

Die Eisentwicklung in der Rossalm-Eishöhle (Südtirol)

ZUSAMMENFASSUNG

Es wird die Eisentwicklung in der Rossalm-Eishöhle, welche sich im Osten Südtirols, im Gemeindegebiet von Prags, auf einer Seehöhe von 2300 m befindet, dokumentiert. Diese Höhle vom Eiskeller-Typ weist mit Ausnahme des obersten Abschnittes eine saisonale Bewetterung auf, die die Erhaltung von Schnee, Firn und Eis in ihrem Inneren ermöglicht. Der Eisaufbau erfolgt vorwiegend durch winterlichen Schnee, der durch den steilen Eingangsschacht in die Höhle gelangt. Sommerliche Regenwässer spielen beim Eisabbau eine bedeutende Rolle. Seit den 1990er-Jahren ist das Eis in der Höhle deutlich zurückgegangen, besonders stark war der Eisschwund im Jahr 2014. Zwei in der Höhle gefundene und mittels Radiokarbonmethode datierte Hölzer deuten darauf hin, dass die tiefsten Höhleneissschichten lokal höchstens etwa 1200 Jahre alt sind und dass der Eisstand in der Höhle im Frühmittelalter geringer gewesen sein dürfte als heute.

EINLEITUNG

Eishöhlen, also Höhlen mit ganzjährigem Eisvorkommen, stellen nicht nur eine touristische Attraktion dar (z.B. die Eisriesenwelt bei Werfen in Salzburg oder die Dachstein-Rieseneishöhle bei Obertraun in Oberösterreich), sie sind auch wissenschaftlich von Bedeutung. Zum einen reagieren diese unterirdischen Eiskörper – ähnlich wie Gebirgsgletscher – sensibel auf Klimaänderungen. Zum anderen lassen sich durch die Datierung von im Höhleneis eingeschlossenem organischem Material (z.B. Holz) Rückschlüsse auf das Alter der Eisbildungen und, in günstigen Fällen, auch auf frühere Klimabedingungen ziehen. Zu diesen Themen sind in den letzten Jahren etliche Arbeiten im Alpenraum erschienen (z.B. Mais & Pavuza, 2000; Luetscher et al., 2005, 2007; Stoffel et al., 2009; Herrmann et al., 2010; Kern et al., 2011; Obleitner & Spötl, 2011; Spötl et al., 2014; Spötl & Pavuza, 2016); der Forschungsbedarf dazu ist aber nach wie vor groß und der vielerorts,

ABSTRACT

Ice dynamics in Rossalm-Eishöhle (South Tyrol, Italy)

This article describes Rossalm-Eishöhle, a small ice-bearing cave located at 2300 m a.s.l. in Prags in the eastern part of South Tyrol. Due to its descending geometry, the cave acts as a cold trap (except for the uppermost part) which permits snow, firn and ice to accumulate in its interior. Snow blown into the entrance shaft is the main source of ice formed in this cave. Rainwater influx controls snow, firn and lately also ice decay during summer. The ice body has declined since the 1990s and a particularly strong reduction occurred in 2014. Two wood fragments found beneath the ice were radiocarbon-dated and suggest that the basal ice is less than about 1200 years old and that the ice volume was smaller during the Early Middle Ages as compared to today.

Andreas Treyer

Eggerweg 9
I-39030 Olang/Geiselsberg
andreas.treyer@dnet.it

Christoph Spötl

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

Eingereicht am: 12.3.2016

Angenommen am: 8.6.2016

auch weltweit zu beobachtende Rückgang von Höhleneis (z.B. Kern & Perşoui, 2013) mahnt zur Eile. Südtirol weist einige Höhlen auf, die firn- bzw. eisführend, aber kaum untersucht sind (Abb. 1). Weitum bekannt sind die Eislöcher bei Eppan; sie sind keine befahrbaren Höhlen, sondern enge, bewetterte Öffnungen am Fuß einer großen Bergsturzblockhalde (Pfaff, 1933; Wakonigg, 1996; Burga et al., 2005). Daneben gibt es mehrere Tagschächte mit Firn- und Eisfüllung auf der Fanes-Hochfläche (Mietto, 1995). Ein Objekt mit einem großen Eisvorkommen ist El Cenote, ebenfalls in den Ampezzaner Dolomiten gelegen, dessen Eingang sich auf 2929 m Seehöhe zwischen Piz dles Cunturines und Piz d' Lavarella befindet (Dal Molin et al., 2011) und in dem derzeit Untersuchungen laufen (Sauro et al., 2016). Im folgenden Beitrag wird die bisher kaum bekannte Rossalm-Eishöhle vorgestellt und ihr Höhlenklima sowie ihre Eisdynamik dokumentiert.

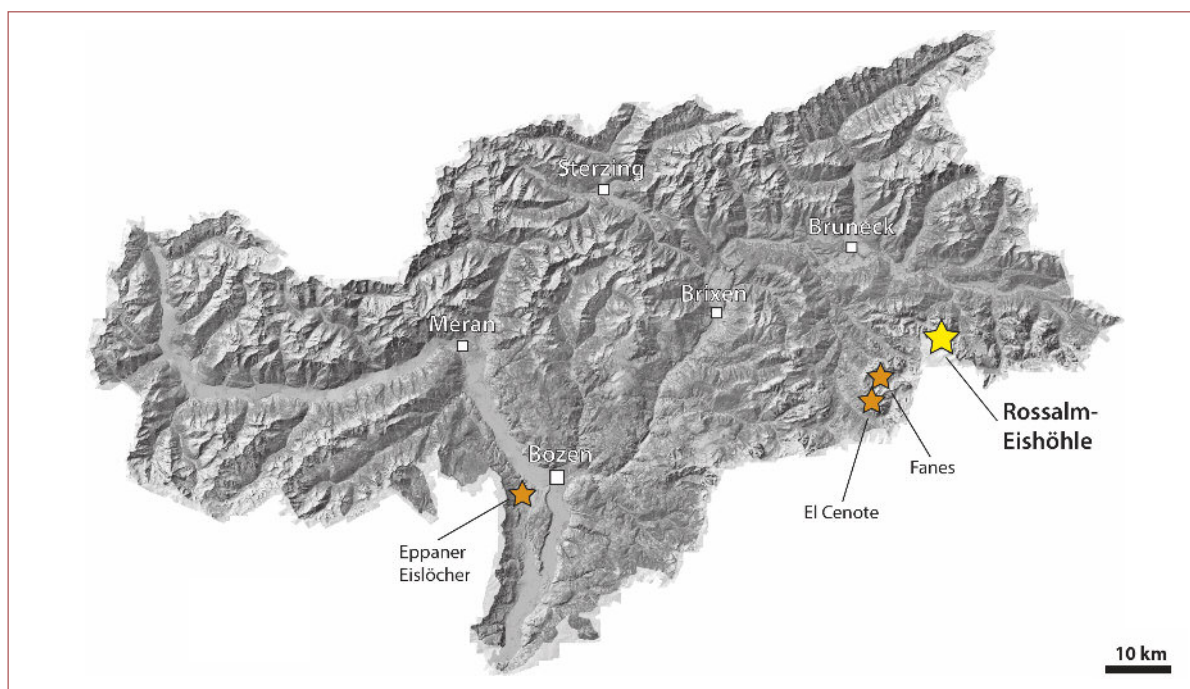


Abb. 1: Karte von Südtirol (Quelle: Geobrowser) mit Lage der Rossalm-Eishöhle sowie weiterer firn- bzw. eisführender Höhlen.
Fig. 1: Map of South Tyrol (source: Geobrowser) showing the location of Rossalm-Eishöhle and other caves containing firn and ice.

LAGE

Die Rossalm-Eishöhle befindet sich in der Gemeinde Prags im Osten Südtirols, im weitläufigen Almgebiet der Rossalm. Der Höhleneingang liegt auf 2300 m Seehöhe, etwa 700 m nordwestlich der Rossalmhütte (2164 m), nahe der felsigen Erhebung Kote 2310 m. Zu erreichen ist die Höhle entweder vom Gasthof Brücke

(1491 m) im Osten der Rossalm oder vom Prager Wildsee (1494 m) im Westen (beide Gemeinde Prags). Die Höhle hat eine Länge von 132 m, ihr Höhenunterschied beträgt 29 m. Sie ist im Dachsteinkalk der Obertrias ausgebildet, der im südlichen Teil der Rossalm auftritt und stark verkarstet ist (Pia, 1937; Bosellini, 1998).

HÖHLENBESCHREIBUNG

Der Haupteingang der Höhle (*Eingang I*) geht direkt in einen Schrägschacht über (Abb. 2), der entlang einer Störung mit einem Gefälle von ca. 50° in die Tiefe führt. Der Schrägschacht (Seil empfehlenswert) weist einen Durchmesser von etwa 3 m auf. Etwa 7 m unterhalb des Haupteingangs leitet ein steiler Tunnel zurück zur Oberfläche (*Eingang II*), knapp darunter führt ein 8 m langer Kriechgang zum *Eingang III*. Weiter im Schrägschacht absteigend trifft man in ca. 14 m Tiefe auf den Firn- und Eiskörper.

Dieser geht 20 m unterhalb von *Eingang I* in Form eines Kegels in die *Eishalle* über. Der bis zu 5 m hohen Halle ist im Süden eine kleine Kammer angeschlossen, im Norden zweigt ein verstürzt endender, rund 10 m langer Gang ab. Ebenfalls im Norden der Halle gelangt man durch einen abfallenden Schluf zwischen Fels und Eis in den *Schneekeller*, in dem eine Schneewand die südliche Raumbegrenzung ausmacht (Abb. 3). Man

befindet sich hier eigentlich auf der Rückseite des Firn- und Eiskegels der *Eishalle*; das heißt, sollte das gesamte Eis in der Höhle abschmelzen, würden die *Eishalle* und der *Schneekeller* einen Raum bilden.

Auf den *Schneekeller*, in dem das perennierende Eis endet, folgt ein kletterbarer, gut 4 m hoher Felsaufschwung, worauf der Höhlengang kurz horizontal verläuft und dann aber wieder steil nach Nordosten abfällt. Man erreicht so einen 5 m tiefen Abbruch (Seil notwendig), der in die *Souvenirhalle* überleitet. Auch diese Halle ist annähernd 5 m hoch, der Boden ist von Schutt bedeckt. Im Nordwesten zweigt ein kurzer und enger Gangansatz ab, im Süden kann man dagegen in einen tiefer gelegenen Raum absteigen (tiefster Punkt der Höhle), von dem aus zwei niedrige und schuttbedeckte Gänge ausgehen, die aber bald verstürzt enden. Die letztgenannten Höhlenteile unterlagern teilweise die weiter tagwärts liegenden (Abb. 4).

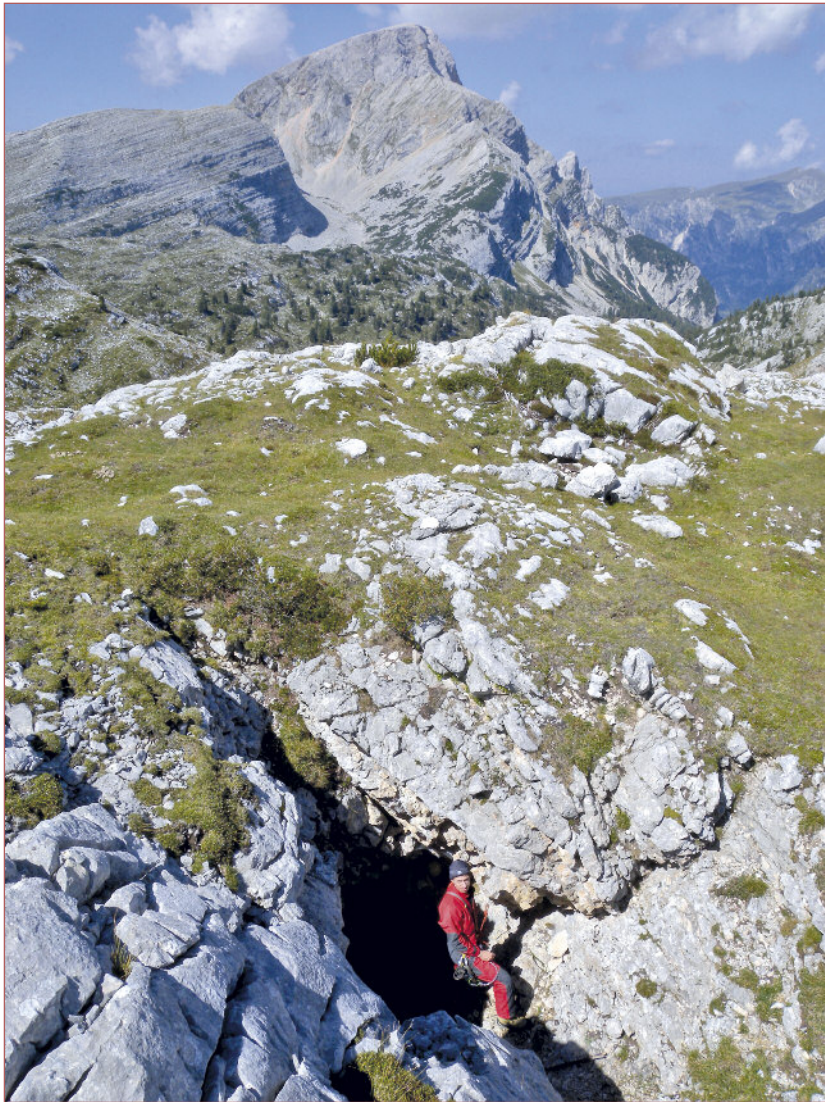


Abb. 2: Der Haupteingang der Rossalm-Eishöhle. Im Hintergrund der Seekofel (2810 m).

Fig. 2: Main entrance to Rossalm-Eishöhle. Seekofel (2810 m) in the background.

Foto: Christoph Spötl

HÖHLENKLIMA

Im Sommer 2014 wurden zwei Datenlogger der Firma Driesen+Kern, die Lufttemperatur, -feuchte und -druck aufzeichnen, installiert und etwas mehr als ein Jahr lang in der Höhle belassen. Ein Logger wurde rund 6 m unterhalb von *Eingang I* im Schrägschacht aufgehängt, der andere in der *Eishalle* gut 2,5 m über dessen Boden. Verglichen wurden die Daten mit denen der nur 750 m Luftlinie vom Eingang der Höhle entfernten automatischen Wetterstation der Autonomen Provinz Bozen auf der Rossalm (2340 m), wo Lufttemperatur, Niederschlags- und Schneehöhe gemessen werden (Abb. 5). Das Messgerät – wenige Meter unter dem Eingang – zeigt exakt den gleichen hochfrequenten Temperaturverlauf wie die Wetterstation, wenn auch das Signal bereits deutlich gedämpft ist. Dies war zu erwarten, da der obere

Höhlenabschnitt aufgrund der zusätzlichen Eingänge, die etwa auf der Höhe des Messgerätes einmünden, gut bewettert ist. Dass dies auch im Winter 2014/15 der Fall war, legt nahe, dass zumindest einer der beiden weiteren Eingänge (vermutlich *Eingang II*) nie zugeschneit war.

In der *Eishalle* zeigt sich ein deutlich anderes Regime. Dieser tiefere Höhlenteil fungiert im Sommer als „Kältefalle“ und ist vom Wettergeschehen außerhalb der Höhle abgekoppelt. Die stabilen Sommertemperaturen bewegen sich hier zwischen etwa +0,6 und +0,8 °C, d.h. es war zumindest im Herbst 2014 und im Sommer 2015 warm genug, dass Eis und Schnee schmelzen konnten. Allerdings ist zu beachten, dass der Logger gut 2,5 m über dem Boden installiert war, und dass es nahe dem Eis, wo dieses zusammen mit

Schmelzwasser vorkommt, annähernd null Grad haben dürfte. Zwischen 21.10.2014 und 7.4.2015 sank die Außenlufttemperatur unter den Gefrierpunkt, die Luftschichtung in der Höhle wurde instabil und für etwas weniger als ein halbes Jahr wurden die tieferen Höhlenteile bewettert. Das äußert sich in

einem, wenn auch leicht verzögerten, parallelen Verlauf der Höhlenluft- mit der Außenlufttemperatur (Abb. 5). Die niedrigste Temperatur wurde im Beobachtungszeitraum am 8.2.2015 mit $-6,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ gemessen. Damals herrschte außerhalb der Höhle eine Minimaltemperatur von $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.



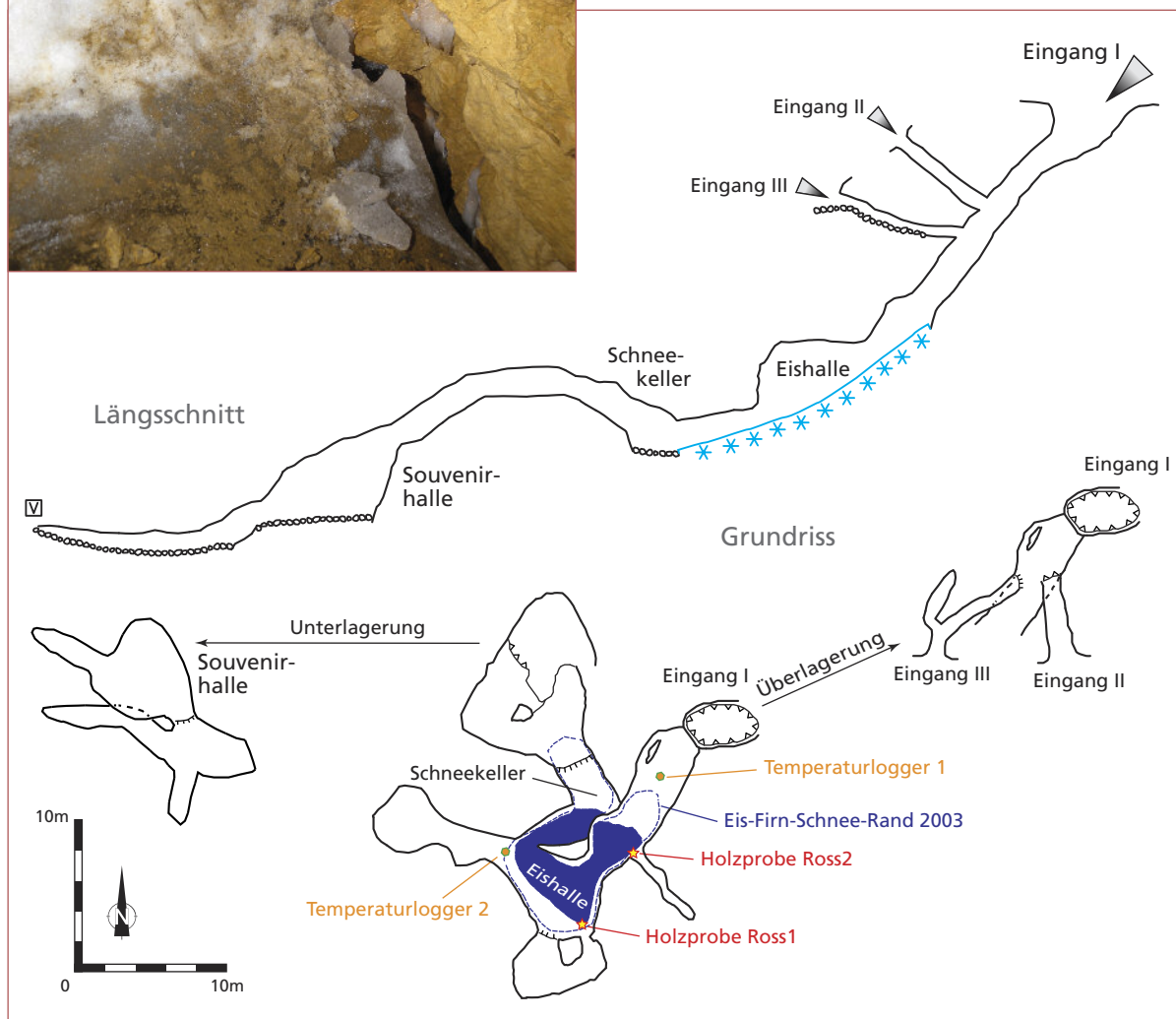
Abb. 3: Im Schneekeller der Rossalm-Eishöhle. Aufnahme 1.9.2015.

Fig. 3: In Schneekeller of Rossalm-Eishöhle. Photo taken 1 Sept 2015.

Foto: Christoph Spötl

Abb. 4: Längsschnitt und Grundriss der Rossalm-Eishöhle. Der Schnee- und Eisrand im Jahr 2003, die Lage der beiden Temperaturmessgeräte und die der datierten Holzreste sind eingetragen.

Fig. 4: Longitudinal section and plan view of Rossalm-Eishöhle showing the extent of snow and ice in 2003 and the location of the temperature logger and the analysed wood fragments.



Insgesamt zeigen die Daten, dass der Haupteisbereich der Höhle im Sommer und im Herbst erwartungsgemäß Temperaturen nahe dem Gefrierpunkt und im Winter je nach Witterung geringe Minustemperaturen aufweist. Aufgrund der sackartigen Anlage der Höhle ohne unteren Ausgang ist diese wie alle Höhlen des Eiskellertyps anomal kalt – im Vergleich dazu betrug

die Temperatur an der Rossalm-Messstation für die Jahre 2013 bis 2015 im Mittel $+1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Abb. 5). Die relative Luftfeuchte in der *Eishalle* beträgt annähernd 100 % (Sättigung des Sensors). Nur zwischen Anfang Dezember und Mitte April sank der Wert bis auf rund minimal 70 % ab, gekoppelt an die Kaltluft-einbrüche.

JAHRESZEITLICHE EISDYNAMIK

Der Eisaufbau in der Rossalm-Eishöhle erfolgt vorwiegend durch Schnee, der im Winter durch den Haupteingang in die Höhle geweht wird oder hineinrutscht. In geringerem Maße kann Schnee auch durch den *Eingang II* eindringen, jedoch ist diese Öffnung, ebenso wie *Eingang III*, im Winter vermutlich meist zugeschnitten. Im Schrägschacht bildet sich während der Wintermonate üblicherweise eine durchgehende Schneedecke bis hinunter in die *Eishalle*, wobei der gesamte Firn- und Eiskörper überdeckt wird. Direkt in den *Schneekeller* kann dagegen aufgrund des aktuellen Eisstandes kaum Schnee eindringen. Ein Teil der Schneedecke überdauert den Sommer, da die Höhle

als „Kaltluftfalle“ fungiert (s.o.). So kann sich der (bereits komprimierte) Schnee zunächst in Firn umwandeln. Rekristallisationsprozesse führen in weiterer Folge zur Bildung von Eis. Neben Schnee trägt auch Schmelzwassereis zum Eisaufbau bei, jedoch offenbar nur untergeordnet. Wassereis bildet sich, wenn oberhalb der Höhle die Schneeschmelze einsetzt und kalte Sickerwässer in die unterkühlte Höhle eintreten und gefrieren. Dadurch entstehen Gebilde wie Eisstalagmiten, -stalaktiten, -säulen und Wandvereisungen, welche sich in Größe, Form und Auftreten von Jahr zu Jahr unterscheiden. Normalerweise gut ausgebildet sind dabei die Eissäule im unteren Teil des Schräg-

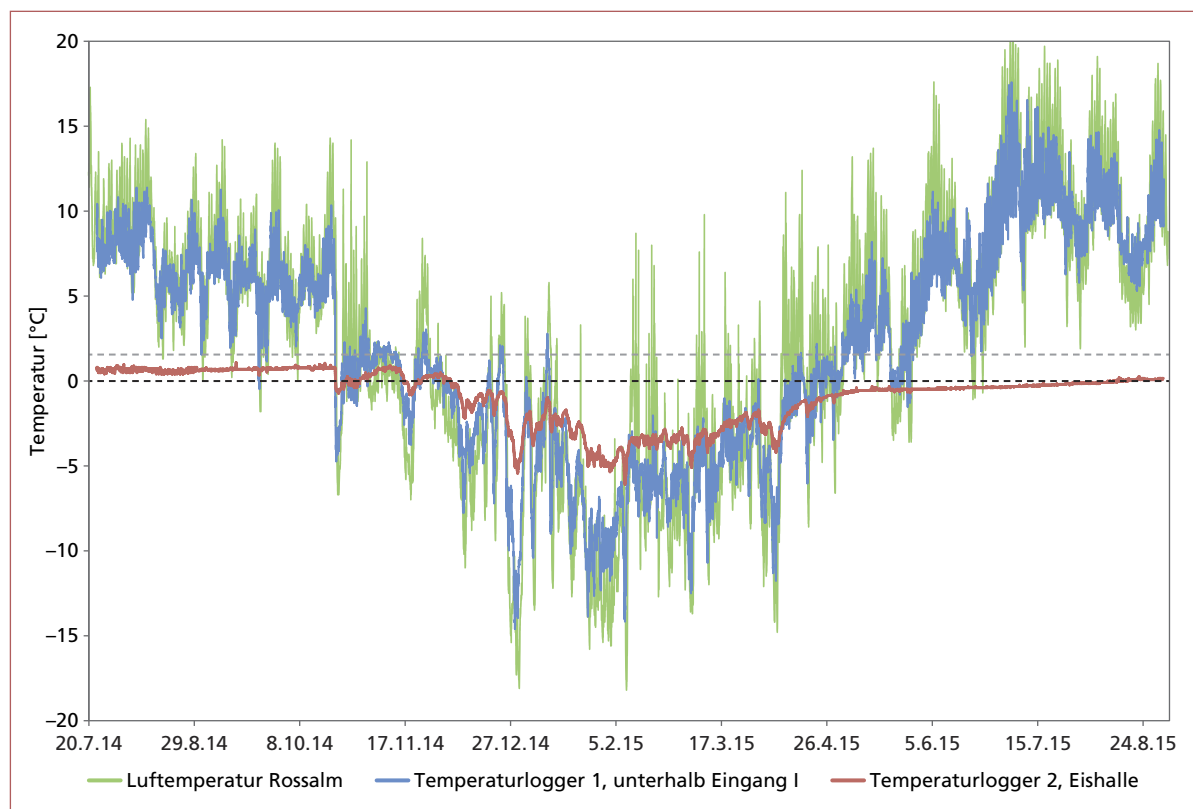


Abb. 5: Verlauf der Lufttemperatur in zwei Abschnitten der Rossalm-Eishöhle im Vergleich zum Temperaturverlauf gemessen an der meteorologischen Station Rossalm. Die schwarz und grau strichlierten Linien zeigen die Nullgradgrenze bzw. die mittlere Temperatur auf dieser Seehöhe.

Fig. 5: Air temperature in two parts of Rossalm-Eishöhle compared to the meteorological station Rossalm. The black and grey dashed lines mark the zero degree line and the mean outside temperature at this elevation, respectively.



Abb. 6: Der beprobte Baumstamm (Ross 1) in der Eishalle.

Fig. 6: The sampled log (Ross 1) in Eishalle.

Foto: Andreas Treyer

schachtes sowie das Wandeis am Felsaufschwung im *Schneekeller*. In der *Eishalle* konnten im Gegensatz dazu bislang nur kleine Wassereisbildungen beobachtet werden.

Den größten Einfluss auf den Eisabbau haben nach bisherigem Kenntnisstand die vergleichsweise warmen sommerlichen Regenwässer, die beim Eintritt in die Höhle Schnee und Eis zum Schmelzen bringen, sobald sie damit in Kontakt treten. Durch die Wässer wird zunächst die winterliche Schneedecke in der Höhle abgebaut; im Laufe des Sommers kann es dabei

auch zum Verlust von älteren Firn- und Eisschichten kommen. Des Weiteren schmilzt Eis von den relativ wärmeren Felswänden zurück, wodurch es zum Öffnen von Randklüften kommt. Anfänglich entstehen diese im Schrägschacht, später im Sommerhalbjahr, je nach Witterung, auch in der *Eishalle*. Durch Tropfwässer bilden sich zudem oft tiefe, bis zur Eisbasis reichende Löcher, besonders im Schrägschacht und im südlichen Teil der *Eishalle*. Üblicherweise verschwinden auch die Wassereisbildungen im Laufe des Sommers gänzlich.

MITTELFRISTIGE EISDYNAMIK

Obwohl die Rossalm-Eishöhle leicht zugänglich und den Almbewohnern offenbar schon lange Zeit bekannt ist, liegen nur wenige Hinweise über die Entwicklung des Höhleneises vor. Fotos des Eisteils sind erst seit dem Jahr 2009 verfügbar. Im Sommer 2014 wurde damit begonnen, die Veränderungen des Eisstandes zu messen; erste Ergebnisse werden hier präsentiert. Nach Auskunft von Herbert Krautgasser, dem Wirt der Rossalmhütte, diente die Höhle bzw. das Höhleneis den Almbewohnern früher zur Kühlung von Fleisch. Diese Nutzung erfuhr die Höhle anscheinend bis in die zweite Hälfte des vorigen Jahrhunderts. Einzelne Knochenstücke mit deutlichen Schnittspuren, die in der *Eishalle* gefunden wurden, deuten auf diese Praxis hin. Konkretere Berichte über das Höhleneis existieren seit Anfang der 1990er-Jahre. Damals reichte der Firn- und Eiskegel, ebenfalls nach Angaben von Herbert Krautgasser, in der *Eishalle* bis an die südliche und die west-

liche Wand. Auch war die Eissäule im Schrägschacht stark ausgebildet. Die hinteren Höhlenteile waren nicht zugänglich, da der Durchgang zwischen *Eishalle* und *Schneekeller* durch Firn verschlossen war. Dieser Durchgang wurde dann im Jahre 1994 oder 1995 durch Herbert Krautgasser aufgegraben. Im *Schneekeller* dahinter wurde ein Eisboden angetroffen, der den ganzen Raum ausfüllte.

Weitere Hinweise auf die Eisverhältnisse gibt der unveröffentlichte Höhlenplan des Club Speleologico Proteo (Vicenza). Der Plan, der am 19.7.2003 aufgenommen wurde, weist zwar in den hinteren Höhlenteilen bezüglich der Gangrichtungen erhebliche Fehler auf, die eingezeichnete Schnee- und Eisbedeckung dürfte aber der Realität zur angegebenen Zeit entsprechen (Abb. 4). Demnach befand sich damals der Schnee- und Eisrand im Schrägschacht höher als heute, wobei aber unklar bleibt, ob hier wirklich Eis oder

nur winterlicher Schnee vorhanden war. Des Weiteren zeigt der Plan, dass der Eiskegel in der *Eishalle* im Jahr 2003 nicht mehr bis zur südlichen und zur westlichen Wand reichte, sondern sich schon etwas davon entfernt hatte. Im *Schneekeller* war 2003 noch ein durchgehender Eisboden vorhanden, ebenso sind der darauffolgende Felsaufschwung und das kurze horizontale Gangstück vereist eingezeichnet.

Ab dem Jahr 2009 liegen eigene Beobachtungen über das Höhleneis vor. Im Oktober 2009 wurde der Eiskörper (mit Ausnahme des *Schneekellers*) aper angetroffen. Im Schrägschacht waren schmale Randklüfte ausgebildet, welche aber nicht bis zum Schachtgrund reichten. In der *Eishalle* zeigte sich der Eiskegel, im Vergleich zur Situation von 2003, deutlich von den Felswänden entfernt, auch war im *Schneekeller* kein durchgehender Eisboden mehr vorhanden. Eisfrei war zudem der Felsaufschwung in diesem Raum, was jedoch im Oktober meistens der Fall ist. Ende Juni 2012 und Anfang August 2013 wurde die Höhle ebenfalls besucht. Beide Male wurde ein ähnlicher Zustand angetroffen: Der Eiskörper war großteils mit winterlichem Schnee bedeckt, wenngleich auch 2013 mit geringerer Mächtigkeit. Daneben ließ sich im Schrägschacht und am Felsaufschwung im *Schneekeller* deutliches Wandeis feststellen. Ganz anders zeigte sich das Höhleneis dann im Juli 2014. Schon zu diesem frühen Zeitpunkt fanden sich keine Wassereisbildungen mehr, und der Eiskörper, wieder mit Ausnahme des *Schneekellers*, war komplett ausgeapert. Außerdem war das Eis durch Tropfwasser stark in Mitleidenschaft gezogen. Diese Situation verschlimmerte sich bis zum Herbst, sodass im Oktober 2014 die Verbindung zwischen dem Eis im Schrägschacht und jenem in der *Eishalle* abbrach. Darüber hinaus bildeten sich in den genannten Höhlen-

teilen große Randklüfte. Der Schluf zwischen *Eishalle* und *Schneekeller* erweiterte sich ebenfalls deutlich. Die Eisoberfläche sank im Zeitraum von September bis Oktober im Schrägschacht um 19 cm ein, in der *Eishalle* durchschnittlich um 9 cm. Die Ursache für diesen starken Eisschwund dürfte im vorangegangenen Winter 2013/14 zu suchen sein, der außergewöhnlich schneereich war. Auf der Rossalm wurde damals eine Schneehöhe von fast 250 cm registriert. Dabei ist es denkbar, dass nicht nur die *Eingänge II* und *III* der Eishöhle zugeschneit wurden, sondern auch der Haupteingang. Durch den vollständigen Verschluss dürfte sich die Höhle im Winter nicht genügend abgekühlt oder sogar erwärmt haben. Ein regenreicher Sommer, wie dies 2014 der Fall war, führte dann in weiterer Folge zu einem raschen Abbau des Höhleneises.

Der Winter 2014/15 brachte bis Anfang April einen Neuschneezuwachs von rund 80 cm im (unteren) Schrägschacht und von 43–62 cm in der *Eishalle*. Beim Messpunkt im *Schneekeller* wurde dagegen kein Zuwachs, sondern sogar ein geringfügiges Einsinken des Firms festgestellt. Im Laufe des Jahres 2015 baute sich die gesamte Schneedecke wieder stark ab, sodass im Spätherbst an mehreren Stellen Eis zum Vorschein kam. Im Schrägschacht bildeten sich zudem Randklüfte und Tropfwasserlöcher.

Hinsichtlich der Eismächtigkeit kann festgehalten werden, dass diese am Ostrand der *Eishalle* noch mindestens 3,5 m beträgt (gemessen 2014 in einer Randklüfte). Nach Fotovergleichen war hier das Eis im Jahr 2009 noch etwa 0,5 m mächtiger. Die Dicke des Bodeneises im *Schneekeller* lässt sich nicht angeben, doch ist die Oberfläche hier seit Mitte der 1990er-Jahre um mindestens 1 m eingesunken (pers. Mitt. Herbert Krautgasser).

LANGFRISTIGE EISDYNAMIK

Änderungen im Eishaushalt von Höhlen auf Zeitskalen von Jahrhunderten bis Jahrtausenden entziehen sich historischen Aufzeichnungen und sind nur ansatzweise über die Altersbestimmung von Holzresten im Eis möglich. Durch den starken Eisschwund im Sommer 2014 konnten zwei Holzstämmen gefunden werden, denen im darauffolgenden Jahr Proben (an der Außenseite) entnommen wurden. Ein Stamm (Ross 1) kam im Süden der *Eishalle* unter dem Rand des Eiskegels zum Vorschein (Abb. 6), der andere (Ross 2) wurde in der östlichen Randklüfte im Schrägschacht entdeckt. Beide Stämme, deren Holzart noch nicht bestimmt wurde, sind 10–13 cm dick, besitzen Astansätze und liegen dem Schuttboden auf. Zum größten Teil waren sie noch von Eis überlagert. Da an den Hölzern

keine Bearbeitungsspuren festgestellt wurden, kann davon ausgegangen werden, dass sie auf natürliche Weise in die Höhle gelangt sind.

Die Datierung ergab für Ross 1 ein Radiokarbonalter von 1182 ± 23 BP, was einem kalibrierten Alter von 777–885 n. Chr. entspricht (1-sigma Unsicherheitsbereich). Die zweite Probe, Ross 2, ergab ein geringfügig höheres Alter von 1248 ± 21 BP; das kalibrierte Alter beträgt 694–773 n. Chr. Beide Bäume sind demnach in der ersten Hälfte des Frühmittelalters gewachsen und dann vermutlich bald in die Höhle gefallen, denn sie weisen (mit Ausnahme der Enden, s.u.) keine nennenswerten Verwitterungsspuren auf. Da die Hölzer an der Basis des Eiskörpers lagen, sprechen ihre Radiokarbonaten dafür, dass das dortige Eis höchstens

etwa 1200 Jahre alt ist. Allerdings könnte es in der Rossalm-Eishöhle bereichsweise noch älteres Eis geben, denn vom tiefsten Punkt des Eiskörpers im *Schneekeller* existieren bislang keine Holzproben. Zudem kann nicht ausgeschlossen werden, dass der Eiskörper an seiner Basis lokal schmilzt und so sehr altes Eis nicht mehr erhalten ist bzw. alte Holzreste heute in jüngerem Eis eingebettet sind.

Aufgrund der Fundlage der Hölzer können vorsichtige Rückschlüsse auf den damaligen Eisstand in der Höhle gezogen werden. Da, wie erwähnt, der Baumstamm in der *Eishalle* 2015 noch großteils unter Eis lag, muss das Eis bei seiner Ablagerung eine geringere Ausdehnung gehabt haben, d.h. der Firn- und Eiskegel muss damals kleiner gewesen sein als heute. Völlig eisfrei scheint die Höhle damals aber nicht gewesen zu sein, da das Holz ohne einen solchen Kegel, über den es abgerutscht sein dürfte, sonst kaum an seine Position gelangen konnte. Der Baumstamm im Schrägschacht liegt ebenfalls dem Schuttboden auf und zieht von der Randkluft unter das Eis hinein. Bei seiner Entdeckung 2014 und bei der Probenahme 2015 war das Eis hier schon dünn und die Randkluft weit geöffnet, weshalb man davon ausgehen kann, dass der Schrägschacht zum Zeitpunkt der Holzablagerung kaum mehr Eis aufwies

oder sogar eisfrei war. Insgesamt ergibt sich somit das Bild eines geringeren Eisstandes im Frühmittelalter als heute. Dieses Ergebnis stimmt gut mit den Befunden aus eisführenden Höhlen in den Nördlichen Kalkalpen (Zusammenstellung in Spötl & Pavuza, 2016) und den Westalpen überein (Stoffel et al., 2009), für die ebenfalls ein geringeres Eisvolumen zu dieser Zeit belegt ist. Kleine Eisstände (in der Größenordnung von heute) scheinen in der Rossalm-Eishöhle auch nach dem Frühmittelalter noch aufgetreten zu sein, da die ansonsten gut erhaltenen Baumstämme an den Enden angefault sind, sie also nicht immer völlig im Eis eingeschlossen waren. Solche geringen Eisstände dürften während der Mittelalterlichen Warmzeit (ca. 840–1260 n. Chr.) geherrscht haben, wohingegen während der nachfolgenden Kleinen Eiszeit (ca. 1260–1860 n. Chr.) wieder mit mehr Eis zu rechnen ist – im Einklang mit dem generellen Klimaverlauf in den Alpen (z.B. Auer et al., 2014).

Die Altersdaten zeigen zudem an, dass im Frühmittelalter im Eingangsbereich der Höhle Bäume stockten, was heute – vermutlich aufgrund menschlicher Eingriffe in diesem Almgebiet – nicht mehr der Fall ist; die nächstgelegenen Latschen und Zirben stocken auf der Erhebung Kote 2310 m.

DANK

Die Autoren danken dem Hydrographischen Amt der Autonomen Provinz Bozen für die Bereitstellung der Daten der Messstation Rossalm, Herbert Kraut-

gasser für Hinweise zur Höhle und Johannes Mattes, Rudolf Pavuza und Andreas Wolf für hilfreiche 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) – Wien (Österr. Akademie der Wissenschaften): 227–300. Online: http://hw.oeaw.ac.at/Autorenbuch_deutsch.pdf.
- Bosellini, A. (1998): Geologie der Dolomiten. – Bozen (Athesia).
- Burga, C.A., Voser, N. & Grebner, D. (2005): Die Eppaner Eislöcher – eine Kälteinsel im Weingebiet Südtirols. – *Gredleriana*, 5: 9–38.
- Dal Molin, L., Burato, M. & Sauro, F. (2011): El Cenote: L'esplorazione di un abisso di alta quota nelle Dolomiti Ampezzane. – *Speleologia*, 64: 16–24.
- Herrmann, E., Pucher, E. & Nicolussi, K. (2010): Das Schneeloch auf der Hinteralm (Schneealpe, Steiermark): Speläomorphologie, Eisveränderung, Paläozoologie und Dendrochronologie. – *Die Höhle*, 61: 57–72.
- Kern, Z. & Perşoiu, A. (2013): Cave ice – the imminent loss of untapped mid-latitude cryospheric palaeoenvironmental archives. – *Quat. Sci. Rev.*, 67: 1–7.
- Kern, Z., Forizs, I., Pavuza, R., Molnar, M. & Nagy, B. (2011): Isotope hydrological studies of the perennial ice deposit of Saarhalle, Mammuthöhle, Dachstein Mts, Austria. – *The Cryosphere*, 5: 291–298.
- Luetscher, M., Bolius, D., Schwikowski, M., Schotterer, U. & Smart, P.L. (2007): Comparison of techniques for dating of subsurface ice from Monlesi ice cave, Switzerland. – *J. Glaciol.*, 53: 374–384.
- Luetscher, M., Jeannin, P.Y. & Haeberli, W. (2005): Ice caves as an indicator of winter climate evolution: A case study from the Jura Mountains. – *The Holocene*, 15: 982–993.
- Mais, K. & Pavuza, R. (2000): Hinweise zu Höhlenklima und Höhleneis in der Dachstein-Mammuthöhle (Oberösterreich). – *Die Höhle*, 51: 121–125.
- Mietto, P. (1995): Grotte degli Altopiani Ampezzani. – In: Sauro, U. & Meneghel, M. (Hrsg.): *Altopiani Ampezzani, geologia, geomorfologia, speleologia*. – La Grafica Editrice (Verona): 101–142.
- Obleitner, F. & Spötl, C. (2011): The mass and energy balance of ice within the Eisriesenwelt cave, Austria. – *The Cryosphere*, 5: 245–257.

- Pfaff, W. (1933): Die Eislöcher in Überetsch. Ihre Vegetationsverhältnisse und ihre Flora. – Schlern-Schriften, 24: 1–72.
- Pia, J. (1937): Stratigraphie und Tektonik der Prager Dolomiten in Südtirol. – Wien (Selbstverlag).
- Sauro, F., Santagata, T., Spötl, C., Oeggel, K., Dal Molin, L. & De Waele, J. (2016): A multi-year project of laser scanning and monitoring of the high-altitude Cenote ice cave, Dolomites, Italy. – Geophys. Res. Abstracts, 18: EGU2016-13646.
- Spötl, C., Reimer, P.J. & Luetscher, M. (2014): Long-term mass balance of perennial firn and ice in an Alpine cave (Austria): Constraints from radio-carbon-dated wood fragments. – The Holocene, 24: 165–175.
- Spötl, C. & Pavuza, R. (2016): Eishöhlen und Höhleneis. – In: Spötl, C., Plan, L. & Christian, E. (Hrsg.): Höhlen und Karst in Österreich. – Linz (Oberösterreich. Landesmuseum): 139–154.
- Stoffel, M., Luetscher, M., Bollschweiler, M. & Schlatter, F. (2009): Evidence of NAO control on subsurface ice accumulation in a 1200 yr old cave-ice sequence, St. Livres ice cave, Switzerland. – Quat. Res., 72: 16–26.
- Wakonigg, H. (1996): Unterkühlte Schutthalden. – Arbeiten aus dem Inst. für Geographie, Karl-Franzens-Univ. Graz, 33: 209–223.