

Private Science Mitteilung Nr.001:

Zur Frage der TCN Datierung (ad A.G.King: Tierisch)

Stellen Sie sich vor, in Ihrer Nachbarschaft werden künstliche Höhlensysteme gefunden in denen seltsame Artefakte aus grauer Vorzeit vergraben liegen. Nach Betrachtung der seltsamen Funde werden Sie folgende beiden Fragen stellen: wer hat das gemacht und aus welcher Zeit stammt das?

Wenn die Archäologen etwas „rumdrucksen“, von Megalithkultur und Paläolithikum sprechen, und sich nicht einig sind welche Datierungsmethode nun Anwendung finden soll, so sind Sie vielleicht gerade Zeuge, wie wissenschaftliches Neuland betreten wird.

Ich als Laie lasse mich ja durch das große Fachwissen, das bei den Archäologen für bestimmte Zeiträume vorhanden ist, gerne blenden.

Der versierte Blick eines Archäologen auf ein kleines Stück Keramik reicht ja in 99,9% der Fälle für die Beantwortung der beiden Fragen des Laien-wer und wann- aus. Alles was unsere Vorfahren von der Bronzezeit bis zu den Römern so an Keramik hinterlassen haben, datiert der Meister aufgrund charakteristischer Merkmale meist mühelos auf ein paar Jahrzehnte genau.

Ist überdies organisches Material vorhanden, liefert die ^{14}C Methode sehr genaue Daten. Obwohl die ^{14}C Methode zu einem Standardwerkzeug der Archäologie geworden ist, so sind auch mir ihre Limitierungen klar. Die Datierung einer Feuerstelle neben einem behauenen Stein sagt noch nichts über den Bearbeitungszeitpunkt des Steins aus. Die Daten können übereinstimmen oder tausende Jahre auseinanderliegen. Mit ^{14}C alleine ist es also nicht getan. (Darüber hinaus hat die Anreicherung von CO_2 in der Atmosphäre - welches durch Verbrennung von Kohlenstoff fossilen Ursprungs entstand - neuerdings weitere Unsicherheiten in die ^{14}C Datierungsmethodik gebracht.)

Um also ganz sicher zu gehen, und nebenbei weitere Datierungsmöglichkeiten für die Archäologie zu erschließen, die unabhängig von organischem Material sind und weiter zurückreichen als ein paar tausend Jahre, mussten andere physikalisch/chemische Methoden entwickelt werden.

Und diese Datierungsmethoden wurden entwickelt und erforscht, egal ob Sie sich dafür interessiert haben oder so wie ich glaubte ^{14}C wäre noch immer alleine auf weiter Flur und das Maß aller Dinge!

Folgendes Diagramm über Datierungsmethoden in der Archäologie und deren Anwendbarkeit habe ich aus Akcar et al. [1] entnommen :

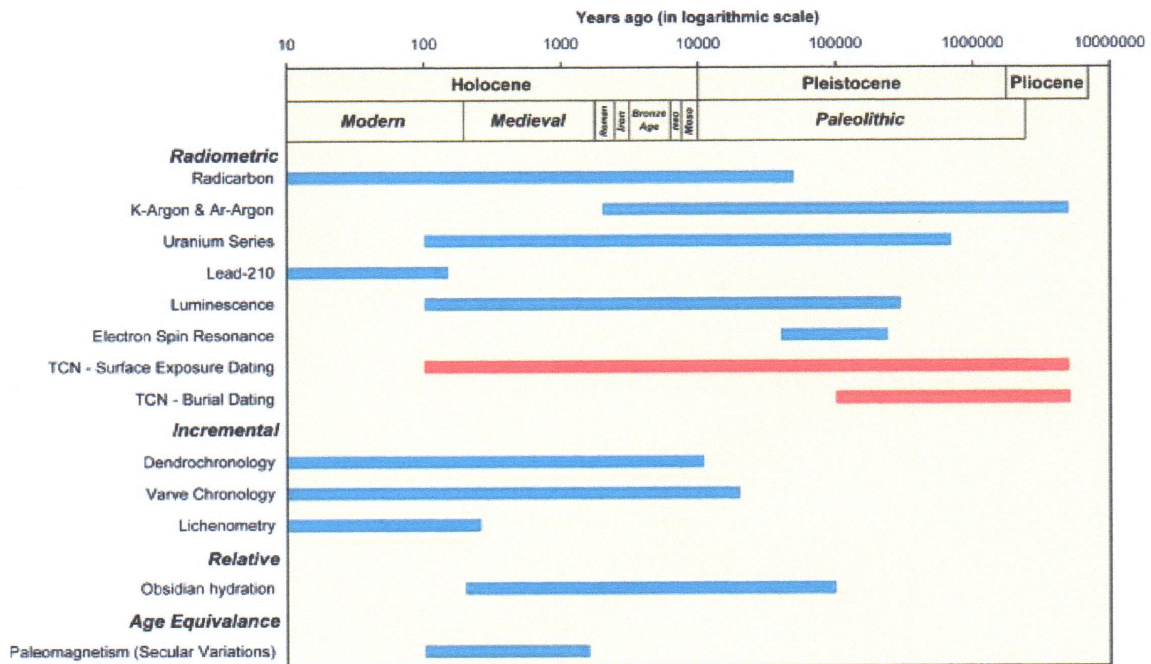


Fig.1: Übersicht über Datierungsmethoden in der modernen Archäologie

Der staunende Laie sieht in diesem Diagramm 13 Datierungsmethoden von denen ihm zumeist nur die Radiocarbonmethode und die Dendrochronologie bekannt ist. Aber er sieht sofort, dass man auch andere radioaktive Zerfallsprozesse zur Datierung heranziehen kann (Ar,Pb..). Bei Lumineszenz habe ich persönlich dann mal kurz nachgeforscht:

Die Lumineszenz wurde erstmals erkannt als am Ende des 19. Jahrhunderts der deutsche Physiker Heinrich Wiedemann Kristalle mit Elektronen bombardierte. Als er danach die Kristalle erwärmte, entwich ihnen ein schwacher Lichtschein. Die Thermolumineszenz wurde in Folge gründlich erforscht und führte zu einer Reihe von Anwendungen. Heutzutage unterscheiden Physiker verschiedene Formen der Lumineszenz. Allen gemeinsam ist, dass Mineralien Energie auf bestimmte Art absorbieren, sie speichern und bei geeigneter Stimulation in Form von Licht wieder aussenden. Vereinfacht gesagt- je älter die Probe, desto länger war die Einwirkung auf sie durch kosmische Strahlen und natürliche Radioaktivität, desto mehr Elektronen haben sich im Kristallgitter in „metastabile“ Zustände begeben, desto mehr dieser Elektronen fallen dann bei Stimulation wieder zurück in stabile Energieniveaus und senden dabei Lichtquanten aus. Oder einfach- je stärker die Lumineszenz bei Stimulation desto älter das Teil.

Je nachdem welche Art der Stimulation gewählt wird spricht man von TL (Thermoluminiszenz) OSL (Optical stimulated Luminiscence). Oder Auch IRSL (Infrared Stimulated Luminescence) etc.

Beinahe hätte ich weiter zu dem Thema recherchiert als ich aufschnappte, dass die Archäologen in meiner Höhle mit TCN datiert hätten.

Dies war gut, so konnte ich mir wenigstens sparen mich schlau zu machen was Varve Chronology und Lichenometry waren. Gut zum Thema Obsidian Hydration und der Paläomagnetismus kann ich mir als Chemiker was zusammenreimen, was wahrscheinlich nicht korrekt ist aber mir das Gefühl gibt hier nichts zu versäumen, ohne ins Detail gehe. Hingegen wird mich die Lichenometry wahrscheinlich noch in meinen Träumen verfolgen. Egal ich ignoriere das jetzt und konzentriere mich auf TCN.

Was- sie meinen ich habe die Elektronenspinresonanzmethode vergessen? Nein hab ich nicht. Das ist mir nur zu Nahe an der Kernspinresonanzspektroskopie und vor dieser Welt habe ich als

Chemiker Respekt. Großgeräteanalytik. Sie können mit etwas Zeitaufwand das Prinzip verstehen, aber nicht die Maschine.

Also TCN hört sich eigentlich relativ simpel an: TCN ist Abkürzung für: Terrestrial Cosmogenic Nuclides

Oder um es zu verdeutschen: Nuklide die auf der Erde entstehen durch Energieeinwirkung aus dem Kosmos.

Für den Laien: Aus dem Kosmos wird die Erde ständig mit allen möglichen hochenergetischen Partikeln – z.B. Myonen, Neutronen - bombardiert. Woher die stammen wollen wir hier nicht diskutieren, aber da draußen explodiert und fusioniert ständig was und sendet hochenergetische Strahlung durchs All. Vereinfacht gesagt treffen diese Partikel/Strahlen (oder Abkömmlinge der ursprünglichen Strahlung – also Sekundärstrahlung) auf der Erde auf Gesteinsoberflächen und reagieren dort mit bestimmten Atomen aus dem Kristallgitter der Mineralien (z.B. Quarz, Calcit, K-Feldspat, Olivin). Die Interaktion der hochenergetischen Strahlen- z.B. Neutronen - mit Atomen aus dem Kristallgitter kann dann zur Kernspaltung, oder zum Neutroneneinfang führen. Als Konsequenz dieser Reaktionen entstehen punktuell im Kristall einerseits instabile Nuklide (radioaktive Isotope) wie ^{10}Be , ^{14}C , ^{26}Al , und ^{36}Cl sowie stabile Nuklide wie ^3He und ^{21}Ne .

Interessant für die Datierung einer Gesteinsoberfläche ist nun die Geschwindigkeit mit der diese Isotope entstehen [1]:

^{10}Be entsteht in Quarz aus Sauerstoff und/oder Silizium mit einer Geschwindigkeit von 5,1 Atomen pro Gramm und Jahr. Die Halbwertszeit von ^{10}Be beträgt 1.510.000 Jahre (1,51 Ma)

^3He entsteht in Olivin mit einer Geschwindigkeit von 119 Atomen $\text{g}^{-1} \text{a}^{-1}$ und bleibt stabil.

^{21}Ne - 20,33 Atome $\text{g}^{-1} \text{a}^{-1}$, stabil

^{26}Al - 30,1 Atome $\text{g}^{-1} \text{a}^{-1}$, Halbwertszeit 716.000 Jahre

^{36}Cl 10 Atome $\text{g}^{-1} \text{a}^{-1}$ in Granit; 20 Atome $\text{g}^{-1} \text{a}^{-1}$ in Kalk; Halbwertszeit 301.000 Jahre

Man kann also nun die Nuklide pro Gramm Gestein zählen, oder wenn das Gestein begraben wurde die Isotopenverhältnissen der Nuklide im Gestein messen. Dann ist aus den verschiedenen Isotopenverhältnissen und über die verschiedenen Halbwertszeiten der instabilen Isotope zu schließen, wann genau der Stein begraben - und somit der kosmischen Bestrahlung entzogen - wurde.

Gut das Zählen der Nuklide ist heute einfach und wird mittels Massenspektrometrie erledigt. Falls Sie nicht wissen wie das genau geht ist es OK (außer Sie sind Chemiker), aber seien Sie versichert die Methode ist ausgereift. Allerdings existiert auch hier ein weites Feld an Gerätschaften....

Man wendet also die Methode nun vermehrt an, um archäologische Artefakte die seit Äonen im Freien rumstehen zu analysieren. Der archäologische Zusammenhang und die korrekte Auswahl der Probe sind äußerst wichtig bei TCN Datierungen. Problematisch ist nämlich die Erosion. Da ja nur die Oberfläche des Gesteins die Nuklide enthält ist es schlecht wenn diese Oberfläche durch Wind und Wetter weg erodiert ist. Die TCN Methode würde dann tendenziell jüngere Daten anzeigen. Oder der Stein war immer wieder zugedeckt (Z.B. Eiszeit, andere Sedimente). Auch da würde er jünger erscheinen. Es gibt dafür Rechenmodelle [3]. Man geht also von einer konkreten Messung zu einer komplexen Modellierung über. (Ich denke, dass beispielsweise die Kalibrierung auf SLHL Sea Level High Latitude, jede Menge Diskussionsbedarf bei den Anwendern und Modellierern auslöst [4].)

Aber glücklicherweise ist die Erosion innerhalb eines künstlich angelegten Höhlensystems, bzw.

einer Keramik die in einer solchen Höhle gefunden wird begrenzt. Somit kann ich beruhigt die Datierung mit TCN, von Bestandteilen innerhalb der Höhle, die mit 60.000 Jahren angegeben wird, zur Kenntnis nehmen.

Aber halt - die Grenzen der Altersbestimmung sind bei „buried TCN“- ja geringer. Nur was älter als 100.000 Jahre ist kann damit datiert werden (siehe Fig. 1). Nehmen wir einmal an, vor Äonen hat eine Zivilisation einen Stein bearbeitet oder eine Keramik hergestellt. Dann war diese eine gewisse Zeit der kosmischen Strahlung ausgesetzt und es bildeten sich 10 Atome ^{36}Cl pro Gramm und Jahr. Soll es fünfhundert Jahre an der Oberfläche gestanden haben, dann hatte es 5000 Atome ^{36}Cl pro Gramm intus. Dann wurde es begraben. Nun findet man mittels MS noch 2500 Atome ^{36}Cl pro Gramm. Wenn das Verhältnis ^{35}Cl zu ^{36}Cl zu Beginn der Exposition des Gesteins an der Erdoberfläche bekannt ist, wird unter Berücksichtigung der Halbwertszeit des ^{36}Cl aus dem real vorhandenen Verhältnis zurückgerechnet [2]. Daraus schließt man im angenommenen Fall: 301.000 Jahre alt.

Als Chemiker stelle ich mir vor, dass das funktionieren kann, wenn genügend Initial ^{36}Cl vorhanden ist, also die Keramik oder der Stein über längere Zeit der kosmischen Strahlung ausgesetzt war bevor er vergraben wurde. Die Gretchenfrage ist die Nachweisgrenze ihrer Massenspektroskopie. Auch da gäbe es natürlich erstaunliche Dinge zu berichten, aber lassen Sie mich sagen - die Nachweisgrenze ist hauptsächlich abhängig vom Gerätetyp und der Erfahrung des Personals in Bedienung und Probenvorbereitung.

Also alles in allem stehe ich der Aussage ein Artefakt aus einer Höhle sei mit TCN auf ein Alter von 60.000 Jahren datiert worden noch immer leicht skeptisch gegenüber, solange ich die Modelle und die verwendete MS nicht genau kenne. Ich bin mir nach meiner - zugegeben knappen - Recherche noch nicht sicher, ob die Methode das für „vergrabene Artefakte“ auch wirklich hergibt. Es scheint sich hier um einen Grenzbereich zu handeln.

Insgesamt betrachtet scheint die TCN Datierung eine junge Methode zu sein, die wohl noch etwas entfernt davon ist eine „Standardmethode“ zu sein.

Also ich als archäologischer Laie bin nun zumindest etwas schlauer. Es klingt auch beruhigend, dass die Archäologen in derselben Höhle Knochen ausgegraben haben, die mit C14 auf älter als 49.000 Jahre datiert wurden. Gemäß Fig. 1 schließe ich, dass ab einem Alter von ca. 40.000-50.000 Jahren die C14 Methode nicht mehr anwendbar ist. Die Knochen können also theoretisch auch 60.000 Jahre alt sein oder älter.

Wenn überdies die Ausgrabung gut dokumentiert ist und man so nachweisen kann, dass keinesfalls irgendwelche Gegenstände nachträglich in die Höhle gebracht worden sind, so akzeptiere ich persönlich die Altersangabe und speichere das in meinem Hirn ab unter: ural!

Damit steht einer kritischen Betrachtung des Rests der archäologischen Funde und Aussagen, in einer folgenden Ausgabe der Private Science Mitteilungen, nichts im Wege.

Falls Sie jetzt noch wissen wollen welche Höhle gemeint ist, und um was es eigentlich geht, müssen Sie natürlich „Einfach“ von A.G.King, erschienen im Herbst 2022 im Private Science Publications Verlag, lesen. Dort geht's allerdings nur am Rande wissenschaftlich zu.....

Quellen:

[1] Naki Akcar, Susan Ivy-Ochs, Christian Schlüchter: „Application of in-situ produced terrestrial cosmogenic nuclides in archaeology: A schematic review“; Quaternary Science Journal, 57/1-2; 226-238 (2008)

[2] <https://de.wikipedia.org/wiki/Oberflächenexpositionsdatierung> (Version vom 08.09.2022)

[3] The online calculators formerly known as the CRONUS-Earth online calculators:
(„You do the excavation... we do the computation“)

hess.ess.washington.edu (Version vom 08.09.2022)

[4] Matthias Kuhle, Sabine Kuhle, „Fashion or Method? - Numerical Dating in the quaternary geology of high Asia“

[FASHION OR METHOD - ENGLISH_neu \(uni-goettingen.de\)](https://www.uni-goettingen.de/de/document/download/139476fd6d81b661659bd76a3da49b14.pdf/FASHION%20OR%20METHOD%20-%20ENGLISH_neu.pdf)

https://www.uni-goettingen.de/de/document/download/139476fd6d81b661659bd76a3da49b14.pdf/FASHION%20OR%20METHOD%20-%20ENGLISH_neu.pdf