



Was verrät uns das Alter von Fossilien wie diesem Trilobiten?

© [Smith609/](#) CC-by-sa 3.0

Zeitzeugen der Erdgeschichte

Wie Wissenschaftler die Spuren der Vergangenheit datieren

Menschen sind neugierig: Wo kommen wir her, wie haben wir uns entwickelt? Viele wissenschaftliche Disziplinen suchen Antworten auf diese Fragen – sie alle sind auf genaue Datierungen angewiesen. Forscher nutzen daher verschiedene geologische und archäologische Uhren, um das Alter von Relikten der Vergangenheit zu bestimmen.

In der Erdgeschichte umfassen die Begriffe "alt" und "jung" Episoden von Tausenden bis hin zu Millionen Jahren und nicht, wie in unserem Sprachgebrauch üblich, die Zeitspanne des menschlichen Lebens. Um in diesen Dimensionen absolutes Alter zu bestimmen, hat die Geochronologie Methoden hervorgebracht, die auf der Analyse urzeitlicher Materialien wie Gesteinen, Mineralen, Hölzern oder Skelettresten beruhen. Damit hat sie das Verständnis der Erdgeschichte revolutioniert und unser modernes Weltbild enorm beeinflusst. Forscher der Universität Heidelberg haben mit dazu beigetragen, solche Datierungsmethoden weiterzuentwickeln.

Die Kohlenstoff-Uhr

Wie funktioniert die Radiokarbonmethode?

Die wohl bekannteste Methode zur Altersbestimmung ist die sogenannte Radiokarbonmethode, auch als C14-Kohlenstoffdatierung bezeichnet. Sie basiert darauf, dass das Element Kohlenstoff in der Natur in drei verschiedenen Isotopen - C12, C13, C14 - vorkommt. Auf eine Billion der stabilen Variante mit zwölf Neutronen im Kern kommt dabei nur ein Kohlenstoffkern mit 14 Neutronen. Das C14-Isotop zerfällt mit einer Halbwertszeit von rund 5.730 Jahren zu Stickstoff.



Fossile Abdrücke von Olivenblättern aus Santorin

© **D. Herdemerten / CC-by-sa 3.0/de**

In allen lebenden Organismen bleibt das Verhältnis von C12 zu C14 gleich, weil diese ständig neues, in der Atmosphäre entstehendes C14 über die Atmung aufnehmen. Stirbt das Tier oder die Pflanze aber, kommt kein neues C14 hinzu. Im Laufe der Zeit verschiebt sich daher in seinen Geweben das Gleichgewicht der beiden Kohlenstoff-Isotope noch weiter zugunsten des C12 - und genau dieses Verhältnis ist die Grundlage für die Radiokohlenstoff-Uhr. Das Isotopenverhältnis verrät letztlich, wie lange beispielsweise ein Holzstück, ein fossiler Pflanzenrest oder ein Knochen keinen C14-Nachschub mehr erhalten hat - und damit auch, wie alt es ist. Auch andere kohlenstoffhaltige Materialien können so datiert werden.

Fenster in die Vergangenheit

Der große Vorteil der C14-Uhr: Kohlenstoffhaltige Substanzen kommen sowohl in der belebten wie in der unbelebten Materie häufig vor. Mit ihr lässt sich zudem der Altersbereich zwischen 300 und rund 60.000 Jahren abdecken - und damit ein für die Archäologie und Paläontologie besonders wichtiger Zeitraum. Die Universität Heidelberg war in den 1950er- und 1960er-Jahren zusammen mit den Universitäten von Bern und Groningen eines von drei Zentren in Europa, in denen die Nachweisteknik von C14 mithilfe von Zählrohren, die den Zerfall des Kohlenstoff-Isotops messen, entwickelt und für Datierungen in der Archäologie verfügbar gemacht wurde. Es war die erste Anwendung einer naturwissenschaftlichen Datierungsmethode in der Archäologie. Ihre Ergebnisse führten zu drastischen Umwälzungen, beispielsweise im Zeitgerüst der europäischen Ur- und Frühgeschichte.



Schädel eines Jetztmenschen (links) und eines Neandertalers

© **P.L. Walker/ E.H. Hagen**

Mit der C14-Uhr gelang es dadurch beispielsweise, die vergangenen 50.000 Jahre Menschheitsgeschichte zu überblicken: Die Radiokarbon-Datierung hat unter anderem dabei geholfen zu klären, wann die Neandertaler in Europa ausstarben und wie sich der anatomisch moderne Mensch ausgebreitet hat. Aber auch den Übergang von der letzten Eiszeit in die jetzige Warmzeit, die Entwicklung der Menschen von Jägern und Sammlern zu sesshaften Ackerbauern oder den Beginn der Nutzung von Metallen haben solche Datierungen erhellt.



Die Insel Santorini ist der Rest eines alten, großen Vulkankegels

© **Philos2000 / CC-by-sa 3.0**

Vulkanausbruch 100 Jahre später

Heute sind C14-Datierungen fester Bestandteil archäologischer Projekte. Ein jüngeres Beispiel für eine der vielen überraschenden Ergebnisse, die die C14-Methode erbracht hat, ist die Datumskorrektur eines Ereignisses, das sich in der Spätbronzezeit in der Ägäis zutrug: der Vulkanausbruch auf Santorin. Die historische ägyptische Chronologie, die sich auf die Analyse der Chroniken von Dynastien und auf astronomische Daten stützt, nennt als Datum für den Ausbruch des Vulkans etwa das Jahr 1520 vor

Christus. Die C14-Methode aber, mit der Objekte analysiert werden konnten, die während des Vulkanausbruchs unter Asche und Gestein begraben waren, kommt zu dem Schluss, dass sich die Eruption ein komplettes Jahrhundert früher ereignet haben muss.

Eine weitere spezielle C14-Methode ist die Radiokohlenstoffdatierung von Grundwasser. Sie wird beispielsweise eingesetzt um herauszufinden, ob es sich bei Trinkwasservorkommen in Nordafrika um eiszeitliche Reserven oder um neu gebildete Gewässer handelt. Ein eher tagesaktueller Einsatz dieser C14-Methode ist die Altersbestimmung von Weinen oder Spirituosen, die Echtheitsprüfung von Kunstobjekten oder der Nachweis von synthetischen Komponenten in angeblichen Bio-Produkten.

Ein Chronometer namens Zirkon

Eine Uhr für die älteste Gesteine

Wie alt ist unser Planet? Um dies zu beantworten, reicht die Radiokarbonmethode nicht aus, denn sie deckt nur die jüngste Vergangenheit der Erde ab. Wie datiere ich so etwas

Grundlegendes wie die Erdentstehung aber dann? Es ist eine erstaunliche Erkenntnis der Geowissenschaftler, dass man zum Beantworten dieser Frage am besten den Mikrokosmos betrachtet und seinen Blick auf einzelne Mikromineralen im Innern der Gesteine richtet. Aus ihrer Untersuchung lässt sich ein Bild zeichnen, das die Entwicklung und die zeitliche Abfolge der Erdgeschichte auf globalem und kontinentalem Maßstab wiedergibt.



Zirkon-Kristalle in einem Gesteinsstück

© **Rob Lavinsky,**
iRocks.com / CC-by-sa-3.0

Eines dieser mikroskopisch kleinen Zeitarchive, ist Zirkon, das "Starmineral" für das Verständnis der Erdgeschichte. Diese Verbindung aus Zirkonium, Silizium und Sauerstoff das älteste bekannte Mineral der Erde, es existierte bereits vor rund 4,4 Milliarden Jahren. Gleichzeitig ist Zirkon in der Erdkruste auch relativ häufig. Es findet sich den Gesteinen als mikroskopisch kleine Partikel von 0,05 bis 0,3 Millimetern.

Uran - gefangen im Kristallgitter

Für die Datierung ist aber eine andere Eigenschaft des Zirkons das Spannende: In seiner Kristallstruktur enthält es Spuren von Uran. Da dieses radioaktive Element im Laufe der Zeit zu verschiedenen Bleisotopen zerfällt, lässt sich das Verhältnis von Uran zu Blei für die Datierung nutzen. Je früher das einschließende Zirkon kristallisierte, desto mehr Zerfallsprodukte des Urans sind in seinem Kristallgitter

enthalten.

Im Gegensatz zur Radiokarbonmethode reicht die "Uhr" des Zirkons so weit zurück, wie es dieses Mineral gibt - bis zu 4,4 Milliarden Jahren. Daher eignet sich diese Methode besonders gut, um das Alter von Gesteinen zu bestimmen. Dafür ist es, wegen der langen Halbwertszeiten des Zerfalls von Uran zu Blei, für Zeiträume kleiner als etwa eine Million Jahren nicht geeignet.

Europas Wurzeln auf der Spur

Zirkon hilft bei der Rekonstruktion der Kontinentgeschichte

Eine zentrale Frage der Erdgeschichtler ist, wie die Kontinente entstanden sind und wie sie sich entwickelt haben. Heute wissen wir, dass die Kontinente auf der Oberfläche unseres Planeten langsam hin und her driften. Sie können dabei zusammenstoßen oder in Fragmente zerfallen. Die verschiedenen Areale der Kontinente haben dabei aber nicht das gleiche Alter: Jeder Kontinent setzt sich aus einem komplizierten Flickenteppich unterschiedlich alter Kleinkontinente, sogenannter Terrane, zusammen. Jedes Terran hat seine eigene Geschichte und seine eigene Alterssignatur. Wie aber lässt sich das individuelle Altersmuster bestimmen?

Von Gondwana bis Europa

Eine Antwort darauf haben Geoforscher über die Analyse des Zirkons und die in ihm enthaltenen Uran- und Blei-Isotope erhalten. Sie haben diese Datierungsmethode unter anderem verwendet, um die Gesteine der europäischen Erdkruste zu untersuchen. Die Entwicklung dieses Krustenbereichs ist sehr komplex. Sie begann vor etwa 550 bis 500 Millionen Jahren am Nordrand eines alten, in der südlichen Hemisphäre gelegenen Urkontinents namens Gondwana. Vom Nordrand des Urkontinents brachen etliche große Bruchstücke ab. Sie wanderten als Kleinkontinente nach Norden und gruppierten sich in der Art eines komplizierten Puzzles.

Vor etwa 350 bis 330 Millionen Jahren wurden die Puzzleteile schließlich im Zentralbereich des sich neu bildenden Urkontinents Pangaea zusammengeschweißt. Vor 120 Millionen Jahren aber begann auch der Superkontinent Pangaea in einzelne Kontinente zu zerfallen, der atlantische Ozean öffnete sich, Afrika trennte sich von Südamerika und Nordamerika von Europa.

Wie die mittlerweile erhobenen Zirkondaten dokumentieren,



Position und Form der Kontinente vor 250, 160 und 100 Millionen Jahren

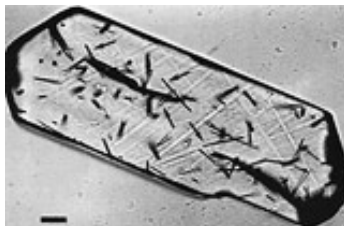
© **Kober, Kromer /**

setzt sich die europäische Erdkruste aus kleinen Kontinenten zusammen, die noch vor 500 Millionen Jahren mit dem heutigen Nordafrika zusammenhingen. Wir leben in Zentraleuropa also auf einer Erdkruste, die im frühen Erdaltertum zu Afrika gehörte. Die älteste bekannte Kontinentalkruste findet sich übrigens in Kanada. Sie ist über vier Milliarden Jahre alt. Im Vergleich dazu ist Europa ein geradezu junger Kontinent.

Spaltspuren als Wärme-Anzeiger

Was Uran in Mineralen über die Geschichte eines Gesteins verrät

Uran-Einschlüsse in Mineralien können aber noch mehr: Sie verraten nicht nur das Alter des Gesteins, sondern geben auch Aufschluss darüber, wie sich seine Temperaturen im Laufe der Zeit verändert haben. Darüber lässt sich beispielsweise bestimmen, wie langsam ein Gestein abkühlte oder wann Lava erstarrt ist.



Spaltspuren von Uran in einem Apatit

© Gleadow et al.
Contrib. Mineral. Petrol.
2002

Das Ganze funktioniert nach einem eigentlich simplen Prinzip: Wenn ein im Mineral eingeschlossener Urankern zerfällt, werden die entstehenden Spaltprodukte in das Mineralgitter geschossen und richten dort mikroskopisch kleine Zerstörungen an, sogenannte Spaltspuren. Wird das Mineralkörnchen poliert, auf bestimmte Art aufbereitet und unter dem Mikroskop betrachtet, sind diese Spaltspuren als feine Linien und Kerben zu erkennen. Weil die Zerfallsrate des Urans bekannt ist, können Forscher aus der Anzahl der Spaltspuren in einem Mineral schließen, wie alt dieses ist: Je mehr man davon findet, desto länger konnte das Mineral die Strahlenschäden sammeln.

Wärme stellt die Uhr zurück

Aber es kommt noch ein Faktor dazu: Solche Spaltspuren entstehen nur, wenn das Mineral nicht zu warm ist. Ist beispielsweise Apatit wärmer als 60 Grad Celsius, verkürzen sich die Spaltspuren in seinem Gitter. Bei Temperaturen oberhalb von 110 Grad verschwinden diese Spuren sogar ganz - das Kristallgitter heilt wieder aus und die von den Spaltprodukten verschobenen Atome nehmen ihre ursprünglichen Gitterplätze wieder ein. Die Spaltspuren-Uhr wird quasi auf Null zurückgestellt.

Diese von der Gesteinstemperatur abhängige "Uhr" hilft Geologen beispielsweise dabei, Hebungsraten von Gebirgen zu bestimmen: In der Tiefe der Erdkruste ist das Gestein zu warm, um Spaltspuren auszubilden. Steigt es dann durch die Plattentektonik angehoben nach oben, beginnen solche Spuren zu entstehen. Aus der jetzigen Höhe, der bekannten Zerfallsrate des Urans und der Menge der Spaltspuren können Geoforscher so ermitteln, wie lange eine bestimmte Gesteinsschicht aus der Tiefe der Erdkruste bis zum Gipfel eines Gebirges gebraucht hat. So bestimmten Forscher beispielsweise die Hebungsraten für das Bergell-Massiv im schweizerischen Graubünden auf 0,3 Millimeter pro Jahr.



Wann Lava erkalte, lässt sich an Spaltspuren im Apatit erkennen

© HVO/USGS



Mit Uranverbindungen eingefärbtes Glas fluoresziert unter UV-Licht grünlich

© Z Vesoulis / CC-by-sa
2.5 us

Vulkane und altes Glas

Aber auch zur Datierung eignet sich diese Methode: Bei einem Vulkanausbruch erstarrt die Lava meist sehr schnell. Mineralien aus solchen Vulkangesteinen können daher über ihre Spaltspuren verraten, wann ein Feuerberg entstand oder wann er zuletzt ausgebrochen ist. Einige menschengemachte Materialien lassen sich aber ebenso datieren: In der Zeit der Römer, aber auch bis ins 19. Jahrhundert hinein in Europa, Nordamerika und China wurde beispielsweise Glas häufig mit einer Uranoxid-Verbindung gelblich eingefärbt. Da auch in diesem Glas Spaltspuren entstehen können, verraten sie, wann das Glas erstarrte und damit, wann beispielsweise das Trinkglas oder die Glasfigur erschaffen wurde.

Holz, Seegrund und leuchtende Keramik

Die Zeitaufzeichnungen der Natur

Das Forschungsfach Geochronologie hält eine große Palette weiterer Methoden bereit, um jung und alt voneinander zu unterscheiden. Die Basis dafür liefert die Natur selbst, die zeitliche Abläufe und Veränderungen in vielen Materialien aufzeichnet und archiviert, etwa in Hölzern oder Sedimenten. Wir müssen eigentlich nur lernen, die Zeitaufzeichnungen der Natur zu lesen – und richtig zu interpretieren.



Anhand von Jahresringen wurde dieses Holz aus dem Salzbergwerk Hallstatt auf 680 v.Chr. datiert.

© [Lokilech/CC-by-sa 3.0](#)

Jahresringe in Holz und Sediment

Neubildungen oder Ablagerungen von Materialien werden von den Jahreszeiten beeinflusst. Das geschieht beispielsweise, wenn Bäume wachsen: Die jahreszeitlichen Rhythmen lassen sich im Holz gleichsam abzählen und das Alter des Baumes – unter günstigen Bedingungen – bis auf ein Jahr genau bestimmen. Diese Baumringdatierung, die Dendrochronologie, hat inzwischen mitteleuropäische Chronologien geschaffen, die rund 14.000 Jahre zurückliegen. Baumholzdatierungen spielen, wie die C14-Datierungen, eine große Rolle in der Archäologie, beispielsweise um herauszufinden, wann eine Siedlung oder ein Wall errichtet wurde.

Die Warvenchronologie oder Bodentondatierung hingegen wertet die Schichtungen von Sedimenten aus. Im Sediment von Seen lagert sich – ähnlich wie bei den Jahresringen von

Bäumen, im Sommer eine etwas anders zusammengesetzte und auch meist anders gefärbte Schicht ab als im Winter. Aus der Abfolge und Dicke dieser Schichten lässt sich daher rekonstruieren, wie alt eine Sedimentschicht ist, aber auch, welche ökologischen und klimatischen Bedingungen zu jeder Zeit herrschten. Diese Art der Altersbestimmung reicht in einzelnen Fällen 40.000 bis 70.000 Jahre zurück. Warven werden auch häufig genutzt, um zu rekonstruieren, wie Klimaveränderungen die Umwelt vergangener Zeiten beeinflussten.

Alter verrät sich am Leuchten

Andere Methoden zur Altersbestimmung nutzen geringe Spuren natürlicher radioaktiver Elemente in Mineralen und Keramiken. Die von diesen Elementen ausgehende Strahlung führt dazu, dass Elektronen beispielsweise in Quarz und Feldspat an bestimmten Störungen im Kristallgitter quasi festgesetzt werden. Diese Störungen wirken auf Elektronen wie Mulden einer Oberfläche auf Kugeln: Sie können hineinrollen, kommen aber nicht von selbst wieder heraus. Dadurch bleibt die Energie des radioaktiven Zerfalls in diesen Materialien gespeichert. Erst wenn sie zusätzliche Energie in Form von Licht oder Wärme erhalten, kommen die Elektronen wieder frei, wechseln ihre Position und geben dabei überschüssige Energie als Leuchten (Lumineszenz) ab.

Die Intensität der Lumineszenz-Strahlung verrät, wie lange das Material ungestört die Energie seiner radioaktiven Einschlüsse gesammelt hat. Deshalb lässt sich dadurch das Alter der Untersuchungsobjekte bis auf mindestens 100.000 Jahre zurück zu bestimmen. Diese Verfahren zur Altersbestimmung werden als Thermolumineszenz oder als Optisch Stimulierte Lumineszenz bezeichnet.



Thermolumineszenz von Flussspat: Bei Erwärmung leuchtet er.

© [Mauswiesel/ CC-by-sa 3.0](#)

(Bernd Kober, Bernd Kromer / [Ruperto Carola](#) , Universität Heidelberg, 30.11.2012)

