13.12., parallel mit der bislang niedrigsten Temperatur (–0,6 °C) in der *Tropfsteinhalle*, setzte dort eine erste bescheidene Eisbildung an den Höhlenwänden ein.
- Diese erste längere Kaltphase endete am 15.12., die Temperatur in der *Tropfsteinhalle* kletterte wieder auf Werte knapp über dem Nullpunkt, und das erst kürzlich entstandene erste Eis schmolz langsam wieder ab.
- Das Weihnachtstauwetter zwischen 23.12. und 26.12. bescherte Außenlufttemperaturen von bis zu +8 °C, und auch die Tage bis zum 9.1. brachten eine milde Witterung: Alles Eis, das vor Weihnachten in der *Tropfsteinhalle* gewachsen war, verging bis Anfang Jänner wieder.
- Mit 10.1. setzte erneut eine kalte Witterung ein, die zeitverzögert ab dem 16.1. wieder für negative Temperaturen in der *Tropfsteinhalle* sorgte. Ab 19.1. zeichnete die Kamera schwache Eisbildung auf. Ab 2.2. schmolzen etliche Eisgebilde jedoch wieder, da die Temperatur dort bereits wieder über den Gefrierpunkt anstieg.
- Ab 5.2. begann eine längere Frostperiode, und die Außenlufttemperatur blieb bis zum 28.2. unter dem Nullpunkt. Zeitverzögert kühlte die *Tropfsteinhalle* ab und blieb ab 9.2 für zwei Monate großteils unter dem Nullpunkt.

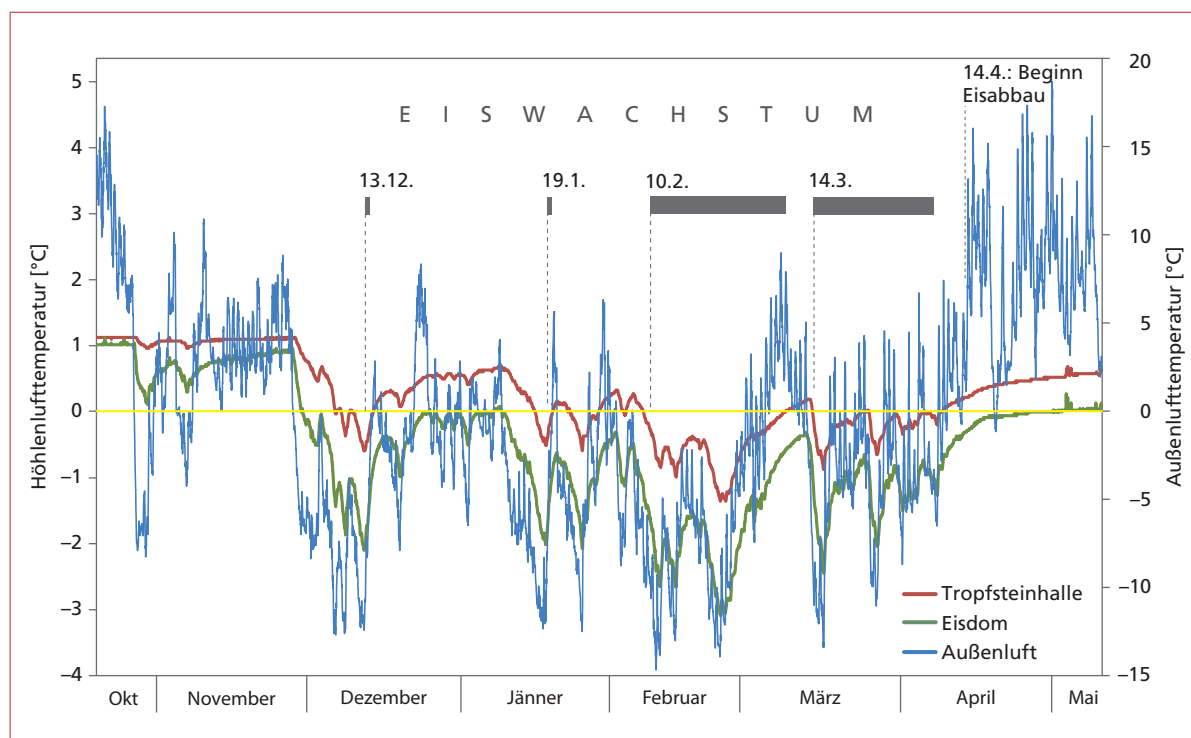


Abb. 2: Temperaturverlauf in der *Tropfsteinhalle* im Vergleich zu dem im angrenzenden *Eisdom* sowie außerhalb der Höhle zwischen Ende Oktober 2012 und Anfang Mai 2013. Der Gefrierpunkt wird durch die gelbe Linie markiert. Phasen, in denen es zur Eiseubildung und zum Wachsen der Eisfiguren kam (Daten der automatischen Kamera), sind durch graue horizontale Balken dargestellt.

Fig. 2: Temperature evolution in *Tropfsteinhalle* in comparison to nearby *Eisdom* as well as outside the cave between late October 2012 and early May 2013. The yellow line marks 0 °C. Periods characterised by ice formation (based on data acquired by the automatic camera) are indicated by grey horizontal bars.

- Mit 10.2. setzte die Haupteisbildung ein; diese führte zum Wachstum von glasklarem Wandeis, Eisstalagmiten und -stalaktiten. Diese Phase währte bis Anfang April, unterbrochen von einer kurze Degenerationsphase (10.3. bis 13.3.), als die Temperatur auch in der Höhle knapp über den Nullpunkt kletterte.
- Ab 14.4. setzte die Haupteisabbauphase ein; die Eisfiguren wurden trübe (Umkristallisation zu Wabeneis) und schmolzen langsam ab.
- Am Ende des Beobachtungszeitraumes (11.5.) existierte noch rund die Hälfte der Eisfiguren; sie waren alle im Verfall begriffen und schmolzen im Laufe des Sommers komplett ab.

DYNAMIK DES SAISONALEN EISES

Die Auswertung der Langzeitbeobachtungen in der *Tropfsteinhalle* im Verein mit Lufttemperatur-Messreihen außerhalb der Höhle zeigt folgende Steuerungsprozesse der Eisbildung auf:

- Die Witterung außerhalb der Höhle ist die primäre Kontrolle. Sobald die Außentemperatur unter -2 °C fällt, wird die Luftschichtung in dieser schachtförmigen Höhle instabil, und die Kaltluft kann die bisherige Höhlenluft verdrängen. Dieser Prozess ist im Detail hochkomplex und wird in der Hundsalm Eis- und Tropfsteinhöhle durch die beiden unterschiedlich hoch gelegenen Tagschächte kontrolliert. Auch wenn der Grad der Abkühlung vom *Eisdom* am Fuß

des *Unteren Einstiegs* bis zum südlichen Höhlenende abnimmt: Das initiale Abkühlungssignal erreicht die dortige *Tropfsteinhalle* innerhalb weniger Stunden.

- Sobald die Temperatur des dortigen Bodenbereichs unter den Gefrierpunkt sinkt, setzt die Bildung von Eisstalagmiten ein. Der Deckenbereich der *Tropfsteinhalle* ist zu diesem Zeitpunkt noch über dem Gefrierpunkt, d.h. es findet keine Eisstalaktitenbildung statt. Eine ähnliche Situation trifft man in kalten Wintern in vielen Höhleneingangsbereichen an, wo sich Eisstalagmiten ohne zugehörige Stalaktiten bilden (Kyrle, 1929).

- Während die Höhleneisbildung innerhalb weniger Stunden nach der Abkühlung und dem Einfließen der Außenluft einsetzt, reagiert die Höhle deutlich verzögert auf Erwärmungen der Außenluft: Warme Luft kann nicht in sackförmige Höhlen eindringen (Eiskellertyp), und die Erwärmung derselben geschieht i.w. langsam durch die Wärmeabstrahlung von den Höhlenwänden.
- Aufgrund der peripheren Lage der *Tropfsteinhalle* bezogen auf den Ort der Kaltluftzufuhr (*Unterer Einstieg*) pendelt das Temperaturregime in ersterer wiederholt um den Gefrierpunkt, und gerade erst gebildetes Eis vergeht wieder. Auch wenn keine parallelen Beobachtungen aus dem *Eisdom* vorliegen, so kann davon ausgegangen werden, dass dort die Eisabtauphasen kürzer waren als in der etwas wärmeren *Tropfsteinhalle*. Anders ausgedrückt: In sehr kalten Wintern ist es vorstellbar, dass auch in der *Tropfsteinhalle* die Temperaturen durchgehend unter dem Gefrierpunkt liegen und entsprechend viel Neueis gebildet wird.
- Die Haupteisbildung im untersuchten Winter fand vom 10.2. bis Anfang April statt. Entscheidend dabei war, dass zu dieser Zeit die Temperatur außerhalb der Höhle immer unter Null lag. Das oft genannte Modell, wonach die Eisbildung in Eishöhlen während der Schneeschmelze an der Oberfläche stattfindet, trifft nicht auf diesen konkreten Fall der *Tropfsteinhalle* zu. Die Beobachtungen belegen, dass das Gestein über dieser Kammer ein entsprechend hohes Speichervermögen aufweist und dass Sickerwasser verzögert abgegeben wird und so Eisbildung ermöglicht, sobald negative Lufttemperatu-

ren im diesem Höhlenraum herrschen (zumindest im bodennahen Bereich).

Die Temperatur in der *Tropfsteinhalle*, aber auch im *Eisdom*, sank – wie eine zehnjährige Messreihe zeigt – nie unter $-3,3$ bzw. $-8,5$ °C ab. Das Eis ist deshalb immer glasklar (Klareis im Sinne von Kyrle, 1929). Trübes Eis, von Kyrle (1929) Milcheis genannt, bildet sich nur dann, wenn der Gefrierprozess rasch von statten geht und Luftbläschen eingeschlossen werden, d.h. wenn die Temperatur deutlich tiefer ist. Es bilden sich in der *Tropfsteinhalle*, aber auch im *Eisdom* keine Eisstalagmiten, die eine Wechselfolge von trüben (schmäleren) und glasklaren (etwas weiteren) Segmenten aufweisen. Solche als „thermoindicating stalagmites“ bezeichnete Formen (Racovi & Onac, 2000: 79) finden sich in kalten Wintern in eingangsnahen Höhlenbereichen bzw. in Halbhöhlen und spiegeln die raschen Temperaturschwankungen wider.

Eisverdunstung (Sublimation) spielt keine bedeutende Rolle in der Hundsalm Eis- und Tropfsteinhöhle. Es sinkt zwar die relative Luftfeuchtigkeit der kalten Außenluft beim Einfließen in die Höhle, und die Kamera zeigt, dass in weiterer Folge die feuchten Höhlenwände trocknen; es fehlt jedoch im Gegensatz zu dynamisch bewetterten Eishöhlen der Höhlenwind, um signifikante Beträge von Eis verdunsten zu lassen. Das untersuchte Winterhalbjahr war im Kontext der vergangenen zehn Winter eines mit vergleichsweise viel Neueisbildung in der Hundsalm Eis- und Tropfsteinhöhle. Es gab in der Vergangenheit auch Winter, die nur wenig Eisbildung mit sich brachten. Insofern sind die hier gezeigten Beobachtungen repräsentativ für Winter mit längeren Frostperioden.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Eisneubildung in der *Tropfsteinhalle* wird von der Außentemperatur gesteuert; das Vorhandensein von Tropfwasser ist hier kein limitierender Faktor. Lange Frostperioden führen zu ausgedehnter Eisbildung, während zwischenzeitliche Erwärmungen (z.B. Weihnachtstauwetter) das Eis wieder abschmelzen lassen. Die Haupteisbildungsphase fand im Beobachtungszeitraum zwischen Spätwinter und Frühjahr statt, allerdings vor Einsetzen der Schneeschmelze an der Oberfläche. Das bedeutet, dass trotz der geringen Gesteinsüberlagerung von rund 37 m der dortige Wettersteinkalk dank seiner Verkarstung ein hohes Speichervermögen aufweist. Das Wasser, das anschließend im Zuge der Frühjahrsschneeschmelze in die Höhle eindrang, führte in der *Tropfsteinhalle* zu keiner Eisneubildung, da die Lufttemperatur dort bereits schon wie-

der knapp über dem Gefrierpunkt lag und der Eiszerfall bereits in Gang war.

Umgelegt auf andere Eishöhlen(teile) bedeuten diese Beobachtungen, dass dort, wo die mittlere Höhlenlufttemperatur nur knapp unter dem Nullpunkt liegt, bereits eine geringfügige Erwärmung im Zuge des Klimawandels zum Kippen des Systems führen kann: Das Schneeschmelzwasser bildet dann kein Eis mehr, das den Sommer überdauert, denn die Höhle ist zu warm. Dies ist mittlerweile auch in jenen Teilen der Hundsalm Eis- und Tropfsteinhöhle der Fall, die perennierendes Eis aufweisen. Genau umgekehrt waren die Verhältnisse in den 1920er Jahren: Als die Höhle 1921 erstmals befahren und anschließend vermessen wurde, wies sie deutlich mehr Eis auf als aktuell (Spötl, 2013). Die 1920er Jahre waren klimatisch gesehen eine küh-

lere Periode, während der auch die Alpengletscher einen letzten deutlichen Vorstoß aufwiesen (Auer et al., 2014).

Dank an Maximilian Wimmer und Rudolf Pavuza für ihre gründlichen und hilfreichen Anregungen.

LITERATUR

- Auer, I., Foelsche, U., Böhm, R., Chimani, B., Haimberger, L., Kerschner, H., Koinig, K.A., Nicolussi, K. & Spötl, C. (2014): Vergangene Klimaänderung in Österreich. – In: Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC), 227-300, Wien (Verlag Österr. Akad. Wiss.).
- Fugger, E. (1888): Beobachtungen in den Eishöhlen des Untersberg bei Salzburg. – Mitt. Ges. Salzburger Landeskunde, 28: 66-164.
- Hauser, E. & Oedl, R. (1926): Eisbildungen und meteorologische Beobachtungen. – In: Angermayer, E., Asal, A., Czörnig-Czernhausen, W., Hauser, E., Lehmann, O., Oedl, R., Pia, J. & Wettstein-Westersheim, O. (Hrsg.): Die Eisriesenwelt im Tennengebirge (Salzburg). – Speläol. Monographien, 6, 77-105, Wien (Speläol. Inst.).
- Jäger, V. (1919): Dr. Eberhard Fugger. Sein Werk. – Mitt. Ges. Salzburger Landeskunde, 59: 72-80.
- Klappacher, W. & Mais, K. (1999): Ice cave studies in Salzburg and the work of Eberhard Fugger 1842-1919. – Slovensky Kras (Acta Carsologica Slovaca), 37: 115-130.
- Kyrle, G. (1929): Beiträge zur Kenntnis der Eiskeulen in Höhlen. – Mitt. Geogr. Ges. Wien, 72: 13-23.
- Meyer, C. (2018): History of ice caves research. – In: Ice Caves (Perşoiu, A. & Lauritzen, S.-E., Hrsg.), Amsterdam, Elsevier: 5-20.
- Meyer, C., Pflitsch, A., Ringeis, J. & Maggi, V. (2017): Reports on ice caves in literature from the Twelfth to the middle of the Twentieth Century. – J. Cave Karst Studies, 79: 141-145.
- Obleitner, F. & Spötl, C. (2011): The mass and energy balance of ice within the Eisriesenwelt cave, Austria. – The Cryosphere, 5: 245-257.
- Racoviță, G. & Onac, B.P. (2000): Scărișoara glacier cave. Monographic study. – Cluj-Napoca (Editura Carpatica).
- Saar, R. (1955): Die Dachstein-Rieseneishöhle nächst Obertraun und ihre Funktion als dynamische Wetterhöhle. – Jb. Oberösterreich. Musealver., 100: 263-319.
- Spötl, C. (2013): Die Entdeckungsgeschichte und der ursprüngliche Zustand der Hundsalm Eis- und Tropfsteinhöhle. – Höhlenkundl. Mitt. Landesver. Höhlenkunde Tirol, Jahrgang 51, Folge 65: 22-33.
- Spötl, C. & Pavuza, R. (2016): Eishöhlen und Höhleneis. – in: Höhlen und Karst in Österreich (Hrsg. Spötl, C., Plan, L. & Christian, E.), Linz, Oberösterreichisches Landesmuseum: 139-154.
- Spötl, C., Reimer, P.J. & Luetscher, M. (2014): Long-term mass balance of perennial firn and ice in an Alpine cave (Austria): Constraints from radiocarbon-dated wood fragments. – The Holocene, 24: 165-175.

ZUSÄTZLICHE ELEKTRONISCHE DATEN



Unter nebenstehenden QR-Code oder unter http://hoehle.org/?!=ed/2018_HE ist zusätzliches Material zu diesem Beitrag verfügbar: Eisdynamik in der *Kleinen Tropfsteinhöhle* der Hundsalm Eis- und Tropfsteinhöhle (Tirol) – Zeitrafferfilm Ende Oktober 2012 bis Anfang Mai 2013.