

Tropfsteine als Zeugnisse und Zeitmesser der Vergangenheit

Christoph Spötl, Susanne Brandstätter, Gina Moseley, Karl-Heinz Offenbecher

Einleitung

Tropfsteine zählen zu den besonderen Attributen von Höhlen. Ihre Formenvielfalt, Größenvariation und Farben wecken das Interesse vieler Besucher und werfen eine Reihe von Fragen nach ihrer Entstehung, der Wachstumsgeschwindigkeit und natürlich nach ihrem Alter auf. Auch die moderne Forschung ist auf die Tropfsteine aufmerksam geworden und fand heraus, dass diese steinernen Gebilde in vielen

Fällen wertvolle Informationen über längst vergangene Zeiten enthalten – Zeiten, als es noch keine schriftlichen Aufzeichnungen gab.

Auch in der *Gassel-Tropfsteinhöhle* wurden eingehende Untersuchungen an den dortigen Tropfsteinen durchgeführt. Dieser Beitrag gibt einen kurzen Einblick in diese Forschungen und einige ihrer Ergebnisse.

Wie bilden sich Tropfsteine?

Niederschlagswasser sickert auf verkarsteten Hochflächen in den Boden, nimmt dort Kohlendioxid auf und wird dadurch leicht sauer (es entsteht Kohlensäure). Auf dem Weg in den Gesteinsuntergrund trifft dieses Wasser auf Kalkstein (bzw. lokal auf Dolomit, wie auch in der *Gassel-Tropfsteinhöhle*) und löst diese Gesteine leicht an. Die Folge ist ein mit Calcium und Hydrogencarbonat angereichertes, mineralisiertes Wasser, das entweder größeren Karstgängen folgend recht rasch an einer Quelle austritt oder einen längeren Weg durch schmale Risse bis in größere Höhlenräume nimmt. Tropft dieses Wasser dort von der Decke oder rinnt es als Wasserfilm über eine Höhlenwand, so scheidet sich das gelöste Calciumkarbonat wieder aus und Tropfsteine bzw. Höhlensinter wachsen. Der Grund für diese chemische Umkehrreaktion wird manchmal missverstanden: Es ist nicht etwa die Verdunstung des Wassers, die die Ausfällung des Calciumkarbo-

nats auslöst; diese spielt in Höhlen so gut wie keine Rolle. Die Mineralausfällung ist vielmehr eine Folge des Entweichens von Kohlendioxid aus dem Tropfwasser, denn die Höhlenluft weist einen geringeren Kohlendioxidgehalt auf als (humusreicher) Boden, in dem das Kohlendioxid ja ursprünglich vom Wasser aufgenommen wurde. Dieser reduzierte Kohlendioxidgehalt in der Höhlenluft ist wiederum eine Konsequenz der – von ganz wenigen Ausnahmen abgesehen – guten Durchlüftung von Karsthöhlräumen: Diese stehen im Austausch mit der Luft der Atmosphäre außerhalb der Höhle. Aus chemisch-physikalischer Sicht passiert somit in einer Tropfsteinhöhle genau das Gleiche wie beim Öffnen eines Sprudelgetränks, nur dass das Entweichen des Kohlendioxids langsam, ohne Zischen und ohne Gasblasenbildung vor sich geht. Entweicht Kohlendioxid aus dem mineralisierten Tropfwasser, so sinkt die Löslichkeit für

Christoph Spötl
Susanne Brandstätter
Gina Moseley
Karl-Heinz Offenbecher

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

Höh(l)enluft und Wissensraum

Die Gassel-Tropfsteinhöhle im Salzkammergut zwischen Alltagskultur, Naturkunde und wissenschaftlicher Forschung (hrsg. v. J. Mattes & D. Kuffner), Denisia 40, 2018: 283-290.

Karbonate und winzige Mengen an Calciumkarbonat kristallisieren aus. Eine wesentliche Voraussetzung für die Bildung von Tropfsteinen ist somit das Vorhandensein eines Bodens mit Vegetation im Gebiet oberhalb der Höhle – dort, wo das Niederschlagswasser in den Untergrund eindringt. Fehlt diese Quelle des Kohlendioxids bzw. sickert kein Wasser über längere Zeiten ein, dann hören Tropfsteine auf zu wachsen. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass man aus der Wachstumsgeschichte der Tropfsteine Rückschlüsse auf die Beschaffenheit der Landschaft um die und über der Höhle sowie die früheren klimatischen Verhältnisse ziehen kann, und das viele Tausende, ja mitunter Millionen Jahre zurück in die Vergangenheit.

Woraus bestehen Tropfsteine?

Da das Wasser, das die Tropfsteine „füttert“, Calcium- und Hydrogenkarbonat-Ionen gelöst hat, bestehen Tropfsteine aus Calciumkarbonat – von seltenen Ausnahmen abgesehen, die jedoch nicht in der *Gassel-Tropfsteinhöhle* vorkommen. Calciumkarbonat tritt entweder als Kalzit oder Aragonit auf; diese beiden Karbonatminerale unterscheiden sich hauptsächlich durch ihre Kristallform (siehe unten). Beide kommen in der *Gassel-Tropfsteinhöhle* vor, Aragonit jedoch nur ganz untergeordnet. Die aller-

meisten dortigen Tropfsteine bestehen aus weißem, d.h. hochreinem Kalzit. Cremefarbene und hell- bzw. rötlichbraune Varietäten kommen ebenfalls vor, wobei die äußere Farbe nicht immer mit der im Inneren des Tropfsteins übereinstimmt. Die meisten Tropfsteine, die heute noch aktiv, d.h. im Wachstum begriffen, sind – solche gibt es an etlichen Stellen in diesem weitläufigen Höhlensystem – sind innen wie außen weiß. Inaktive Stalagmiten und Stalaktiten sind in dieser Höhle daran zu erkennen, dass sie erstens nicht nass sind, und zweitens, dass sie cremefarben bzw. von einer rötlichen, tonigen Schicht überzogen sind. Neben Kalzit wurde in einigen Stalagmiten auch Aragonit nachgewiesen. Dieses Mineral besteht meist aus nadelförmigen Kristallen und lässt sich so auch optisch recht gut von Kalzit unterscheiden, der deutlich breitere Kristalle bildet. Aragonitbildung weist auf erhöhte Magnesiumgehalte im Tropfwasser hin, denn dieses chemische Element behindert die Kristallisation von Kalzit (z.B. Bieniok & Knobloch, 2016). Im Bereich der Höhle tritt sowohl Kalkstein (Plattenkalk bzw. Dachsteinkalk) als auch Dolomit der Hauptdolomit-Formation auf (Egger & van Husen, 2007); insofern überrascht das Vorkommen von Aragonit nicht, denn die Karstlösung von Dolomitgestein führt zu erhöhten Magnesiumgehalten.

Abb. 1: Über großen, herabgebrochenen Fragmenten von Stalaktiten bzw. Wandsintern bildeten sich im *Sinterwaldom* nach der letzten Eiszeit gedrungene, weiße Stalagmiten, die heute noch aktiv sind. Im Hintergrund ist eine ältere Generation von Stalagmiten zu erkennen, die nicht mehr aktiv ist und eine bräunliche Farbe aufweist.

Foto: Christoph Spötl

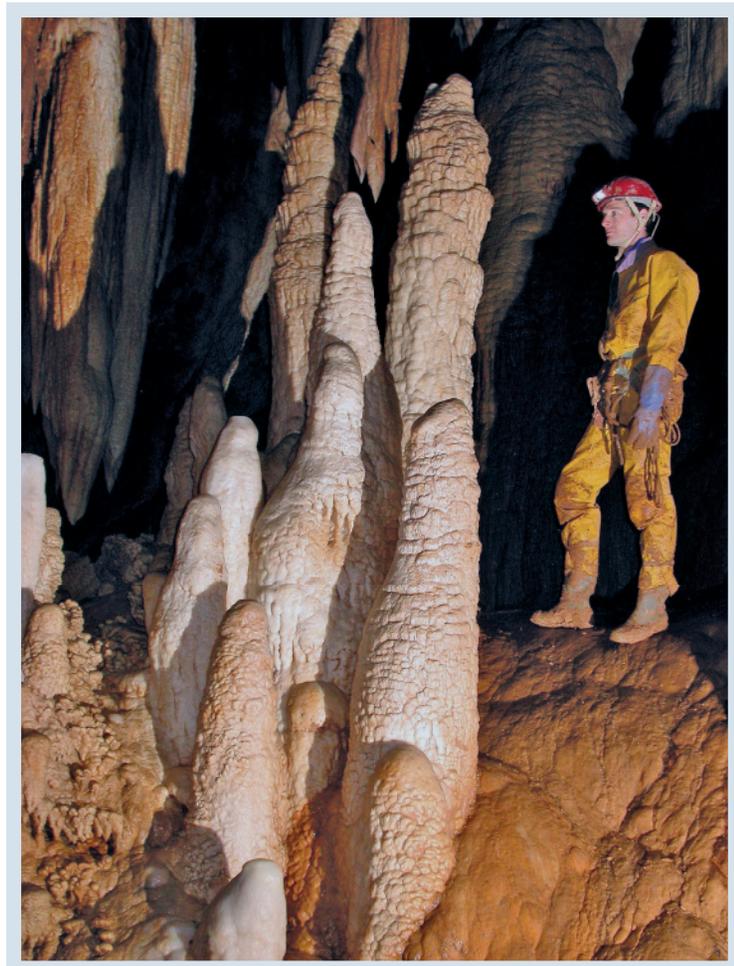


Wie erklärt sich die Vielfalt der Tropfsteine?

Das Tropfwasser, das an der Decke eines Höhlenraumes austritt, beginnt dort zu entgasen und Calciumkarbonat scheidet sich langsam aus. Es entstehen dabei filigrane Sinterröhrchen, die einem Strohalm ähneln und an deren unterem Ende Wasser heraustropft. Rinnt das Wasser auch außerhalb dieser Röhrchen herab, so wachsen diese nicht nur in die Länge, sondern auch in die Breite: Es entstehen Stalaktiten. Auch am Boden darunter kann sich Kalzit abscheiden. Tropft das Wasser immer exakt auf den gleichen Punkt bilden sich Stalagmiten. Nicht selten kann man feststellen, so auch in der *Gassel-Tropfsteinhöhle*, dass sich unter langen Stalaktiten kaum nennenswerte Stalagmiten befinden. In diesem Fall hat das Tropfwasser fast seinen gesamten gelösten Kalk an den Stalaktiten abgegeben, sodass für den Stalagmiten fast keine Ionen mehr übrig blieben. Auch können Tropfsteinformen zusammenwachsen und eine Tropfsteinsäule bilden. In der *Aprilscherzhalle* erreichen solche Säulen Ausmaße von bis zu 11 m Länge und 6 m Durchmesser (Kuffner et al., 2016). Häufiger ist jedoch der Fall, dass der Stalaktit entweder vorher abbricht, sei es durch sein eigenes Gewicht oder durch ein Erdbeben, das sein Wachstum stoppt, oder dass sich seine Wachstumsachse leicht verschiebt (wenn sich beispielsweise die Tropfwasserzufuhr an der Höhlendecke verlagert), sodass eine neue Generation von Stalagmiten neben dem bestehenden zu wachsen beginnt.

Die Stalagmiten zeigen eine Bandbreite von schlanken Kerzen wie z.B. in der *Säulenhalle*, kegeligen Formen mit nach oben abnehmendem Durchmesser und gedrunge- nenen Formen mit einem (konstanten) Durchmesser bis zu etwa einem halben Meter. Letztere treten dort auf, wo der Wassertropfen aus großer Höhe mit vergleichsweise hoher Energie auf den Stalagmiten aufschlägt; schön ausgebildete Exemplare solcher gedrungener Stalagmiten finden sich im *Allerseelenschacht* sowie im *Sinterwalldom* (Abb. 1).

Die größten und meist noch aktiven Stalagmiten der gesamten Höhle beherbergt die *Sintervulkanhalle*. Diese imposanten For-



mationen erreichen einige Meter Höhe. Eindrucksvolle Formationen weist u.a. auch die *Aprilscherzhalle* auf (Abb. 2).

Der höchste Stalagmit Österreichs steht übrigens in der streng geschützten *Klara- höhle* im Sengsengebirge und misst stolze 18 m.

Neben den gewöhnlichen Tropfsteinen gibt es noch weitere, die sich unter speziellen Bedingungen bilden, allen voran die Wand- und Bodensinter. Diese flächigen Bildungen verdanken ihre Entstehung einem mehr oder weniger konstant fließenden Wasser, das einen dünnen Film bildet, aus dem Kohlendioxid entweicht und Kalk ausgeschieden wird. Diese Sinterformen sind in der *Gassel-Tropfsteinhöhle* vielerorts anzutreffen und können große Flächen bedecken, beispielsweise im *Sinterwalldom*. Selten sind Höhlenperlen anzutreffen. Diese aus konzentrischen Kalzitschalen aufgebauten Kugeln bilden sich in kleinen Wassertümpeln und benötigen Tropfwasser, um ständig bewegt zu werden. Mit 38 mm

Abb. 2: In der *Aprilscherzhalle* erreichen die Tropfsteine mehrere Meter an Höhe und sind teilweise noch aktiv. Ihr Alter ist derzeit noch unbekannt.

Foto: Christoph Spötl

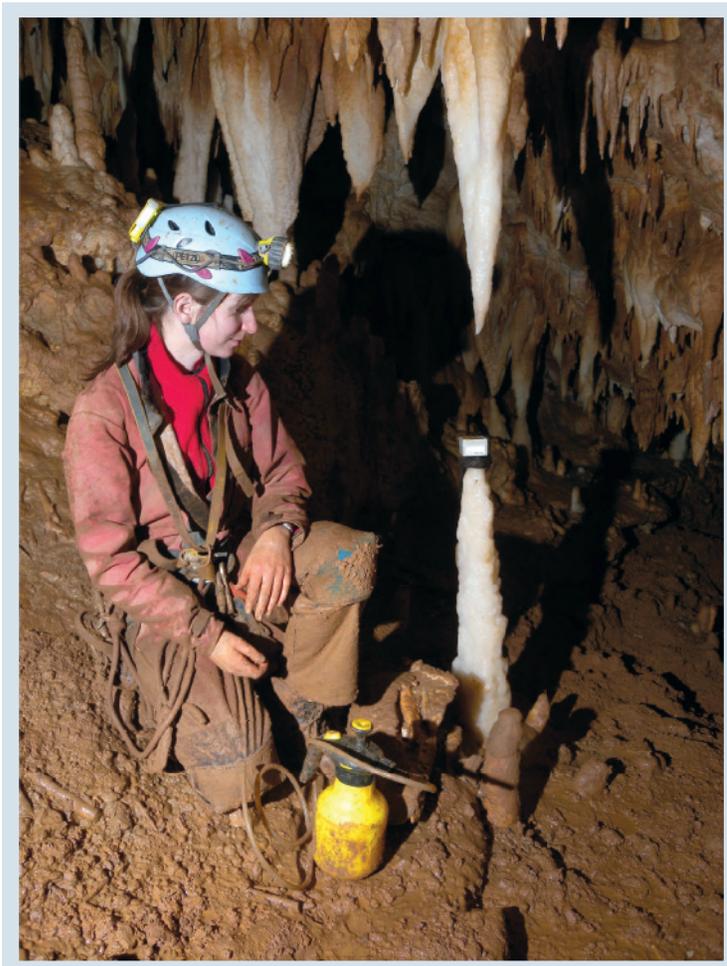


Abb. 3: In der *Kamillushalle* steht diese schöne Stalagmitenkerze. Die reinweiße Farbe und die Tatsache, dass es vom darüber befindlichen Stalaktiten tropft, belegen, dass dieser Tropfstein noch wächst. Er stellt die nahezeitliche Stalagmiten-Generation dieser Höhle dar. Auf diesem Tropfstein wurde für eine begrenzte Zeit ein Messgerät platziert, das die zeitliche Änderung der Tropfwasserzufuhr aufzeichnete.
Foto: Christoph Spötl

halten die Höhlenperlen in der gleichnamigen *Perlenhalle* am Grund des *Allerseelenschachts* den Rekord in Österreich (Kuffner et al., 2016).

Damit ist die Formenfülle der Tropfsteine aber noch nicht erschöpft. Die bizarren *Excentriques* – schraubenförmige Sinterformen, die sich um die Schwerkraft anscheinend nicht scheren – sind Pate gestanden für die *Halle der Exzentriker*. Die in kleinen Seen entstandenen „pool fingers“ sind eine Sinterform, die 2009 erstmals in Österreich in tagfernen Abschnitten der *Gassel-Tropfsteinhöhle* gefunden wurde (Meyer & Plan, 2010). Für die senkrecht nach unten wachsenden, finger- bis keulenförmigen Gebilde wird eine bakterielle Entstehung angenommen.

Für die moderne Umwelt- und Klimaforschung spielen jedoch nur Stalagmiten und manche Bodensinter eine Rolle, da diese eine regelmäßige Lagenstruktur aufweisen: In diesen Höhlensedimenten kann man sozusagen wie in einem Buch blättern.

Wie schnell wachsen Tropfsteine?

Es existieren moderne analytische Methoden, mit denen das Alter einzelner Schichten eines Tropfsteins recht genau bestimmt werden kann, zurück bis etwa eine halbe Million Jahre vor heute. Diese sogenannte Uran/Thorium-Methode (U/Th-Methode) bedient sich der Tatsache, dass Tropfsteine Spuren von Uran enthalten, welches über ein Zwischenprodukt, Thorium-230, mit einer genau bekannten Halbwertszeit zerfällt. Durch präzise Messung der verschiedenen Radionuklide der Elemente Uran und Thorium kann das Alter der Bildung einzelner Kalzitlagen bestimmt werden (Spötl & Boch, 2012).

Untersuchungen an Stalagmiten der *Gassel-Tropfsteinhöhle* ergaben, dass diese mit etwa 0,04 bis 0,07 mm pro Jahr in die Höhe wachsen. Diese Werte sind gut vergleichbar mit jenen von Stalagmiten aus anderen österreichischen Höhlen in ähnlicher Höhenlage. Zum Vergleich: Stalagmiten aus dem *Katerloch* in Weiz (Stmk.), dessen Eingang auf 900 m liegt, zählen mit bis zu 0,5 mm pro Jahr zu den Spitzenreitern, während manche Tropfsteine in der *Spannagelhöhle* in Hintertux (Tirol), deren Eingang auf 2.524 m liegt, mit lediglich 0,003 mm pro Jahr wuchsen (Spötl et al., 2007, 2008).

Welche Tropfsteine sieht man in der Schauhöhle?

Der touristisch erschlossene Teil der *Gassel-Tropfsteinhöhle* umfasst nur einen Bruchteil des aktuell bekannten Höhlensystems. Trotzdem kann man auch darin bereits eindrucksvolle Tropfsteinformationen sehen, insbesondere von der Ausblicksplattform am Ende des Führungsweges (*Kanzelhalle*). Von dort erkennt man die Umrisse des großen, schwer auszuleuchtenden *Pergarschachts*, dessen Wände von zahllosen Stalaktiten und Wandsintern einer riesigen Orgel gleich überzogen sind. Auch am Führungsweg selbst kommt man immer wieder an größeren, nicht mehr aktiven Stalagmiten vorbei.

Wie alt sind die Tropfsteine in der Gassel-Tropfsteinhöhle?

Eine relative Alterseinstufung von Tropfsteinen ist oft bereits anhand ihres äußeren Erscheinungsbildes möglich: So lassen sich





Abb. 4: Unterschiedliche Sintergenerationen beim Abstieg zur Kamillushalle. Erklärungen siehe Text. Foto: Christoph Spötl

solche, die in den letzten 11.700 Jahren, also im Holozän gewachsen sind, oft anhand ihrer hellen und oft weißen Farbe (Abb. 3) von Tropfsteinen unterscheiden, die aus älteren Epochen stammen und eine braune bis dunkelrote Patina tragen. Allerdings gibt es auch Tropfsteine, die einen alten Kern aufweisen und äußerlich „jung“ aussehen.

Eine eindeutige Klärung der Altersstruktur von Tropfsteinen ist nur mittels Beprobung und anschließender Altersbestimmung mit der U/Th-Methode möglich. In der *Gassel-Tropfsteinhöhle* wurde dazu von etlichen Stalagmiten eine Probe nahe deren Basis genommen, um so den Beginn des Wachstums des betreffenden Stalagmiten festzustellen. Da dies mit einem kleinen Kernbohrer in der Höhle gemacht wurde, konnten die betreffenden Stalagmiten vor Ort verbleiben. Für genauere Untersuchungen müssen jedoch die Tropfsteine entnommen werden; um auch hier möglichst schonend vorzugehen, wurde in den meisten Fällen auf bereits abgebrochene Stalagmiten bzw. Bruchstücke von solchen zurückgegriffen. Die Messungen bestätigten im Wesentlichen die relative Alterseinstufung anhand

des äußeren Erscheinungsbildes, zeigten jedoch auch einige Überraschungen. Zwei Beispiele seien hier angeführt. Abb. 4 zeigt die Situation beim Abstieg Richtung *Kamillushalle*. Höhlenforscher haben hier einen Bereich mit Tropfsteinen abgesperrt, da es leicht passieren kann, dass durch eine unachtsame Berührung mit einer lehmverschmierte Hand Stalagmiten beschmutzt werden, wie rechts in der Bildmitte zu sehen ist. Links daneben sieht man einen weiteren hellen Stalagmiten, an dem das Absperrband fixiert ist. Dieser Stalagmit lässt ein junges Alter vermuten, auch wenn er nicht mehr aktiv ist. Eine Datierung an seiner Basis ergab jedoch ein hohes Alter von rund 500.000 Jahren. Somit dürfte dieser Stalagmit aus mindestens zwei Generationen bestehen; dazwischen dürfte eine lange Wachstumspause liegen. Über das hohe Alter der benachbarten braunen Stalagmiten kann derzeit nur gemutmaßt werden, da keine Messungen vorliegen. Während junge, aktive Tropfsteine einfach als solche zu erkennen sind, sieht man so manchem alten Tropfstein seine Jahre kaum an. Ein Beispiel zeigt Abb. 5, aufgenommen in der *Kamillushalle*. Ein etwa 30 cm hoher

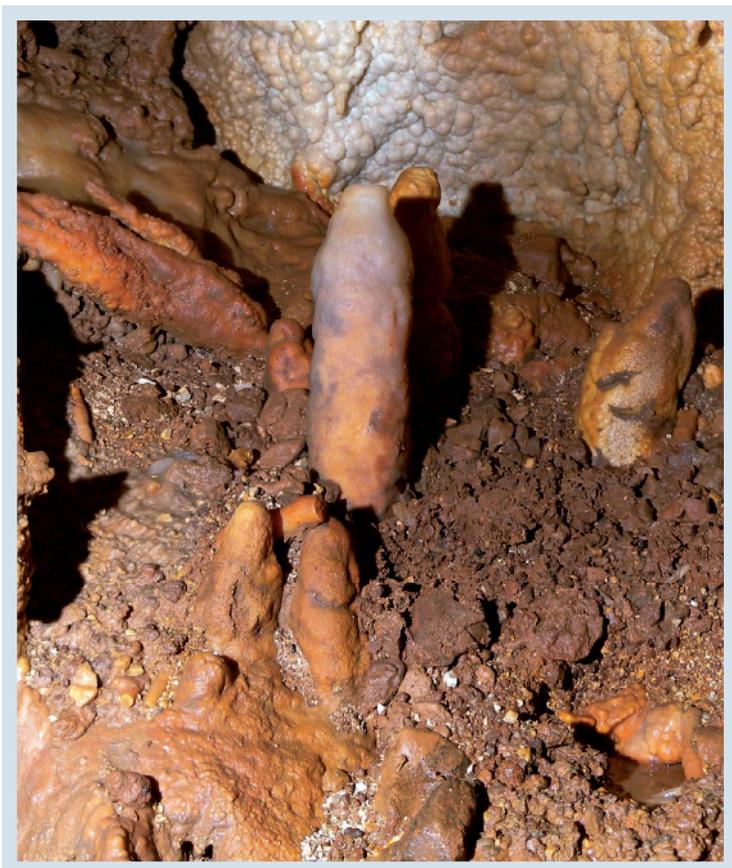


Abb. 5: Kleine, inaktive Stalagmiten, Wandsinter und Sinterbruch nebst braunem Lehm in einer kleinen Nische der Kamillushalle. Der Stalagmit in Bildmitte erwies sich als einer der ältesten Tropfsteine der Höhle, von dem eine Datierung vorliegt.

Foto: Christoph Spötl

Stalagmit von unscheinbarer Erscheinung ergab ein Basisalter älter als 700.000 Jahre und zählt zu den derzeit ältesten datierten Tropfsteinen dieser Höhle.

Abb. 6 zeigt die bislang vorliegenden Datierungsergebnisse auf einer Zeitskala, die 700.000 Jahre in die Vergangenheit reicht (da es sich um große Zahlen handelt, werden diese Altersangaben in Tausenden Jahren angegeben: 1 ka = Tausend Jahre). Dieser Zeitraum der jüngeren Erdgeschichte war geprägt von einer Achterbahnfahrt des Klimas: Kurze klimagünstige Intervalle (Interglaziale) wechselten mit wesentlich längeren Abschnitten ab, in denen – wie der Fachbegriff (Glaziale) andeutet – die Gletscherausdehnung groß war. Diese Glazialperioden waren deutlich kälter und trockener und das Klima war zudem wesentlich wechselhafter als das der Interglaziale.

Das Diagramm zeigt einige interessante Aspekte: Zum einen belegen diese Daten, dass die Höhlenräume, in denen diese Tropfsteine gefunden wurden, mindestens 600-700 ka alt sein müssen; das ist die – je nach Probengüte variable – Grenze der

U/Th-Methode. Tatsächlich muss davon ausgegangen werden, dass die meisten Höhlenabschnitte noch wesentlich älter sind; dafür spricht allein schon die Höhenlage relativ zum Niveau der heutigen Täler. In diesem Zusammenhang ist es wichtig zu erwähnen, dass bei den bisherigen Untersuchungen ausschließlich Stalagmiten beprobt wurden, die maximal etwa 1 m hoch sind; meist wurden jedoch deutlich kleinere und unscheinbare bzw. bereits umgefallene und zerbrochene Stalagmiten analysiert. Wie Abb. 7 beispielhaft zeigt, reichen bereits solche kleinwüchsigen Tropfsteine Hunderttausende Jahre in die Vergangenheit zurück. Umso mehr kann davon ausgegangen werden, dass die metergroßen Sinterformationen die 1-Million-Grenze überschreiten. Dies trifft insbesondere für große Tropfsteine zu, die heute nicht mehr aktiv sowie von Lehm überzogen sind und/oder bereits Verfallserscheinungen aufweisen. Eine Altersbestimmung jenseits der 600-700 ka Grenze der U/Th-Methode ist nur in ganz besonderen Fällen möglich (Spötl & Boch, 2012); dies trifft leider nicht für Sinterproben aus der *Gassel-Tropfsteinhöhle* zu. Zudem ist die Beprobung von großen Tropfsteinen logistisch aufwändig.

Was sagen die Tropfsteine über das frühere Klima aus?

Die Phasen des Sinterwachstums (Abb. 6) fallen vielfach in Zeiten, in denen das globale Klima – abgelesen aus Daten von Bohrungen in Ozeansedimenten und im Eis der Polarregionen – warm war. Sie bestätigen somit das globale Muster der Klimageschichte. Umgelegt auf das Gebiet der *Gassel-Tropfsteinhöhle* belegen die Daten, dass z.B. um 200 ka oder zwischen etwa 130 und 85 ka das Gebiet über der Höhle Bewuchs und Bodenbildung aufwies – Voraussetzungen für die Bildung von Tropfsteinen.

Auffallend viele Proben datieren zum einen in das Holozän, das gegenwärtige Interglazial (Abb. 6). Diese Häufung der Daten überrascht nicht, sind doch jüngere Tropfsteine tendenziell besser erhalten als ältere. Weiters fallen etliche Sinterdaten in ein früheres Interglazial vor rund 410 ka. Dieses war mit Abstand die längste und wärmste Zeit der vergangenen 700 ka. Wir wissen derzeit kaum wie die Alpen damals ausge-



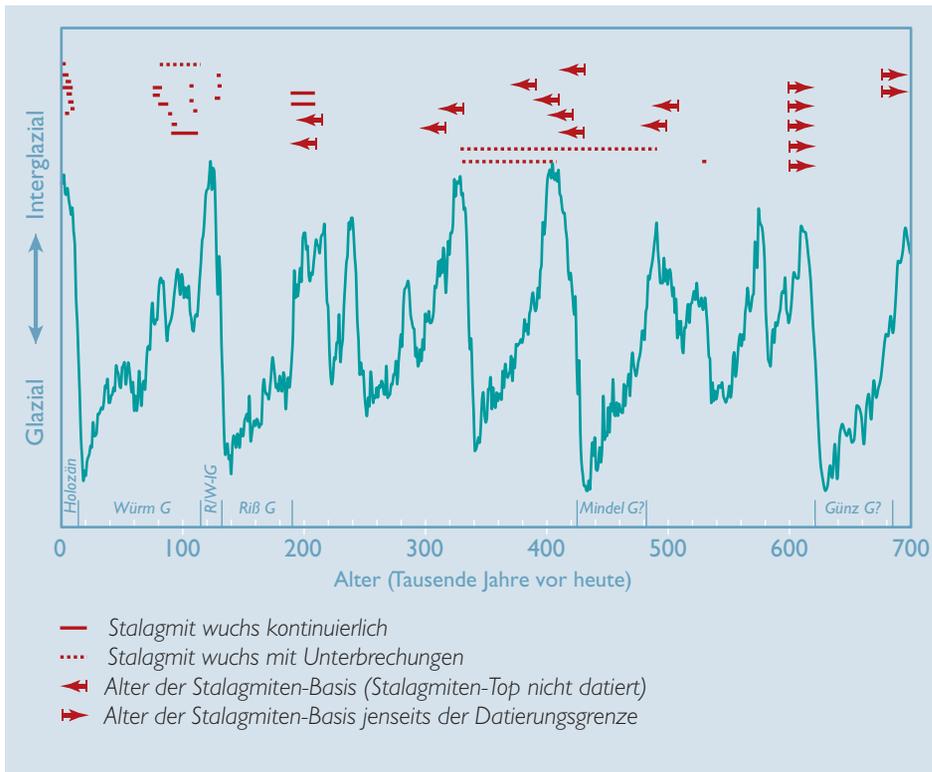


Abb. 6: Globale Klima-
 kurve der vergangenen
 700.000 Jahre (heute
 ist links), basierend
 auf Daten aus dem
 Ozean. Die roten
 Balken markieren
 einzelne Stalagmiten
 aus der Gassel-
 Tropfsteinhöhle bzw.
 deren Fragmente,
 die mit der U/Th-
 Methode altersbestimmt
 wurden. Abkürzungen:
 G Glazial, IG Interglazial.
 Die zeitliche Einstufung
 der beiden älteren
 großen Glaziale,
 Mindel und Günz,
 ist derzeit noch
 unsicher.

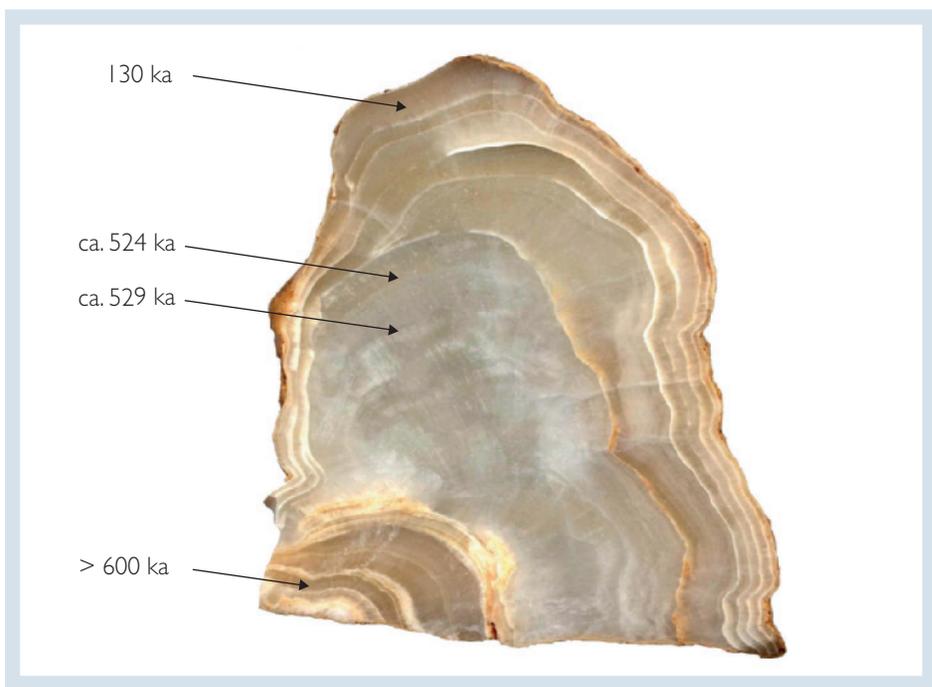


Abb. 7: Das Innere
 eines aufgeschnittenen,
 16,5 cm hohen
 Stalagmitenfragments
 aus dem Sinterwalldom
 enthält ein
 mehrphasiges
 Wachstum,
 unterbrochen von
 längeren Stillständen,
 sowie Verschiebungen
 der Wachstumsachse.
 Altersbestimmungen
 ergaben, dass sein
 Hauptwachstum
 älter als eine
 halbe Million
 Jahre ist. Am
 Beginn des
 Riß/Würm-
 Interglazials
 bildete sich
 die oberste
 Lage aus und
 seit etwa
 130 ka ruht
 sein
 Wachstum.
 Foto: Christoph Spötl

sehen haben und wie klein z.B. die Gletscher waren. Gut belegt ist jedoch, dass in diesem prominenten Interglazial das Eisschild von Grönland stark reduziert und der Meeresspiegel vermutlich um rund 20 m höher war als heute – ein durchaus ernstzunehmendes Szenario für die fernere Klimazukunft.

Keine der bislang datierten Proben fällt in den Altersbereich 20-30 bzw. 135-145 ka. Dies waren die kältesten Abschnitte der letzten beiden Glazialperioden (Würm bzw. Riß), in denen das Eis des Traungletschers in Ebensee noch fast 400 m mächtig war (van Husen, 1987) und bis zum Nordende des Traunsees (im Würm) bzw. sogar noch

zum Südrand von Laakirchen vorstieß (im Reiß; Egger, 2007). Der Gasselkogel (1.411 m) und damit das Einzugsgebiet der Karstwässer der *Gassel-Tropfsteinhöhle* lagen nicht mehr unter Eis. Sowohl südlich als auch nördlich davon drang jedoch das Ferneis des Traungletschers ein Stück weit gegen Osten in das Rindbach- bzw. Karbachtal hinein. Im Bereich des Höhleneingangs (1.229 m) haben geologische Kartierungen Hinweise auf einen kleinen Lokalgletscher ergeben, dessen Zunge im Hochwürm im Karbentalgraben endete. In der Reiß-Eiszeit

hatte sich dieser noch mit dem Eis des Traungletschers vereinigt (Egger, 2007). Anhand von Detailuntersuchungen an Stalagmiten kann man wichtige Einblicke in den genauen Ablauf von Klimaänderungen und einhergehenden Umweltveränderungen erhalten. Diese Analysen bedienen sich der Isotope des Sauerstoffs und Kohlenstoffs im Kalzit der Tropfsteine (Spötl et al., 2007; Spötl & Boch, 2016). Solche Analysen wurden auch an Proben der *Gassel-Tropfsteinhöhle* durchgeführt, sind aber noch nicht abgeschlossen.

Literatur

- Bieniok, A. & Knobloch, G. (2016): Höhlenminerale. – In: Spötl, C., Plan, L., Christian, E. (Hrsg.): Höhlen und Karst in Österreich: 97-112, Linz (Oberösterreichisches Landesmuseum).
- Brandstätter, S. (2015): Speleothems as archive of rapid climate change during the last glacial period in the Austrian Alps: petrographic and geochemical evidence. – Unveröff. Dissertation Univ. Innsbruck.
- Egger, H. & van Husen, D. (2007): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50000 mit Erläuterungen. Blatt 67, Grünau im Almtal. – Wien (Geol. Bundesanstalt).
- Kuffner, D., Mattes, J. & Wielander, B. (2016): Trauntaler Voralpen. – In: Spötl, C., Plan, L., Christian, E. (Hrsg.): Höhlen und Karst in Österreich: 589-598, Linz (Oberösterreichisches Landesmuseum).
- Meyer, S. & Plan, L. (2010): Pool-Fingers – eine kaum bekannte Sinterform biogenen Ursprungs. – Mitt. Verb. dt. Höhlen- u. Karstforscher, 56: 104-108.
- Offenbecher, K.H. (2004): Stabile Isotope in Stalagmiten als Indikatoren der Klimaentwicklung im Quartär in den österreichischen Alpen. – Unveröff. Dissertation Univ. Innsbruck.
- Spötl, C. & Boch, R. (2016): Höhlen in der Paläoklimaforschung. – In: Spötl, C., Plan, L., Christian, E. (Hrsg.): Höhlen und Karst in Österreich: 155-170, Linz (Oberösterreichisches Landesmuseum).
- Spötl, C., Scholz, D. & Mangini, A. (2008): A terrestrial U/Th-dated stable isotope record of the Penultimate Interglacial. – Earth and Planetary Science Letters, 276: 283-292.
- Spötl, C., Offenbecher, K.-H., Boch, R., Meyer, M., Mangini, A., Kramers, J. & Pavuza, R. (2007): Tropfstein-Forschung in österreichischen Höhlen – ein Überblick. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt (Festschrift H.-P. Schönlaub), 147: 117-167.
- 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).
- van Husen, D. (1987): Die Ostalpen und ihr Vorland in der letzten Eiszeit (Würm). – Karte 1:500,000. – Wien (Geol. Bundesanstalt).



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Denisia](#)

Jahr/Year: 2018

Band/Volume: [0040](#)

Autor(en)/Author(s): Spötl Christoph, Brandstätter Susanne, Moseley Gina, Offenbecher Karl-Heinz

Artikel/Article: [Tropfsteine als Zeugnisse und Zeitmesser der Vergangenheit 283-290](#)