

Datierung von Höhlensintern

Fragestellung

Es ist einleuchtend, dass Tropfsteine auf Grund ihres sehr langsamen Wachstums ein hohes Alter aufweisen können. Nur mittels physikalischer Methoden ist es jedoch möglich, die genaue Bildungszeit zu bestimmen. Alte Tropfsteine können auch ein sinnvolles Mindestalter der Höhle selbst liefern; eine höhlenkundlich zentrale Frage, die für die allermeisten Höhlensysteme nur annähernd beantwortet werden kann.

Physikalische Grundlagen

Die Altersbestimmung von Höhlensintern beruht auf dem fundamentalen physikalischen Gesetz des radioaktiven Zerfalls. Gewisse Atome, so genannte instabile Isotope, zerfallen mit präzise bekannter Geschwindigkeit. Diese Umwandlung von einem Element in ein anderes ist ein durch äußere Bedingungen unbeeinflussbarer Prozess, bei dem radioaktive Strahlung frei wird. Aus der Menge des heute noch vorhandenen Mutter-Isotops kann – stark vereinfacht gesagt – die Zeit bestimmt werden, seit dieser Zerfallsprozess abläuft. Eine wichtige Maßzahl in diesem Zusammenhang ist die bekannte Halbwertszeit: Sie gibt jenen Zeitraum an, in dem genau die Hälfte der ursprünglich vorhandenen Isotope zerfallen sind. Vom Kohlenstoff-Isotop ^{14}C (sprich: C14) zerfällt in 5730 Jahren exakt die Hälfte zum Element Stickstoff. Heutige Messinstrumente erlauben es, maximal 8 bis 10 Halbwertszeiten zurück zu datieren. Im Falle von ^{14}C bedeutet dies, dass Proben bis zu einem maximalen Alter von grob gesagt 50.000 Jahren bestimmt werden können.

Die Radiokarbon-Methode

Mit dieser wohl bekanntesten Altersbestimmungsmethode – mit der z.B. das Alter des „Eismanns Ötzi“ bestimmt wurde – hat seinerzeit Herbert W. Franke weitweit die ersten Altersbestimmungen an Höhlensintern versucht. Heute wird diese Methode kaum noch zu diesem Zweck eingesetzt. Der Grund dafür liegt in der Art und Weise, wie das Element Kohlenstoff (C) seinen Weg in das Kristallgitter des Minerals Kalzit (CaCO_3) findet: Die ^{14}C -Methode funktioniert nämlich nur in den Fällen einwandfrei, in denen der gesamte C aus dem biologischen Kreislauf stammt (^{14}C wird in der höheren Atmosphäre gebildet und über die Pflanzen in selbigen aufgenommen). In Karstgebieten gelangt jedoch viel C in das Wasser, der aus dem Lösung von Kalk- oder Dolomitgestein stammt. Der Anteil dieses ^{14}C -freien, „toten“ C in Karstwässern ist variabel und täuscht im daraus entstehenden Höhlensinter ein zu hohes Alter vor. Ein weiteres Problem bei der Datierung mittels ^{14}C ist die Tatsache, dass in der Vergangenheit nicht immer gleich viel ^{14}C in der Atmosphäre gebildet wurde, die „Uhr“ also einmal schneller, dann wieder langsamer „ging“. Für den Zeitraum der letzten 12.000 Jahre hat man die Korrektur zwar im Griff; davor sind jedoch alle ^{14}C Messungen mit einem nicht unerheblichen Korrekturfehler behaftet.

Die Thorium-Uran-Methode

Die Methode der Wahl für die Altersbestimmung von Höhlensintern heißt ^{230}Th - ^{234}U -Ungleichgewichtsmethode, oder kurz Thorium-Uran-Methode (auch Uran-Thorium-Methode genannt). Sie beruht auf dem radioaktiven Zerfall des Isotops ^{234}U zu ^{230}Th , welches in einem nachfolgenden Schritt ebenfalls zerfällt. Das Prinzip ist folgendes: Tropfwasser enthält sehr geringe Mengen an U; in kalkalpinen Karstwässern kaum mehr als wenige hundert Millionstel eines Prozents. Diese Spuren an U werden in den sich bildenden Kalzit des Tropfsteins eingebaut, und zwar nicht als Verunreinigung, sondern fest im Kristallgitter verankert. Ab diesem Zeitpunkt „tickt“ die „Uhr“: Aus ^{234}U entsteht das Isotop ^{230}Th , das anfänglich im Kalzit nicht vorhanden war. Je älter ein Tropfstein, desto größer wird das Verhältnis von ^{230}Th zu ^{234}U . Da ^{230}Th auch radioaktiv ist, lassen sich mit dieser Methode nicht beliebig alte Höhlensinter datieren. Die obere Messgrenze liegt bei etwa einer halben Million Jahre, das ist etwa zehn Mal so viel wie bei der Radiokarbon-Methode.

Für eine Thorium-Uran-Altersbestimmung werden zwischen 0,02 und 0,2 g Material benötigt (im Vergleich dazu wiegt ein Stück Würfelzucker ca. 3 g). Die genaue Einwaage richtet sich nach dem Gehalt des Spurenelements U in der Probe. Je weniger U in der Probe, desto mehr Material wird für eine gute Messung benötigt. Die Probe wird im Labor unter Reinstraumbedingungen aufgelöst, die beiden Spurenelemente U und Th chemisch abgetrennt und anschließend die entsprechenden Isotopenverhältnisse massenspektrometrisch gemessen.

Probenauswahl und Probennahme

Die Beprobung von Höhlensintern richtet sich nach der Fragestellung und muss selbstverständlich dem Höhlenschutz Rechnung tragen. Als ideale Objekte für die Datierung haben sich Stalagmite erwiesen. Der Grund dafür ist ihr meist gut erkennbarer interner Aufbau entlang der vertikalen Wachstumsrichtung. Gut eignen sich auch Wandsinter (siehe Bild), während Bodensinter und Stalaktite nur selten benützt werden.

Bei der Beprobung ist auf optisch sauberes Material zu achten; durch Verunreinigung mit organischer Substanz bzw. Tonmineralen braun oder grau gefärbtes Sintermaterial ist meist ungeeignet, da diese Verunreinigungen Th enthalten und die Messung verfälschen (zu hohe Alter vortäuschen). Bodensinter, der mit Höhlenlehm wechsellagert, ist meist nicht geeignet, da sich durch die hohe Bodenfeuchtigkeit bzw. Überschwemmungen der Höhle (Ablagerung des Lehms) das Sintermaterial nachträglich in seiner Zusammensetzung verändern kann und so die radioaktive „Uhr“ verfälscht wird. Vorsicht ist ebenfalls vor porösen Sinterproben angebracht, da diese nachweislich angelöst wurden und so deren chemische Zusammensetzung verändert wurde.

Die Beprobung geschieht, wenn möglich, an Hand von Bruchstücken oder optisch kaum störenden Kernbohrungen. Für eine umfassende wissenschaftliche Untersuchung werden hingegen ganze Stalagmite entnommen, der zentrale Abschnitt herausgeschnitten und daraus zahlreiche Einzelproben für die Datierung entnommen.

Die Grenzen der Thorium-Uran-Methode

Mit dieser Methode kann der gesamte Zeitbereich von heute bis vor etwa 400.000 Jahre vor heute abgedeckt werden. Die obere Grenze ist variabel und hängt unter anderem von der genauen Zusammensetzung der untersuchten Probe ab. Im Idealfall können sogar Proben mit einem Alter von etwa 500.000 bis 600.000 Jahren noch datiert werden, wenn auch mit einem großen Messfehler.

Wie genau kann datiert werden?

Im Zeitbereich bis etwa 100.000 Jahren überschreitet der Messfehler bei gutem Material 1 bis 2% nicht, d.h. eine 52.000 Jahre alte Probe hätte einen Fehler von z.B. ± 400 Jahren. Im Klartext heißt das, dass bei Nachmessungen ein und derselben Probe 95% aller Messwerte innerhalb von 51.600 und 52.400 Jahren liegen. Der Fehler nimmt mit zunehmendem Alter zu; eine 300.000 Jahre alte Probe kann kaum besser als auf ± 6.000 Jahre datiert werden. Im Schrifttum finden sich Analysen, deren Fehler oft deutlich höher sind, z.B. 105.000 ± 12.000 Jahre. Fast alle dieser älteren Daten wurden mit einer Vorläufer-Methode der heutigen (massenspektrometrischen) Thorium-Uran-Methode bestimmt, die weniger genaue Werte lieferte: die so genannte alpha-Spektrometrie. Die Werte sind zwar (meist) richtig, aber weniger präzise.



Entnahme eines Sinterbohrkerns.

Interpretation von Thorium-Uran-Messungen

Die Auswertung von Altersmessungen an Sinterproben erfordert Erfahrung und insbesondere eine gute Kenntnis der Fundsituation und des Materials. Vorsicht ist bei Einzelwerten angebracht, d.h. wenn nur eine einzelne Messung einer größeren Tropfsteinprobe vorliegt. Erst die Datierung eines zusammenhängenden Sinterprofils, etwa von der Basis zum Top eines mächtigeren Wandsinter-Profils kann Klarheit über die Altersstruktur schaffen. Aus solchen Daten lassen sich dann auch interessante Rückschlüsse auf die Wachstumsgeschwindigkeit ziehen.

Was kosten Sinterdatierungen?

Im Gegensatz zur bekannten Radiokarbon-Methode gibt es für die Thorium-Uran-Methode zur Zeit keine kommerzielle Schiene. Das dürfte sich auch in naher Zukunft kaum ändern. Der theoretische Kostensatz einer Messung liegt bei etwa € 500.

Alternative Methoden

Leider gibt es zurzeit keine Methode, um das Alter einer Höhlensinterprobe zerstörungsfrei oder gar vor Ort in der Höhle zu bestimmen. Neben der Thorium-Uran-Methode kann auch – mit großen Vorbehalten – die etwas günstigere Radiokarbon-Methode eingesetzt werden, vor allem für geologisch junge Proben. Für sehr alte Proben steht die Uran-Blei-Methode zur Verfügung; allerdings eignen sich nur sehr wenige Proben für deren Anwendung.

Weiterführende Literatur

Dorale, J.A., Edwards, R.L., Alexander, E.C., Shen, C.C., Richards, D.A. & Cheng, H. (2004): Uranium-series dating of speleothems: current techniques, limits, and applications. – In: *Studies of Cave Sediments* (Hrsg. Sasowsky, I.D. & Mylroie, J.), S. 177-197, New York (Kluwer).

Eisenhauer, A. & Hennig, G. (1999): Methoden zur Altersbestimmung von Tropfsteinen. – In: *Höhlen. Welt voller Geheimnisse* (Hrsg. S. Kempe), S. 62-69, Hamburg (HB Verlags- und Vertriebs-Gesellschaft).

Ford, D.C. (1997): Dating and paleo-environmental studies of speleothems. – In: *Cave Minerals of the World* (Hrsg. Hill, C. & Forti, P.), S. 271-284, Huntsville/Alabama (National Speleological Society).

Franke, H.W. (2001): Höhlensinter und Vorzeitklima. – *Naturwissenschaftliche Rundschau*, 54. Jg., S. 233-239.

Häuselmann, Ph. & Granger, D.E. (2005): Dating of caves by cosmogenic nuclides: method, possibilities, and the Siebenhengste example (Switzerland). – *Acta Carsologica* 34(1): 43-50.

Richards, D.A. & Dorale, J.A. (2003): Uranium-series chronology and environmental applications to speleothems. – In: *Uranium-Series Geochemistry* (Hrsg. Bourdon, B., Henderson, G.M., Lundstrom, C.C. & Turner, S.), *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, Bd. 52, S. 407-460, Washington, D.C. (Mineralogical Society of America).

Kontaktadresse

Dr. Christoph Spötl, Universität Innsbruck, Institut für Geologie und Paläontologie, Innrain 52, 6020 Innsbruck, Email: christoph.spoetl@uibk.ac.at