

nommen. In dieser Sicht ist es sehr überraschend, daß die Uhren zugleich so ähnlich in zentralen Komponenten und doch so verschieden in einigen wichtigen Bauteilen sind. Besonders die Funktionsänderung der CRY's dürfte phylogenetisch, also im Sinne der Abstammungslehre, nicht einfach zu erklären sein.

Der Vergleich der Uhren legt eine Interpretation im Sinne eines Baukastensystems nahe: Ein gegebener Satz von „Bauteilen“ ist in verschiedenen Zusammensetzungen zusammengefügt, so daß Lebewesen unterschiedlichster Form und Ausstattung doch gleiche oder ähnliche Bauteile besitzen können. Lebewesen würden sich so zugleich ähneln und unterscheiden. Wie ein solches Baukastensystem evolutionär entstehen konnte, ist unklar.

Wolfgang B. Lindemann

Literatur

- BARINAGA M (1999) CRY's clock role differs in mice, flies. *Science* 285, 506-507.
- BARINAGA M (2000) Two feedback loops run mammalian clock. *Science* 288, 943-944.
- BILLIARD M (1998) Le sommeil normal et pathologique, Troubles du sommeil et de l'éveil, 2e édition. Paris – Milan – Barcelone.
- CERIANI MF, DARLINGTON TK et al. (1999) Light-dependent sequestration of TIMELESS by CRYPTOCHROME.

- Science* 285, 553-556.
- DELAUNAY F, THISSE C et al. (2000) An inherited functional circadian clock in zebrafish embryos. *Science* 289, 297-300.
- GRIFFIN EA JR., STAKNIS D & WEITZ C (1999) Light-independent role of CRY1 and CRY2 in the mammalian circadian clock. *Science* 286, 768-771.
- HARDIN PE & GLOSSOP NRJ (1999) The CRY's of flies and mice. *Science* 286, 2460-2461.
- Lee K, Loros J & Dunlap JC (2000) Interconnected feedback loops in the *Neurospora* circadian system. *Science* 289, 107-110.
- LOWREY PL, KAZUHIRO S et al. (2000) Positional syntenic cloning and functional characterization of the mammalian circadian mutation *tau*. *Science* 288, 483-491.
- OKAMURA H, MIYAKE S et al. (1999) Photic induction of *mPer1* and *mPer2* in *Cry*-deficient mice lacking a biological clock. *Science* 286, 2351-2534.
- PARK DH, SOMERS DE et al. (1999) Control of circadian rhythms and photoperiodic flowering by the *Arabidopsis* *GIGANTEA* gene. *Science* 285, 1579-1582.
- SCHMITZ O, KATAYAMA M et al. (2000) CikA, a bacteriophytochrome that resets the cyanobacterial circadian clock. *Science* 289, 765-768.
- SHAW PJ, CIRELLI C et al (2000) Correlates of sleep and waking in *Drosophila melanogaster*. *Science* 287, 1834-1837.
- SHEARMAN L P, SRIRAM S et al. (2000) Interacting molecular loops in the mammalian circadian clock. *Science* 288, 1013- 1019.
- STOKKAN KA, YAMAZAKI S et al. (2001) Entrainment of the circadian clock in the liver by feeding. *Science* 291, 490-493.
- STRAYER C, OYAMA T et al. (2000) Cloning of the *Arabidopsis* clock gene *TOC1*, an autoregulatory response regulator homolog. *Science* 289, 768-771.
- YAMAZAKI S, NUMANO R et al. (2000) Resetting central and peripheral circadian oscillators in transgenic rats. *Science* 288, 682-685.
- YOUNG MW (2000) Marking time for a kingdom. *Science* 288, 451- 453.

Die Erdkruste: Alt, älter ... am ältesten?

Mitte der 1980er Jahre wurden an Zirkonen vom Mount Narryer in Westaustralien Alter von 4,1-4,2 Ga (Giga annum: 10⁹ Jahre) ermittelt. Da diese hohen Alterswerte nur an 4 von insgesamt 102 Zirkonen bestimmt wurden, war dieses Resultat nicht unumstritten. Kurze Zeit darauf untersuchten andere Forscher Zirkone in einem Konglomerat der Jack Hills, etwa 60 km nordöstlich des Mount Narryer (COMPSTON & PIDGEON 1986). 17 der 140 analysierten Zirkone lieferten Alter von über 4 Ga, in einem Fall wurde sogar ein Alter von fast 4,3 Ga ermittelt.

In einem Kommentar im Wissenschaftsjournal *Nature* verriet MOORBATH (1986) hierzu seine Ängste. Er berichtete vom Verdrängen eines wiederkehrenden bösen Traumes: Wann würde mit der hochauflösenden Ionen-Mikrosonde ein Alter ermittelt, das höher als das anerkannte Erdalter von rund 4,6 Ga ist?

Eineinhalb Jahrzehnte später dürfte MOORBATHS

Nachruhe noch immer ungestört sein – zumindest was die wissenschaftlichen Daten angeht. Seine Ängste haben sich nicht bewahrheitet, der Grenzwert von 4,6 Ga wurde bislang nicht überschritten. Allerdings haben sich inzwischen zwei Forschergruppen dieser Marke weiter genähert.

Erneut galt das Interesse den Zirkonen im Narryer-Gneis. WILDE et al. (2001) suchten in den ca. 100 extrahierten Zirkonen nach den ältesten Exemplaren. Ein Zirkon, der ein Alter von 4,3 Ga lieferte, wurde näher untersucht. Ein „Abtasten“ des Kristalls mit dem Strahl der Ionen-Mikrosonde erbrachte für einen Teil dieses winzigen Zirkons den Spitzenwert von $4,404 \pm 0,008$ Ga – er ist damit von nun an das älteste bekannte irdische Material.

Mit der Ionen-Mikrosonde (bekannt unter dem Spitznamen SHRIMP) können gleichzeitig mehrere Uran-Blei-Zerfallsuhren gemessen werden. Dadurch ist zugleich eine Prüfung auf Konkordanz (gleiche Alterswerte) möglich. Die drei Uran-Blei-

Methoden sind die $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ -, die $^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$ - und die $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Methode. Im Idealfall, wenn das Gestein oder Mineral keiner Störung unterlag, sollten alle drei Methoden das gleiche Alter ergeben (siehe hierzu auch FRITZSCHE 2001). Zahlreiche der von WILDE et al. (2001) bestimmten Zirkonalter sind nicht konkordant und könnten einen Pb-Verlust während der späteren Metamorphose des Gesteins anzeigen. Im Falle des 4,4 Ga alten Einschlusses betrug die Konkordanz allerdings fast 99%.

Zirkone sind verwitterungsbeständig und können auch eine Gesteinsumwandlung bei höheren Temperaturen, die sog. Metamorphose, überstehen. Die Zirkone im Narryer-Gneis entstanden nicht in den Gesteinen, in denen sie heute zu finden sind, sondern sind die letzten Überreste eines zuvor existierenden Gesteins. Sie wurden als Abtragungsprodukte bestehender Krustenblöcke in Sedimentgesteinen eingebettet und mit diesen zusammen metamorphisiert, d.h. zu Gneisen umgewandelt. Da die Zirkone im Narryer-Gneis ein gewisses Altersspektrum aufweisen, könnten sie einst Bestandteil mehrerer Krustenblöcke mit verschiedenen Bildungsaltern gewesen sein; in jedem Fall ist davon nichts mehr erhalten. Zirkone können sich unter verschiedenen Bedingungen bilden, am wahrscheinlichsten ist aber eine Entstehung in granitischen Magmen.

Die eigentliche Überraschung waren die erhöhten Gehalte an schwerem Sauerstoff ^{18}O , von denen WILDE et al. (2001) und weitere Bearbeiter in der gleichen Ausgabe berichten (MOJZSIS et al. 2001). Schwerer Sauerstoff ist charakteristisch für niedrige Temperaturen und wässriges Milieu, also z.B. für Meerwasser. Der schwere Sauerstoff im Zirkon könnte das Aufschmelzen von granitischen Gesteinen anzeigen, die ihrerseits von Material abzuleiten wären, das zuvor an der Erdoberfläche lag und im Kontakt mit Wasser (einem Ozean?) stand. Die Zirkone enthalten zudem Einschlüsse von Siliziumdioxid (SiO_2) und haben Gehalte an Selten-Erden Elementen, die ebenfalls gewichtige Indizien für granitische Magmen sind.

Sollte das Alter von 4,4 Ga für den Zirkon zutreffen, hätte es vermutlich zuvor schon eine Erdkruste oder gar Wasser auf der Erde gegeben. Da die isotopischen Daten vom Mond nahelegen, daß die Erde in der Zeit von 4,5 Ga bis ungefähr 3,9 Ga einem heftigen Meteoritenbombardement ausgesetzt war, wurde eine feste Erdkruste bislang als wenig wahrscheinlich erachtet. Folgen hätten die Datierungen auch für die Diskussion über die Lebensentstehung. Spuren von Kohlenstoff finden sich bereits vor ca. 3,8 Ga. Gab es aber schon vor 4,4 Ga Wasser auf der Erde, einem wichtigen Grundstoff für Leben, eröffnen die Datierungen den evolutionstheoretischen Spekulationen über die Prozesse der Lebensentstehung eine halbe Milliarde Jahre mehr Zeit (MOJZSIS et al. 2001).

Unterstützung finden die gemessenen Zirkonal-

ter durch die Rekalibrierung der Lutetium-Hafnium-Zerfallsuhr durch Mineralogen der Universität Münster (SCHERER et al. 2001). Die Halbwertszeit von ^{176}Lu zu ^{176}Hf beträgt rund 37 Ga. Alle jüngeren Messungen der Zerfallskonstante schienen einen um rund 4% niedrigeren Wert zu erfordern. Durch einen Vergleich mit Uran-Blei-Datierungen haben SCHERER et al. (2001) die Lutetium-Hafnium-Uhr nun neu kalibriert und geben die Zerfallskonstante von ^{176}Lu mit $1,865 \pm 0,015 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ an. Dies wurde durch eine verbesserte Analysetechnik möglich.

Eine geringere Zerfallskonstante von ^{176}Lu bedeutet, daß das ursprüngliche Verhältnis der Hafnium-Isotope in den Gesteinen weniger radio-gen ist, d. h. weniger des vorhandenen ^{176}Hf entstammt dem radioaktiven Zerfall. Bei der Aufschmelzung irdischen Gesteins neigt das Lutetium dazu, sich im Erdmantel zu konzentrieren. Deshalb stellt sich in der Erdkruste ein geringeres Lu/Hf-Verhältnis ein (KRAMERS 2001). Das Hafnium kann nun mit bis zu 2% in sich bildende Zirkone eingebaut werden. Da in den Schmelzen, in denen Zirkone entstehen, wenig radioaktives ^{176}Lu vorhanden ist, ändert sich das Verhältnis von $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ in den Zirkonen im Laufe der Zeit praktisch nicht. Deshalb läßt sich aus der Messung dieses Isotopenverhältnisses auch eine Aussage über das ursprüngliche Lu/Hf-Verhältnis und damit über die Herkunft der Schmelze machen.

Die Zirkone von Jack Hills in Australien und aus dem Acasta Gneis in Kanada (ungefähr 4 Ga alt) sind gemessen an ihrer Hf-Isotopie offenbar in granitischen Schmelzen entstanden, und granitische Schmelzen sind Kennzeichen einer existierenden Erdkruste. Die Folgerungen aus der korrigierten Lutetium/Hafnium-Zerfallsuhr und den Isotopenverhältnissen durch SCHERER et al. (2001) sprechen für die Existenz einer frühen Erdkruste und sind mit den Zirkondatierungen von WILDE et al. (2001) verträglich. Andererseits folgt aus den Isotopendaten auch, daß die Menge an Erdkruste in den ersten 0,5 Ga nicht allzu groß war (KRAMERS 2001).

Es ist ohne Zweifel gewagt, aus einem Teil eines Zirkons von weniger als einem Millimeter Durchmesser und den Sauerstoffisotopen derart weitgespannte geologische Szenarien zu entwickeln. Auch die Rekalibrierung der $^{176}\text{Lu}/^{176}\text{Hf}$ -Zerfallsuhr und die aus der Hf-Isotopie abgeleiteten Schlüsse könnten zu sehr an heute bekannten Prozessen orientiert sein. Doch gilt das gleiche für die möglichen Einwände (z. B. Meteoritenschauer, Aufschmelzen der frühen Erdkruste). Insgesamt vermitteln die jüngsten Datierungen und Überlegungen doch den Eindruck, daß sie wichtige Mosaiksteine im Verstehen der Entwicklung unseres Planeten bilden.

Um noch einmal auf MOORBATHS bösen Traum zurückzukommen: Eine geringfügige Verschiebung der Resultate jüngster Datierungen, sprich: mit dem Erdalter identische Gesteinsdatierungen, könnte sich zum Alptraum vieler Wissenschaftler

entwickeln, nämlich der Vorstellung einer von Anbeginn an „fertigen“ Erde.

Thomas Fritzsche

Literatur

- COMPSTON W & PIDGEON RT (1986) Jack Hills, evidence of more very old detrital zircons in Western Australia. *Nature* 321, 766-769.
FRITZSCHE T (2001) Millionenverluste: Das Kambrium

- schrumpft. *Stud. Int. J.* 8, 22-27.
KRAMERS J (2001) The smile of Cheshire cat. *Science* 293, 619-620.
MOJZSIS SJ; HARRISON TM & PIDGEON RT (2001) Oxygen-isotope evidence from ancient zircons for liquid water at the Earth's surface 4,300 Myr ago. *Nature* 409, 178-181.
MOORBATH S (1986) The most ancient rocks revisited. *Nature* 321, 725.
SCHERER E; MÜNKER C & MEZGER K (2001) Calibration of the lutetium-hafnium clock. *Science* 293, 683-687.
WILDE SA; VALLEY JW; PECK WH & GRAHAM CM (2001) Evidence from detrital zircons for the existence of continental crust and oceans on the Earth 4.4 Gyr ago. *Nature* 409, 175-178.

STREIFLICHTER

Zu Wasser, zu Lande oder in der Luft – Widersprüchliche Vorstellungen vom Ursprung des aufrechten Ganges

Ursprünglich waren die Evolutionstheoretiker in der Paläanthropologie davon ausgegangen, daß die Entstehung des aufrechten Gangs (Bipedie) im Sinne der Savannentheorie durch folgenden starken Selektionsdruck angetrieben wurde: die baumlebenden Hominiden (Menschenartigen) mußten aufgrund des klimatisch bedingten Rückgangs des Regenwaldes vom Baum absteigen und sich in der Savanne in möglichst effektiver und sicherer Weise fortbewegen. Der angenommene Vorteil lag vor allem auf der „Befreiung“ der Hände, was das Tragen von Nachkommen, den Transport von Nahrungsmitteln oder von Werkzeugen ermöglichte. Andere gingen davon aus, daß die Hominiden durch das Aufrichten im hohem Savannengras frühzeitig Räuber entdecken und Beute ausmachen konnten. Wieder andere sahen in der zweibeinigen Position eine Reduktion der sonnenexponierten Körperoberfläche.

Im Laufe der letzten Dekade mußten die Forscher jedoch zunehmend feststellen, daß sich die Lebensräume, in denen diese frühen Hominiden (Australomorphe) gefunden wurden, durch relativ ausgeprägte Bewaldung auszeichneten und daß die Hominiden ihre Art von aufrechtem Gang also schon beherrschten, ohne daß sie die Bäume hätten verlassen müssen. Der Verlust dieses Selektionsdrucks zwingt die Wissenschaftler, nach anderen Gründen zu suchen, die diese umfassende morphologische Veränderung angetrieben haben könnte.

Aus naheliegendem Grund sucht man nun die Entwicklung des aufrechten Ganges notgedrungen im Lebensstil auf den Bäumen. Robin CROMPTON behauptet sogar, daß Bäume der absolut ideale

Entstehungsort für den aufrechten Gang gewesen seien. Durch die Möglichkeit, dort oben balancieren zu lernen, wurde alles perfekt vorbereitet für den Abstieg, den dann das Klima zwei Millionen Jahre später erzwang.

Besonderes Interesse für diese Hypothese zeigen die Finder des 6 Millionen Jahre alten Hominiden *Orororin* (HARTWIG-SCHERER 2001), denn sie behaupten, daß ihr Fund *Orororin* ein Beispiel für eine solche „Baumbipedie“ sei. Die gebogenen Fingerknochen und Fußphalangen und das außergewöhnlich affenähnliche Armskelett seien der Hinweis, daß wir es hier mit einem hangelnden Zweibeiner zu tun hätten. Die Vorstellung, daß eine solche Form die Durchgangsform für den späteren menschlichen Gang darstellt, ist jedoch schwierig, da bislang für eine solche Mosaikform sämtliche überleitenden Zwischenstufen fehlen. Deshalb hat man ja auch alle anderen australopithecinen Formen kurzerhand zur Seite geschoben (HARTWIG-SCHERER 2001). Aus der Sicht der Grundtypenbiologie wäre es jedoch nicht weiter problematisch, sich einen hangelnden zweibeinigen Grundtyp vorzustellen.

Viele Wissenschaftler verhalten sich der Hypothese der Baum-Bipedie gegenüber recht ablehnend. Sie bleiben vorläufig bei der altbewährten Savannen-Vorstellung, auch wenn die relativ dichte Bewaldung für das Absteigen wenig Grund mehr für diese Sicht liefert.

Noch wesentlich kritischer wird die neuerdings wiederbelebte „aquatische Theorie“ aus der Mitte des 20. Jahrhunderts beurteilt. Danach sollen alle wesentlichen Schritte während des Lebens im Wasser geschehen sein: nur so ließe sich der Verlust der Körperbehaarung, die subkutane Fettschicht, das Tauchvermögen der relativ schweren Neugeborenen u.v.m. verstehen. Eine moderate Abwandlung davon – die „amphibische Generalistentheorie“ – wurde unlängst von Carsten NIEMITZ