Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern

Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft in Bern

Band: 78 (2021)

Artikel: Vortragsreihe Zeitreisen : eine geologische Zeitreise von Prof. Dr. Klaus Mezger

Autor: Giger, Matthias

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-976930

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Vortragsreihe Zeitreisen: Eine geologische Zeitreise von Prof. Dr. Klaus Mezger

Autor

Matthias Giger

Seit jeher beschäftigt sich die Menschheit mit der Frage, wie die Erde entstanden und wieviel Zeit seither vergangen ist. Physikalisch-chemische Methoden zur Beantwortung dieser Frage gibt es aber erst seit knapp 70 Jahren. Heute lassen sich mit diesen radiometrischen Methoden viele Fragen zur Erdgeschichte, Geodynamik und der Entstehung des Sonnensystems klären.

Professor Dr. Klaus Mezger[1] hat diesen Vortrag am 20. Oktober 2020 gehalten, dies im Rahmen der Vortragsreihe «Zeitreisen»[2]. Der Referent hält fest, dass das Erdalter bis Mitte des 20. Jahrhundert nur indirekt abgeschätzt werden konnte. Die Geologen haben aber seit dem frühen 19. Jahrhundert relative Altersbestimmungen durchgeführt: In einer ungestörten Schichtreihe liegen die älteren Schichten unten in der Abfolge, die jüngeren Schichten oben. Der Geologe Charles Lyell hat um 1850 bereits aus den Schichtmächtigkeiten und der grossen Zahl von Einzelschichten (z. B. Warven; Jahresschichten) auf ein hohes Alter der Erde geschlossen (bis 1 Milliarde Jahre). Was das effektive Erdalter betrifft, gab und gibt es einen Konflikt zwischen Naturwissenschaftern, die von einer Evolution der Erde und des Lebens ausgehen und ein hohes Erdalter postulieren und den Kreationisten, welche von einer jungen Schöpfung der Erde und des Lebens durch Gott ausgehen. Bibelforscher kamen durch das Verfolgen der Generationen seit Adam und Eva auf ein Erd- und Schöpfungsalter von nur etwa 6600 Jahren. Wer etwas anderes behauptete, wurde von den christlichen Kirchen lange bekämpft. Interessant ist, dass hinduistische Priester und Philosophen demgegenüber mit einem hohen Erdalter keine Mühe hatten – sie nahmen dafür über eine Milliarde Jahre an! Für die Hindus ist der ewige Zyklus von Wiedergeburt und Sterben Teil ihres Glaubens.

Hindu Religionsgelehrte glaubten immer an eine sehr alte Erde

Nach Lyell gab es weitere, naturwissenschaftliche Denkansätze, die ebenfalls auf deutlich höhere Erdalter hinwiesen als die Annahmen der Bibelforscher: Um den Salzgehalt der Meere durch die chemische Verwitterung der Landoberflächen zu erklären, muss man ein Erdalter von mindestens 1000 Millionen Jahren (1 Ga) anneh-

1 Professor Dr. Mezger ist am Geologischen Insitut der Universität Bern tätig, aber auch für das Centre for Space and Habitability (CSH). Sein Spezialgebiet ist Isotopengeologie, ein Teilbereich der Geochemie.

2 Aufgrund der Corona-Pandemie mussten leider verschiedene Veranstaltungen der NGB abgesagt werden.

men. Der britische Thermodynamiker Lord Kelvin postulierte 1850 ein Erdalter von etwa 250 Millionen Jahren (später hat er diesen Wert revidiert und kam nur noch auf 25 Millionen Jahre). In seinem Modell nahm er an, dass die gesamte Erdwärme aus der Kompaktion der Erde aus dem planetaren Staubnebel stammt und die Erde seither stetig abkühlt. Wärme durch natürliche Radioaktivität hat er in sein Modell aber noch nicht einbezogen, womit all seine Überlegungen schon um etwa 1900 obsolet wurden. Die Radioaktivität wurde 1897 von Henri Becquerel entdeckt und schuf die Grundlage zu besseren thermischen Modellen. Insbesondere durch die Elemente Uran, Thorium und Kalium gibt es im Erdinnern Wärmequellen, so dass die Erde viel weniger rasch abkühlte, als Lord Kelvin annahm. Die Radioaktivität erlaubt letztlich auch die Altersbestimmung mit geochemisch-physikalischen Modellen. Rutherford machte 1906 folgende Aussage: Um den Heliumgehalt der Atmosphäre durch den Alphazerfall des global vorhandenen Urans zu erklären, müsste die Erde mindestens 2000 Millionen Jahre alt sein. Die erste radiometrische Altersbestimmung der Erde, basierend auf dem Zerfall von Uran zu Blei, gelang 1953 Claire Patterson, der ein Erdalter von 4.55 Ga (4.55 Milliarden Jahre) postulierte[3]. 1956 wurden einige Messungen von Blei-Istopen aus Meteoriten, irdischem Bleiglanz sowie von weiteren Erzproben in einem Diagramm (Holmes-Houtermans-Diagramm) dargestellt und wiederum konnte daraus ein Erdalter von 4.55 Ga errechnet werden. Der an dieser Publikation beteiligte Friedrich Georg Houtermans hatte von 1952 bis 1966 eine Professur am Physikalischen Institut der Universität Bern inne und war hier Pionier der bis heute fortgeführten Isotopenstudien und radiometrischen Datierungen *(Abb. 1)*.

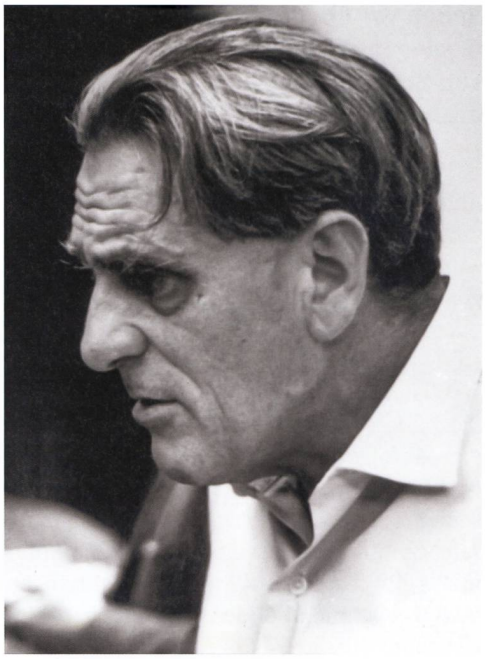


Abb. 1: Friedrich Georg Houtermans (1903 bis 1966) um 1962 in Bern.
Quelle: Physikalisches Institut / Universitätsarchiv Bern.

Relative Altersbestimmung: Der Referent führt nochmals aus, dass eine relative Altersabfolge festgelegt werden kann, ohne dass man das absolute Alter der Schichten kennt. So lässt sich eine Schichtfolge definieren (wie in *Abb. 2)* und die Leitfossilien jeder Schicht lassen sich beschreiben (Biostratigraphie[4]). Marine Sedimente des Erdaltertums (Paläozoikum) werden beispielsweise mittels Trilobiten[5] datiert, die vom Kambrium bis ins Perm durch Evolution sehr viele Formen («Gattungen», «Arten») hervorbrachten, bevor sie beim Übergang vom Perm zur Trias ganz ausgestorben sind (siehe *Abb. 3 a* und *3 b)*. Trilobiten sind somit wichtige, marine Leitfossilien des Erdaltertums.

Absolute Alter in Millionen Jahren (Ma; rechts in der *Abb. 3a)* konnte man erst angeben, als die radiometrische Datierung von Vulkanhorizonten in den Sedimenten möglich wurde. Das Paläozoikum dauerte nach den neuesten absoluten Altersdaten von 541 Ma bis 252 Ma.

3 2010 ergaben Berechnungen aufgrund von Meteoritenalter ein Alter für das Sonnensystem und somit auch der Erde von 4568.2 Millionen Jahre (+0.2/−0.4 Millionen Jahre).

4 Stratigraphie ist die Lehre der Schichtabfolgen (Schichtreihen), deren Fossilgehalt (Biostratigraphie), der Umweltbedingungen bei der Bildung (Paläoökologie) und der globale Abgleich der Daten.

5 Trilobiten sind wohl eine Stammgruppe der Gliederfüssler (Arthropoden) und ähneln äusserlich den rezenten Landasseln, z. B. den Kellerasseln (diese gehören zu den Krebstieren).

Schon vor über 200 Jahren versuchten Geologen die Erdgeschichte aufgrund von Schichtfolgen zu ergründen und erahnten das hohe Erdalter

Absolute Altersbestimmung: Zuerst erwähnt der Referent Methoden zur direkten Auszählung und Ausmessung in Holz (Jahrringe; Fachbegriff Dendrochronologie; *Abb. 4)* oder in Sedimenten (z. B. Warven). Warven sind helle und dunkle Tonschichten in Wechsellagerung, oft am Grund von Seen. Sie bilden die Jahreszeiten ab, dies durch eine Abfolge von dunklen, kohligen Winterschichten und hellen, siltigen Sommerschichten. Durch Variationen von Jahr zu Jahr (z. B. durch nasse oder trockene Sommer) gibt es sowohl bei den Jahrringen *(Abb. 4)* wie auch bei den Warven charakteristische Muster (Abfolgen). Durch Vergleiche und die Homologierung von Holzfunden ist es in Mitteleuropa möglich, dendrochronologische Zeitreihen zu etablieren, die rund 12 500 Jahre zurückreichen.

Jahresschichtungen können auch in Eiskernen beobachtet und gezählt werden. Interessant ist die Kombination von Dendrochronlogie-, Warven- oder Eis-Daten mit radiometrischen Altersdaten, was letztlich genaue Kalibrierungen von radiometrischen Methoden erlaubt.

Um Material (wie Holzkohle) oder Mineralien zu datieren sind radiometrische Datierungsmethoden notwendig. Ein Beispiel dafür ist die Radiocarbonmethode. Bei dieser wird das instabile, radioaktive Kohlenstoff-Isotop ^{14}C in kohlenstoffhaltigen Substanzen (Holzkohle, Torf, Holz etc.) gemessen, dies durch dessen Beta-Aktivität oder mit einem Massenspektrometer (insbesondere für kleine Probenmengen). Das ^{14}C wird in der hohen Atmosphäre aus ^{14}N (Stickstoff) durch kosmische Strahlung stets neu gebildet und von Pflanzen als $^{14}CO_2$ (radioaktives Kohlendioxid) aufgenommen. Stirbt die Pflanze ab, dann enthalten die Pflanzenreste vorerst noch viel ^{14}C und die Beta-Aktivität ist hoch. Nach einer Halbwertszeit von 5730 Jahren ist noch die Hälfte des ursprünglichen ^{14}C vorhanden. Es lassen sich kohlige Reste von mindestens 300 Jahren bis etwa 50 000 oder 60 000 Jahre datieren, also maximal bis etwa zehn Halbwertszeiten des ^{14}C.

Sollen ältere Materialien datiert werden, insbesondere Minerale und Gesteine, braucht es andere Methoden. Der Autor erwähnt insbesondere die Uran-Blei-Methode. Dazu müssen uranhaltige Minerale, z. B. Zirkone

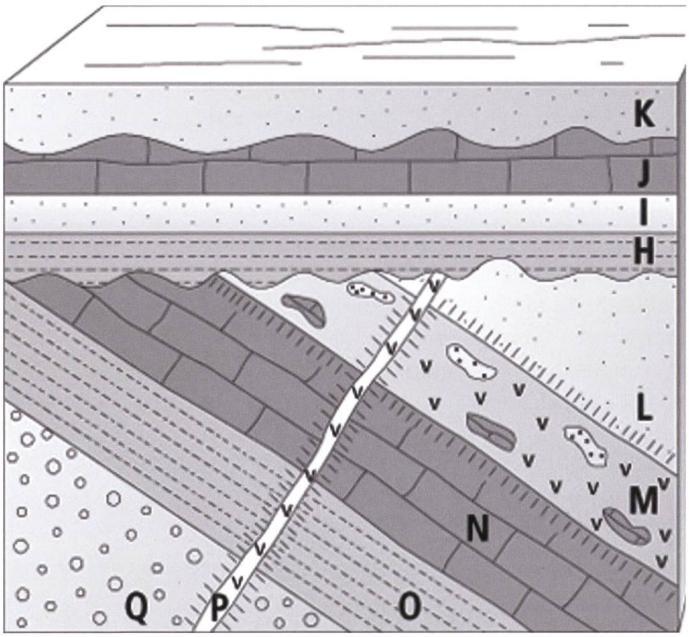


Abb. 2: Das Schema zeigt, wie man aufgrund von geologischen Beobachtungen und ohne Kenntnis der absoluten Alter eine relative Altersabfolge definieren und Einzelereignisse (z. B. Erosionsphasen) einordnen kann. Q ist die älteste Sedimentschicht im Schema, K die jüngste Sedimentschicht, die aktuell immer noch neu gebildet wird (z. B. eine Ebene mit Fluss-Sanden). Die Schichten Q bis L wurden von einem Vulkanitgang (P) durchschlagen und dann durch eine Gebirgsbildung schräggestellt und erodiert, bevor darüber die Schicht H gebildet wurde. Zwischen der Schicht H und den älteren Schichten Q bis L gibt es somit eine Winkeldiskordanz (englisch: «Angular unconformity»). Vor der Bildung der jüngsten Schicht K wurden in der Schicht J Erosionsrinnen gebildet (zweites Erosionsereignis im Profil).
Quelle: Klaus Mezger (Vorlesung).

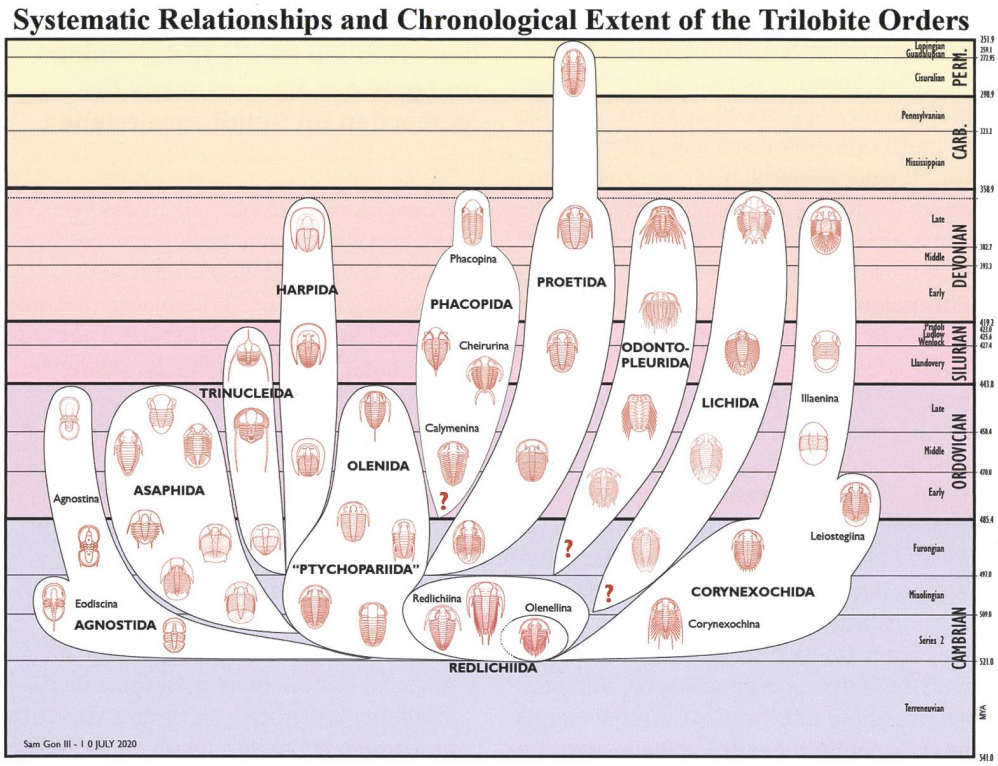


Abb. 3a: Schema der Trilobiten-Evolution im Erdaltertum.
Quelle: Schema von S. GON III auf der Website Triloclass (2020).

Abb. 3 b: Trilobit «Paradoxides» aus der Ordnung der Redlichiida. Das herauspräparierte Fossil ist ein Fund aus den kambrischen Paradoxides-Schiefern (Marokko). Das Frankenstück hat einen Durchmesser von 23 mm, das Fossil ist also etwa 30 cm lang.
Quelle: Sammlung des Autors.

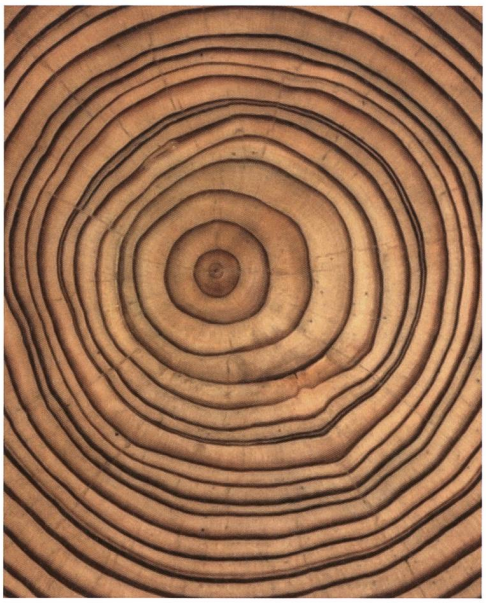


Abb. 4: In einem Baum können nicht nur die Jahrringe gezählt, sondern auch günstige und ungünstige Wachstumsjahre unterschieden werden. Diese Wachstums-Muster von breiten und schmalen Jahrringen werden dann regional verglichen.
Quelle: Bayern 2 (BR2); Dendrochronologie – die Altersbestimmung von Holz.

$ZrSiO_4$[6] aufgeschlossen bzw. punktuell aufgeschmolzen werden, damit man die Uran- und Bleiisotopen mit einem Sektor-Massenspektrometer (MS) messen kann. Zirkone sind meist mikroskopisch klein, aber Akzessorien (Begleitmineralien) in sehr vielen irdischen Gesteinen (siehe *Abb. 5* rechts). Die Nachweisgrenze liegt bei etwa ±4 ppm (vier gesuchte Nuklide sind unter einer 1 Million von fremden Nukliden noch nachweisbar).

Im Laufe der Zeit verändern sich die Nuklidverhältnisse in einem Mineral: Der Urangehalt (Mutter) nimmt ab, der Bleigehalt (Tochter) nimmt zu. Nach einer Halbwertszeit ist noch die Hälfte (50 %) des Urans vorhanden (siehe Schema links in der *Abb. 5).* Zur absoluten Altersbestimmung in einer Schichtabfolge eignen sich vor Allem vulkanische Bildungen, so Vulkanit-Gänge, die durch Sedimentschichten durchschlagen (siehe auch Gang P in der schematischen *Abb. 2).* In Sedimente eingelagerte Vulkanasche-Horizonte mit Zirkonen sind ebenfalls sehr geeignet für die absolute Datierung von Schichtreihen (z. B. die Schicht M in *Abb. 2).*

Für die Datierung von Gesteinen, Mineralien und zudem von Mondgesteinen und Meteoriten eignen sich auch andere, langlebige Nuklidsysteme[7] (zuerst ist stets das Mutternuklid, dann das Tochternuklid genannt):

- $^{235}U - ^{207}Pb$ (Halbwertszeit 0.7 Ga; Zerfallsreihe mit Alpha- und Beta-Zerfällen)
- $^{147}Sm - ^{143}Nd$ (Halbwertszeit 106 Ga; Alpha-Zerfall)
- $^{176}Lu - ^{176}Hf$ (Halbwertszeit 37.2 Ga; Beta-Zerfall)
- $^{87}Rb - ^{87}Sr$ (Halbwertszeit 48.8 Ga; Beta-Zerfall)
- $^{40}K - ^{40}Ar$[8] (Halbwertszeit 1.28 Ga; Elektroneneinfang)

Radiometrische Datierungsmethoden erlauben es, die Erdgeschichte und jene des Mondes sowie der Meteoriten im Detail zu verstehen

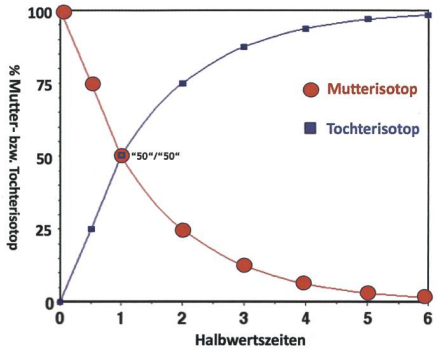
Die Geochronologie ermöglicht das vertiefte Verständnis von vielen geologischen Prozessen und deren zeitlichen Dimensionen:

- Datierung von Einzelereignissen, z. B. mit Material (Kohlereste; Mineralien) aus vulkanischen Tuffhorizonten. So gelang die Datierung des letzten Ausbruchs des Laacher Sees in der Vulkaneifel (Alter 10 930 v. Chr.).
- Ermitteln der Rate und Dauer von geodynamischen Prozessen, z. B. Kontinent-Bildung, Metamorphose-Ereignisse, Gebirgsbildungen, Hebung von Gebirgen oder von Bildungs- und Subduktions-Prozessen der ozeanischen Kruste.
- Abgleich mit der Biostratigraphie (Leitfossilien), z. B. mittels Datierung von Tuffhorizonten in den fossilhaltigen Sedimenten. Damit ist auch die Ermittlung der Evolutionsrate möglich.
- Kausale Korrelation von Ereignissen und Beweis einer Gleichzeitigkeit, z. B. der Vorgänge an der Kreide-Tertiärgrenze vor 66 ± 0.05 Ma (Millionen Jahre).
- Quantifizierung der Erdgeschichte und beispielsweise die Beantwortung der Fragen: «Welches sind die ältesten Gesteine? Welches sind die ältesten Minerale? Wann sind die ersten Lebensformen aufgetreten?» Der Referent hält fest, dass die Acasta-Gneise in Kanada mit 4 Ga (4 Milliarden Jahren) die ältesten Gesteine der Erde sind. In Australien wurden detritische Zirkone aus dem Mt. Narryer Sandstein sogar auf bis zu 4.40 Ga (Milliarden

6 Zirkone können mit Flusssäure aufgelöst und ihre Bestandteile in lösliche Salze umgewandelt werden. Es gibt aber auch Methoden Zirkone mit Mikro-Lasern in der Quelle des Massenspektrometers direkt in ein Plasma zu verwandeln. So können definierte Punkte des Kristalls gemessen werden (z. B. ein Kern-Rand-Profil etc.).

7 Ein Nuklid ist ein Atomkern, der eindeutig durch Massenzahl und Kernladungszahl (Protonenzahl) charakterisiert ist. Als Isotopen bezeichnet man Nuklide mit der gleichen Protonen- und Elektronenzahl, aber unterschiedlicher Neutronenzahl. Trotz unterschiedlicher Masse sind Isotopen also an gleicher Stelle (griech. «isos topos») im Periodensystem und verhalten sich chemisch gleichartig.

8 Im Forschungsreaktor kann ^{39}K in ^{39}Ar umgewandelt werden. Gemessen werden dann die Edelgasisotope ^{39}Ar zur Bestimmung des Gehalts des Mutternuklids (Kalium) und das radiogene ^{40}Ar («Argon-Argon»-Methode).



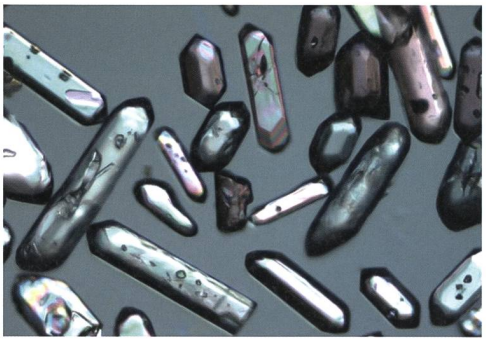


Abb. 5: Das Schema zeigt die exponentielle Zerfallskurve eines radioaktiven Mutterisotops (rot) und die Bildung des stabilen Tochterisotops (blau). Im Falle des Uranisotops ^{238}U (Mutter) wird dabei das Bleiisotop ^{206}Pb (Tochter) gebildet. Die Halbwertszeit von ^{238}U beträgt 4.47 Ga (Milliarden Jahre), was fast dem Erdalter entspricht. Das mikroskopische Bild rechts zeigt Zirkonkriställchen von nur 0.1–0.2 mm Grösse, die sich aufgrund ihres hohen Urangehaltes und der mechanischen und chemischen Stabilität für die Uran-Blei-Datierung eignen.
Quellen: Schema links nach BGR (Deutsche Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe). Schema rechts: GNS (Geological and Nuclear Sciences Ltd.; Neuseeland).

Jahre) datiert. Diese Mineralien sind somit fast gleich alt wie die ältesten Mondgesteine (4.41 Ga). Die ältesten Lebewesen (Cyanobakterien bzw. «Blaualgen») sind etwa 3.5 Ga (Milliarden Jahre) alt und bildeten schon damals blumenkohlförmige Miniriffe mit schaligem Aufbau, auch Stromatolithen genannt. Eukaryotische Zellen gibt es seit rund 1.7 Ga.

- Mit der Geochronologie konnten viele geologische Fragen des Präkambriums (Erdurzeit) gelöst werden, wo es bis ins jüngste Proterozoikum (bis etwa 0.6 Ga bzw. 600 mio Jahren) noch keine erhaltungsfähigen Schalentiere und somit auch keine eigentlichen Leitfossilien gab!
- Die Kontinent-Kerne sind mit einem Alter bis zu 4 Ga im Durchschnitt deutlich älter als die Basaltgesteine am Grund der heutigen Ozeane. Das Alter der Ozeankruste hängt ab vom Abstand von den mittelozeanischen Rücken, wo die Ozeankruste ständig neu gebildet wird und wo das Alter «0 Millionen Jahre» beträgt (rezenter Vulkanismus; siehe *Abb. 6).* Diesen Prozess bezeichnet man als Ozeanbodenspreizung (engl. sea-floor spreading). Mit zunehmendem Abstand vom mittelozeanischen Rücken wird die Ozeankruste immer älter, bis maximal etwa 200 Millionen Jahre vor den Kontinentalhängen.

Zusammenfassung von Matthias Giger

Ein Kurzportrait des Autors findet sich zum Artikel «Gletschersturz an der Altels vor 125 Jahren».

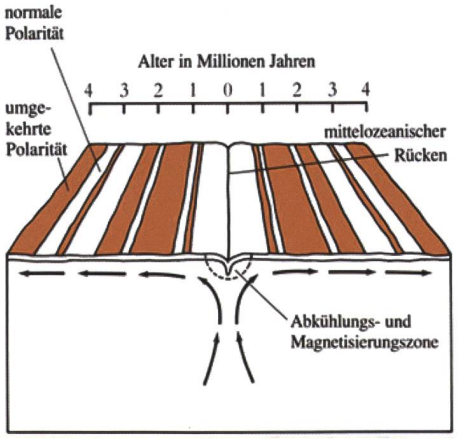


Abb. 6: Das Bild zeigt, dass die Ozeankruste mit zunehmendem Abstand vom mittelozeanischen Rücken, dem Ort der Krusten-Neubildung, immer älter wird. Geomagnetische Studien zeigen zudem ein Muster von Gesteinen mit normaler und umgekehrter Polarität. Radiometrische Altersbestimmungen an Ozeangesteinen erlauben also auch die Datierung der Polsprünge, die in einer Million Jahre mehrmals vorkommen können. Quelle: Gerd Flaig, Warstein.

Wichtig ist, dass man nicht aufhört zu fragen. Neugier hat ihren eigenen Seinsgrund. Man kann nicht anders als die Geheimnisse von Ewigkeit, Leben oder die wunderbare Struktur der Wirklichkeit ehrfurchtsvoll zu bestaunen. Es genügt, wenn man versucht, an jedem Tag lediglich ein wenig von diesem Geheimnis zu erfassen. Diese heilige Neugier soll man nie verlieren.

Quelle: Einstein sagt – Zitate, Einfälle, Gedanken,
Herausgegeben von Alice Calaprice; 1997 Piper Verlag München,
ISBN 978-3-492-25089-4, 4. Auflage Februar 2013.

Physikrätsel

Was stimmt da nicht?

Hauptbahnhof Bern, Ende 2019:
«Bewegung verlängert das Leben» so die Werbung einer Versicherung.
Das Bild unten sagt in etwa Folgendes: wenn man die Rolltreppe benützt, dann ist der persönliche Energieumsatz 0 Kalorien. Wenn man aber die Treppe hochsteigt, dann werden – so die Werbung – offenbar 6 Kalorien an Energie im eigenen Körper umgesetzt.

Annahmen: Masse der Person m = 85 kg
Wirkungsgrad η = 18% (beim Treppensteigen, geschätzt)
Höhe des Stockwerks im Bhf. Bern h = 5,5 m (geschätzt)

Einsenden

Wer den Fehler in der Werbung gefunden hat, soll mir diesen doch bitte mitteilen.
Mail: thalmannch@gmx.ch oder Handy: 079 271 74 15

Als Belohnung für die drei ersten Personen, die mir den Fehler in der Werbung mitteilen gibt es einen «Energie-Riegel».

Ich teilte der Versicherung ihren «Fehler» mit; nach zwei Tagen wurde das Werbeplakat entfernt.